



El Colegio de la Frontera Sur

Dinámica poblacional y enemigos naturales de *Diaphorina citri*
Kuwayama (Hemiptera: Liviidae), en limón persa en Quintana
Roo.

TESIS

Presentada como requisito parcial para optar al grado de
Maestra en Ciencias en Recursos Naturales y Desarrollo Rural

Por

Vannesa Virginia Catzim

2015



El Colegio de la Frontera Sur

Chetumal, Quintana Roo a 23 de febrero del 2015

Las personas abajo firmantes, miembros del jurado examinador de: Vannesa Virginia Catzim, hacemos constar que hemos revisado y aprobado la tesis titulada: Dinámica poblacional y enemigos naturales de *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Liviidae), en limón persa en Quintana Roo, para obtener el grado de Maestra en Ciencias en Recursos Naturales y Desarrollo Rural.

Nombre	Firma
Tutora Dra. Irma Gabriela Pérez López	_____
Asesor Dr. Jaime Gómez Ruiz	_____
Asesor Dr. Juan Francisco Barrera Gaytán	_____
Sinodal adicional Dr. José Pablo Liedo Fernández	_____
Sinodal adicional Dr. Yann Lucien Hénaut	_____
Sinodal suplente Dra. María del Carmen Pozo de la Tijera	_____

Dedicatoria

A lo más valioso que tengo en esta vida, mi familia:

Mis Padres:

Dorita Rose Catzím e Igidio Catzím

Mis Hermanos:

Amanda, Ignacio, Miguel, Estela, Oswaldo, Carlos, Armando

(q.d.e.p)

Mi Amigo de toda la vida y amor incondicional:

Dr. Ulysses Emerito Bautista

Agradecimientos

A Consejo Nacional de Ciencias y Tecnología (CONACYT) y al Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR) por otorgarme la oportunidad de realizar mis estudios en México.

Al Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA) y a la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), por aportar información necesaria para la elaboración del proyecto.

A la Sra. Karina Cruz, el Sr. Gabriel Hernández y el Ing. Víctor Arizmendi Guadarrama por otorgarme su autorización para realizar los muestreos en sus parcelas de cítricos.

A la Dra. Irma Gabriela Pérez López, mi directora de tesis, por instruirme a lo largo de la elaboración del proyecto y brindarme su apoyo incondicional en los muestreos.

A Dr. Jean-Paul Lachaud, y a la Biol. Noemí Salas por su gran apoyo en las calurosas y cansadas salidas de campo.

Al M. C. Javier Valle Mora por su valiosa ayuda en el análisis estadístico de los datos obtenidos en el estudio, así como al M. C. Holger Weissenberger por su apoyo en la realización del mapa del sitio de estudio.

A mis asesores de tesis el Dr. Juan F. Barrera Gaytán y al Dr. Jaime Gómez-Ruíz por su valioso apoyo en mi formación durante la maestría. Así como a mis sinodales, el Dr. José Pablo Liedo Fernández, Dr. Yann Henaut y la Dra. Carmen Pozo de la Tijera por sus acertados comentarios del proyecto.

A mis amigos, Adel Leyva-Ramírez, Elva Leyva-Cruz, Maloní Puc-Alcoser, Melissa Chan y Oscar Ramírez-Rocha, por su admirable amistad y apoyo incondicional a lo largo de mis experiencias en el posgrado.

Por último a mi Familia por apoyarme a cumplir, y sin cuestionar, cada meta que me propuse, aun cuando esto implicó alejarme de ellos. Y a mi gran amor, Ulysses, por impulsarme a crecer como persona cada día más.

Índice de contenido

1. Introducción	1
1.1. Antecedentes	5
1.1.1. El Huanglongbing.....	5
1.1.2. <i>Diaphorina citri</i>	7
1.1.2.1. Taxonomía	7
1.1.2.2. Importancia.....	8
1.1.2.3. Origen y distribución.....	8
1.1.2.4. Hospederos	9
1.1.2.5. Ciclo de vida.....	9
1.1.3. Dinámica poblacional de <i>D. citri</i> en México	11
1.1.4. Métodos de control de <i>D. citri</i>	13
1.1.4.1. Control químico	13
1.1.4.2. Control biológico.....	14
1.1.4.2.1. Biología de <i>Tamarixia radiata</i>	15
1.1.4.2.2. Agentes de control biológico potenciales de <i>D. citri</i> en México	17
1.2. Objetivo	18
1.2.1. Objetivo general.....	18
1.2.2. Objetivos específicos	18
1.3. Hipótesis.....	18
2. Metodología	19
2.1. Área de estudio	19
2.2. Esfuerzo de muestreo	22

2.3. Producción de brotes.....	22
2.4. Fluctuación poblacional de <i>D. citri</i>	23
2.4.1. Muestreo de <i>D. citri</i> en brotes.....	23
2.4.2. Muestreo de adultos en trampas amarillas pegajosas.....	23
2.5. Enemigos naturales.....	24
2.6. Análisis estadístico.....	25
3. Resultados.....	27
3.1. Prácticas agrícolas.....	27
3.2. Fluctuación de brotes en limón persa.....	27
3.2.1. Factores que influyeron sobre la producción de brotes en limón persa.....	28
3.3. Abundancia y dinámica poblacional de <i>D. citri</i>	30
3.3.1. Factores que influyen en la abundancia de <i>D. citri</i>	30
3.3.2. Relación entre la abundancia total de <i>D. citri</i> y disponibilidad de brotes ...	32
3.3.3. Fluctuación poblacional de <i>D. citri</i> por etapa de desarrollo.....	34
3.3.4. Porcentaje de infestación de brotes por muestreo.....	36
3.3.5. Fluctuación poblacional de adultos capturados con trampas amarillas pegajosas.....	38
3.3.6. Fluctuación de adultos capturados por sexo.....	39
3.3.7. Factores que influyen sobre la abundancia de adultos por sexo capturados con trampas amarillas.....	39
3.4. Presencia de <i>T. radiata</i> y otros enemigos naturales de <i>D. citri</i>	41
3.5. Hormigas asociadas a <i>D. citri</i> en brotes.....	45
4. Discusión.....	46
5. Conclusiones.....	55

6. Literatura citada	57
7. Anexo.....	68
Anexo 1. Enemigos naturales de <i>D. citri</i> en su área de distribución nativa (Asia) ..	68
Anexo 2. Enemigos naturales (Con excepción de parasitoides introducidos) de <i>D. citri</i> en áreas invadidas	70
Anexo 3. Adultos de <i>D. citri</i> atacados por hongos entomopatógenos.....	73
Anexo 4. Presencia estacional de enemigos naturales por parcela.....	74
Anexo 5. Artículo sometido	76

Índice de Cuadros

Cuadro 1. Tamaño y características de las fases ninfales de <i>D. citri</i> (Tsai, 2008).	10
Cuadro 2. Localización y características de las parcelas de limón persa estudiadas....	21
Cuadro 3. Factores influyentes sobre la abundancia de brotes en limón persa. Resultados del Análisis de Devianza.....	29
Cuadro 4. Factores influyentes sobre la abundancia de <i>D. citri</i> en brotes de limón persa. Resultados del Análisis de Devianza.....	32
Cuadro 5. Resultados del análisis de regresión mostrando la relación entre abundancias de <i>D. citri</i> y abundancias de brotes de limón persa.	34
Cuadro 6. Total de adultos de <i>D. citri</i> atrapados con trampas amarillas pegajosas por temporada.	39
Cuadro 7. Enemigos naturales asociados a <i>D. citri</i> en tres parcelas de limón persa en Quintana Roo.....	43
Cuadro 8. Abundancia de los enemigos naturales de <i>D. citri</i> por método de colecta....	44
Cuadro 9. Especies de hormigas asociadas a <i>D. citri</i> en árboles de limón persa en Quintana Roo.....	45
Cuadro 10. Presencia estacional de enemigos naturales de <i>D. citri</i> en la parcela de limón persa A, en Sta. Gertrudis, Quintana Roo.....	74
Cuadro 11. Presencia estacional de enemigos naturales de <i>D. citri</i> en la parcela de limón persa B, en Sta. Gertrudis, Quintana Roo.....	74
Cuadro 12. Presencia estacional de enemigos naturales de <i>D. citri</i> en la parcela de limón persa C en Xul-Ha, Quintana Roo.....	74

Índice de Figuras

Figura 1. Distribución de <i>D. citri</i> infectivo, árboles enfermos de HLB, o ambos en México hasta julio de 2014. Construida con datos del informe mensual sobre acciones contra el HLB (SENASICA, 2014a). Diferentes intensidades de verde muestran la dispersión del vector y/o del patógeno a lo largo del tiempo.....	7
Figura 2. Ciclo de vida de <i>Diaphorina citri</i>	11
Figura 3. Parasitismo y emergencia de <i>Tamarixia radiata</i> . A) Ninfa de <i>D. citri</i> parasitada, B) adulto emergiendo de una ninfa de <i>D. citri</i> , C) agujero de emergencia en una ninfa y D) adulto de <i>T. radiata</i>	16
Figura 4. Localización de los sitios de estudio en el estado de Quintana Roo.....	20
Figura 5. Colecta, preservación y revisión de brotes tiernos	23
Figura 6. Trampa amarilla (Ferommis Group), para el monitoreo de <i>D. citri</i>	24
Figura 7. Fluctuación de la producción de brotes totales por muestreo en limón persa en tres temporadas climáticas en tres parcelas en el sur de Quintana Roo en 2014.....	28
Figura 8. Abundancia de <i>D. citri</i> en brotes de limón persa en tres temporadas en 3 parcelas en Quintana Roo durante 2014 (Media \pm SEM). Letras diferentes en una misma parcela indican diferencias significativas, comparaciones múltiples, estadístico de Wald con aproximación a la normal, $P < 0.001$	30
Figura 9. Fluctuación del número total de <i>D. citri</i> (huevos, ninfas y adultos) y total de brotes tiernos de limón persa en 3 parcelas en el sur de Quintana Roo en 2014.....	33

Figura 10. Fluctuación estacional de los estados de desarrollo de <i>D. citri</i> en tres parcelas de limón persa en el sur de Quintana Roo en el 2014.....	36
Figura 11. Porcentaje de infestación de brotes en tres parcela de limón persa en el sur de Quintana Roo en 2014.....	37
Figura 12. Fluctuación poblacional de adultos de <i>D. citri</i> por fecha de muestreo capturados con trampas amarillas pegajosas en tres parcelas de Limón persa en el sur de Quintana Roo durante 2014.....	38
Figura 13. Fluctuación poblacional de adultos de <i>D. citri</i> por sexo capturados con trampas amarillas en tres parcelas de limón persa en el sur de Quintana Roo durante 2014.	41
Figura 14. Adulto de <i>D. citri</i> encontrado en limón persa con signos de infección por hongo entomopatógeno en la localidad de Sta. Gertrudis, Quintana Roo.....	73
Figura 15. Adulto de <i>D. citri</i> encontrado en limón persa con signos de infección por hongo entomopatógeno en la localidad de Xul-Ha, Quintana Roo.	73
Figura 16. Adulto de <i>D. citri</i> encontrado en limón persa infectado por <i>Isaria</i> sp. en la localidad de Sta. Gertrudis, Quintana Roo.....	73

Resumen

El psílido asiático de los cítricos, *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae) representa una plaga citrícola de importancia mundial, principalmente por ser vector de los patógenos causantes del Huanglongbing, una enfermedad devastadora de los cítricos que hasta la fecha no tiene cura. Actualmente todas las áreas citrícolas de México se encuentran afectadas por esta especie invasora, y la enfermedad continúa extendiéndose. El objetivo de presente trabajo fue determinar la dinámica poblacional de *D. citri* en tres parcelas de limón persa en dos municipios del sur de Quintana Roo (José María Morelos y Othón P. Blanco). Se realizaron muestreos en las tres parcelas cada dos semanas, de enero a agosto de 2014. En cada sitio se monitorearon 10 árboles en los cuales 1) se estimó la producción de brotes tiernos en los cuatro puntos cardinales de la copa, 2) se colectó un brote tierno por punto cardinal para determinar la presencia de huevos, ninfas y adultos de *D. citri*, así como la posible emergencia de parasitoides, 3) se colectaron los enemigos naturales que se encontraban forrajeando, infectando o alimentándose de *D. citri* y 4) se colocó una trampa amarilla pegajosa (reemplazada cada 14 días) para monitorear adultos y enemigos naturales de *D. citri* reportados en la literatura. En las parcelas no se detectó un patrón característico de la fluctuación poblacional del psílido, ésta varió considerablemente entre parcelas y entre temporadas climáticas (“nortes”, secas y lluvias). Sin embargo, se detectó una mayor abundancia del psílido durante la temporada de “nortes”, tanto en brotes como con las trampas amarillas, relacionada posiblemente con la producción de brotes al inicio de la primavera, aunque globalmente no hubo una correlación significativa entre disponibilidad de brotes y abundancia de *D. citri*. Se encontró además que tanto la temperatura como la humedad relativa fueron factores

influyentes sobre las abundancias de *D. citri* y que el manejo del cultivo (podas), las características del paisaje rodeando las parcelas y la constitución de cada una pudieron jugar un papel importante en la presencia del psílido o en su fluctuación. Todos los estados de desarrollo de *D. citri* se encontraron presentes en las parcelas a lo largo del periodo muestreado. Además, el número de machos capturados con trampas amarillas fue significativamente mayor que el de las hembras. En cuanto a los enemigos naturales asociados a *D. citri*, se detectó al parasitoide introducido, *Tamarixia radiata*, y a siete especies nativas, éstos incluyen a seis depredadores generalistas, *Ceraeochrysa* sp., *Chilocorus* sp., *Cycloneda sanguinea*, *Lyssomanes* sp, la hormiga *Pseudomyrmex gracilis* y una especie no identificada de la familia Mantidae, y un hongo entomopatógeno, *Isaria* sp. Se documentaron además otras 10 especies de hormigas forrajeando en los brotes muestreados.

Palabras claves: Especie invasora, Depredadores, Entomopatógenos, Huanglongbing, Parasitoide. Psílido asiático de los cítricos

1. Introducción

En México, la citricultura representa una actividad frutícola de importancia. En 2012 el país ocupó el tercer lugar en producción de limas y limones y quinto en naranjas (FAOSTAT, 2014). Tan solo en naranjas (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) se siembran poco más de 300 mil hectáreas, repartidas en 27 estados de la república, destacándose Veracruz, Tamaulipas y San Luis Potosí (SHCP, 2014a) y respecto al limón (*Citrus limón* (L.) Burm. F.) se siembran aproximadamente 170 mil hectáreas, donde cuatro estados contribuyen con el 77% de la producción total (Veracruz, Michoacán, Colima y Oaxaca) (SHCP, 2014b). En el estado de Quintana Roo la citricultura es una actividad de pequeños productores y el limón, incluyendo el limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka), ocupa una superficie de 830 ha en el municipios de José María Morelos (JMM) y 328.50 ha en Othón P. Blanco (OPB) (SIAP, 2014). El limón persa, se coloca dentro de las especies de cítricos de mayor importancia económica a nivel nacional; es la segunda especie con mayor producción en el país, y conforma el 85% de las exportaciones a Estados Unidos (SHCP, 2014b).

En México la actividad citrícola se encuentra amenazada por diversas enfermedades, como el Huanglongbing (HLB), la Tristeza de los cítricos, la Leprosis, el Cancro y la Clorosis Variegada. Dentro de éstas, destaca el HLB o enverdecimiento de los cítricos, para el cual se tiene una campaña fitosanitaria específica para su control en todos los estados con producción citrícola (SENASICA, 2014c). El HLB, cuyo nombre significa “enfermedad del dragón amarillo” es causada por las bacterias *Candidatus Liberibacter*

spp., las cuales son bacterias Gram-negativas restringidas al floema. Los árboles enfermos no tienen curación y eventualmente mueren después de unos años, periodo en el cual reducen su capacidad de desarrollo, producen frutos pequeños, deformes e insípidos y cambian en apariencia, al poseer hojas moteadas y brotes amarillentos (Bové, 2006).

Esta enfermedad es transmitida por dos especies de hemípteros, *Trioza erythrae* (Del Guercio) (Hemiptera: Triozidae) el psílido africano de los cítricos, y *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Liviidae), el psílido asiático de los cítricos (Aubert, 1987). En México se reportó por primera vez a *D. citri* en el 2002 en los estados de Campeche y Quintana Roo (López-Arroyo et al., 2005) y la enfermedad se detectó en los municipios de Tizimín del estado de Yucatán (NAPPO, 2009) y de Lázaro Cárdenas en Quintana Roo (Trujillo Arriaga, 2010). Actualmente tanto el vector como la enfermedad se encuentran ampliamente distribuidos en la República (SENASICA, 2014a).

La rápida expansión de *D. citri* y como consecuencia del HLB, puede ser atribuida a la gran capacidad reproductiva de esta especie (Liu y Tsai, 2000; Grafton-Cardwell, Stelinski y Stansly, 2013), su rápido desarrollo (Liu y Tsai, 2000), su capacidad de utilizar hospederos alternativos (Aubert, 1990; Bové, 2006; Yang et al., 2006; Grafton-Cardwell, Stelinski y Stansly, 2013; Martini et al., 2013) y su capacidad de dispersión activa (Martini, Hoyte y Stelinski, 2014) o facilitada por el viento (Lewis-Rosenblum et al., 2015). Aunado a esto, al ser una especie exótica, carece de los enemigos naturales específicos presentes en su rango de distribución original.

Para regular las poblaciones del insecto vector y la dispersión del HLB, las estrategias empleadas a nivel mundial, consisten en: 1) eliminación oportuna de árboles infectados, 2) uso de plantas certificadas provenientes de viveros protegidos, y 3) manejo de las poblaciones de *D. citri* (Bové, 2006; Grafton-Cardwell, Stelinski y Stansly, 2013). En México se monitorea continuamente las poblaciones de *D. citri* para determinar la necesidad de aplicaciones de insecticidas o de control biológico (SENASICA, 2014a).

En el control químico de *D. citri*, los agroquímicos son utilizados bajo un esquema de rotación de grupos toxicológicos y en épocas biológicamente justificadas (SENASICA, 2014a), pero para conocer esas épocas, es necesario tener antecedentes sobre la dinámica poblacional del insecto a nivel local. Algunos estudios en el país muestran que el comportamiento de las poblaciones de *D. citri* puede variar dependiendo de factores bióticos y abióticos (Aguilar-Román et al., 2011; Cabrera-Mireles et al., 2011; Ortega-Arenas et al., 2013), como consecuencia es importante generar información acerca de la dinámica poblacional del vector a nivel regional para auxiliar en la toma de decisiones de manejo.

Respecto al control biológico de *D. citri*, se emplea actualmente el parasitoide *Tamarixia radiata* (Waterston) (Hymenoptera: Eulophidae), que junto con *Diaphorencyrtus aligarhensis* (Shafee, Alam y Argarwal) (Hymenoptera: Encyrtidae), son los únicos parasitoides específicos conocidos del psílido (Grafton-Cardwell, Stelinski y Stansly, 2013). *T. radiata* ha demostrado ser un agente de control biológico efectivo, revelando resultados positivos en los países en donde se ha importado (Aubert y Quilici, 1984; Chien y Chu, 1996; Étienne et al., 2001; Hoy y Nguyen, 2001). En México, la introducción de *T.*

radiata fue accidental, reportándose por primera vez en el estado de Tamaulipas y posteriormente en otros estados de la república (Coronado-Blanco et al., 2003; González-Hernández et al., 2009).

Además del parasitoide, también hay reportes, en distintos países, de depredadores y patógenos nativos generalistas que se alimentan de las poblaciones de *D. citri*. Hasta el momento los enemigos naturales de *D. citri* reportados en México, incluyen insectos de los órdenes Neuroptera, Coleoptera, Hymenoptera, Diptera y Hemiptera, y hongos entomopatógenos (Anexo 2. Cortez-Mondaca et al., 2010; Barrera, Gómez-Ruiz y Herrera-Muñoz, 2010; Hernández-Guerra et al., 2011; Reyes-Rosas et al., 2011; Lozano Contreras y Jasso Argumedo, 2012; Rodríguez-Palomera et al., 2012; Guizar-Guzman y Sanchez-Peña, 2013). Algunos de estos grupos, como los neurópteros (crisópidos) tienen gran capacidad para ser usados como agentes en programas de control biológico por aumento (Cortez-Mondaca et al., 2011), o a través de la manipulación del hábitat (Albuquerque, Tauber y Tauber, 2001). Este tipo de estrategias, de igual manera pueden ser aplicadas utilizando otros grupos de enemigos naturales presentes en el área en donde esté se encuentre la plaga. Sin embargo, para hacer una propuesta, en primer lugar es necesario determinar cuáles enemigos naturales potenciales están presentes y en segundo lugar, generar conocimiento sobre su biología, dinámica poblacional o cualquier información que auxilie en el desarrollo de las estrategias.

Por lo antes mencionado se planteó estudiar la dinámica poblacional de *D. citri* a lo largo de tres temporadas climáticas en Quintana Roo e identificar los enemigos naturales

(parasitoides, patógenos o depredadores nativos) asociados a esta especie invasiva en cultivos de limón persa del sur del estado.

1.1. Antecedentes

1.1.1. El Huanglongbing

El Huanglongbing es una enfermedad debilitadora y destructiva de cítricos, causada por bacterias Gram-negativas (Garnier, Danel y Bove, 1984) del género *Candidatus Liberibacter*, éstas incluyen a: *Ca. Liberibacter asiaticus*, presente en el continente asiático, USA, Brasil y México; *Ca. Liberibacter africanus*, delimitado a países africanos y *Ca. Liberibacter americanus* reportado solamente en Brasil y recientemente en China (Bové, 2006; NAPPO, 2009; Haapalainen, 2014). Las bacterias llevan la categoría de *Candidatus* debido a que no pueden ser mantenidas en cultivos bacteriológicos y hasta el momento la obtención de cultivos duraderos no se ha logrado (Gottwald, 2010).

No existen síntomas específicos en los árboles infectados con el HLB; la presencia de hojas moteadas con manchas que resultan en brotes amarillentos, árboles mal desarrollados, producción de frutos pequeños, deformes, en pequeñas cantidades, con maduración invertida y semillas abortadas son característicos, sin embargo, no todos los síntomas se presentan en el mismo árbol (Bové, 2006). La enfermedad, como consecuencia, no puede ser diagnosticada con seguridad basándose solamente en la sintomatología de los árboles, pero se ha desarrollado un método basado en la reacción en cadena de la polimerasa (PCR) para identificar la especie de *Candidatus Liberibacter* presente (Jagoueix, Bove y Garnier, 1996).

Dos características de la enfermedad que complican su erradicación y control, incluyen la distribución sistémica incompleta de la bacteria dentro del árbol y un periodo de incubación largo, ambos causantes de dar falsos negativos, lo cual impide la detección temprana y una respuesta rápida ante la situación (Gottwald, 2010). Su dispersión por otro lado, es especialmente dependiente de sus insectos vectores, *T. erytrae* en África y *D. citri*, en Asia y en el continente Americano (Bové, 2006). Sin embargo, también se propaga de manera no intencional a través de material vegetativo de viveros infectados, o se ha introducido en nuevas áreas mediante la siembra de plántulas enfermas (Haapalainen, 2014).

En México, *Ca. Liberibacter asiaticus* se detectó en el 2009 y en la actualidad se ha encontrado tanto en plantas como en adultos de *D. citri* en diversos estados de la república (Figura 1) (NAPPO, 2009; SENASICA, 2014a), incluyendo a los más importantes en cuanto a producción citrícola.

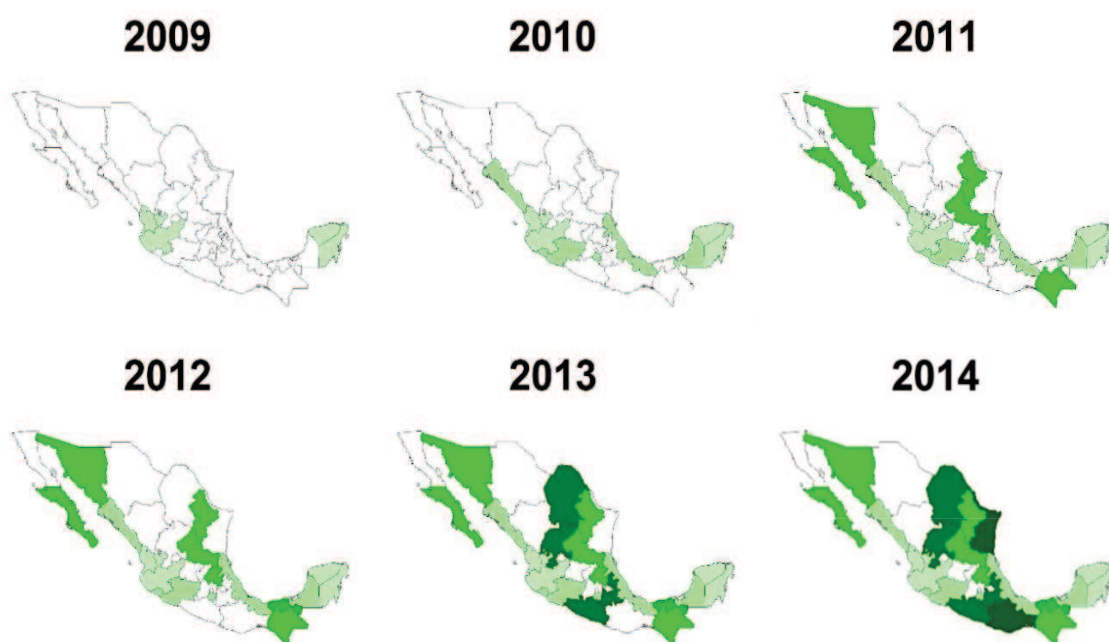


Figura 1. Distribución de *D. citri* infectivo, árboles enfermos de HLB, o ambos en México hasta julio de 2014. Construida con datos del informe mensual sobre acciones contra el HLB (SENASICA, 2014a). Diferentes intensidades de verde muestran la dispersión del vector y/o del patógeno a lo largo del tiempo.

1.1.2. *Diaphorina citri*

1.1.2.1. Taxonomía

Filo : Arthropoda

Clase: Insecta

Orden: Hemiptera

Suborden: Sternorrhyncha

Superfamilia: Psylloidea

Familia: Liviidae

Subfamilia: Euphyllurinae

Género: *Diaphorina*

Especie: *citri*

1.1.2.2. Importancia

Diaphorina citri es ampliamente conocido como el psílido asiático de los cítricos (PAC), y es considerado como la plaga citrícola más seria a nivel mundial debido a su papel como vector de los patógenos asociados a la enfermedad del HLB (Bové, 2006). Al ser una especie prolífica, *D. citri* ha permitido una rápida propagación del HLB, ya que una sola hembra tiene la capacidad de ovipositar hasta 800 huevecillos en su vida (Liu y Tsai, 2000). Aunado a esto, tanto adultos como estados tardíos de las ninfas (IV-V) se vuelven infectivos después de alimentarse de plantas enfermas. Por otro lado, adultos recién emergidos de ninfas infectadas son capaces de transmitir el patógeno y se mantienen infectivos a lo largo de su vida (Xu et al., 1988).

En ausencia del patógeno, *D. citri* representa una plaga de menor importancia (Halbert y Manjunath, 2004), sin embargo no está exenta de causar daños. En infestaciones fuertes *D. citri* provoca que las hojas se tornen curvadas y se cubran con secreciones producidas por las ninfas causando crecimiento de hongos y en ocasiones provocando la marchitez de los brotes (Aubert, 1987). Algunas plantas, además, responden a la alimentación de las ninfas con la abscisión de hojas individuales, la muerte del meristemo apical o incluso la caída de todo el brote terminal (Michaud, 2004).

1.1.2.3. Origen y distribución

Diaphorina citri se describió por primera vez en Taiwán en 1907 (Kuwayama, 1908) aunque se ha sugerido que se originó en la India en asociación con una especie de *Murraya* (Rutaceae) (Beattie et al., 2008). En la actualidad la especie ha invadido varios

países en el mundo, tanto en el continente Asiático, como el Americano y el Caribe (Halbert y Nuñez, 2004). En México, se detectó en el 2002, y en tan solo seis años se distribuyó por todo el territorio mexicano (López-Arroyo et al., 2005).

1.1.2.4. Hospederos

Diaphorina citri posee un amplio rango de hospederos dentro de la familia Rutaceae, subfamilia Aurantioideae. Al menos 10 géneros aparte de *Citrus* son plantas hospederas de *D. citri* (Aubert, 1990; Yang et al., 2006; Grafton-Cardwell, Stelinski y Stansly, 2013), sin embargo, no se desarrolla en todas ellas. *Murraya paniculata*, *M. exotica*, *Citrus aurantifolia*, seguido por *Berberis koenigii* y *Clausena* spp. se encuentran dentro de los hospederos preferidos tanto para la oviposición como para la alimentación (Bové, 2006). *D. citri* requiere de brotes tiernos para la oviposición y el desarrollo de las ninfas (Catling, 1970) mientras que los adultos pueden mantenerse vivos por tiempo prolongado alimentándose de hojas maduras (Michaud, 2004).

1.1.2.5. Ciclo de vida

El ciclo de vida de *D. citri* consiste en la etapa de huevo, seguido por cinco fases ninfales (Cuadro 1), hasta llegar a adulto (Figura 2) y el ciclo completo puede durar entre 15 a 47 días (Mead, 1977). Los huevos son ovalados y amarillos cuando son recién depositados sobre brotes tiernos y cambian a un tono naranja oscuro cuando maduran, pudiéndose observar los dos puntos rojos de los ojos (Hall et al., 2013). El desarrollo embrionario puede variar dependiendo de la temperatura, Catling (1970) reporta un periodo promedio de incubación de 3 días a 25-26 °C, mientras que Liu y Tsai (2000) reportan 4.2 días a

25 °C. Las cinco fases ninfales se desarrollan en un lapso de 11 a 15 días y se ha observado que no se desarrollan en temperaturas extremas (10 °C y 33 °C) (Liu y Tsai, 2000); sin embargo, Hall, Wenninger y Hentz, (2011) reportan sobrevivencia de ninfas expuestas por varias horas a temperaturas de -5 a -6°C. Los adultos pueden vivir por varios días; Liu y Tsai (2000) reportan una longevidad máxima de 117 días a 15 °C y mínima de 51 días a 30 °C.

Cuadro 1. Tamaño y características de las fases ninfales de *D. citri* (Tsai, 2008).

Fases ninfal	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Características morfológicas
I	0.30	0.17	Cuerpo de color rosa claro con un par de ojos compuestos.
II	0.45	0.25	Las almohadillas rudimentarias de las alas son visibles en la parte dorsal del tórax.
III	0.74	0.43	Las almohadillas de las alas están bien desarrolladas y la segmentación de las antenas es evidente
IV	1.01	0.70	Las almohadillas de las alas están bien desarrolladas: la almohadilla mesotorácica se extiende a 1/3 de los ojos compuestos y la almohadilla alar metatorácica se extiende al tercer segmento abdominal.
V	1.60	1.02	La almohadilla alar mesotorácicas se extienden hacia enfrente de los ojos compuestos y las metatorácicas se extienden hasta el cuarto segmento abdominal. En algunas ninfas el abdomen se torna de color azul verdoso (Figura 2) en vez de naranja pálido.

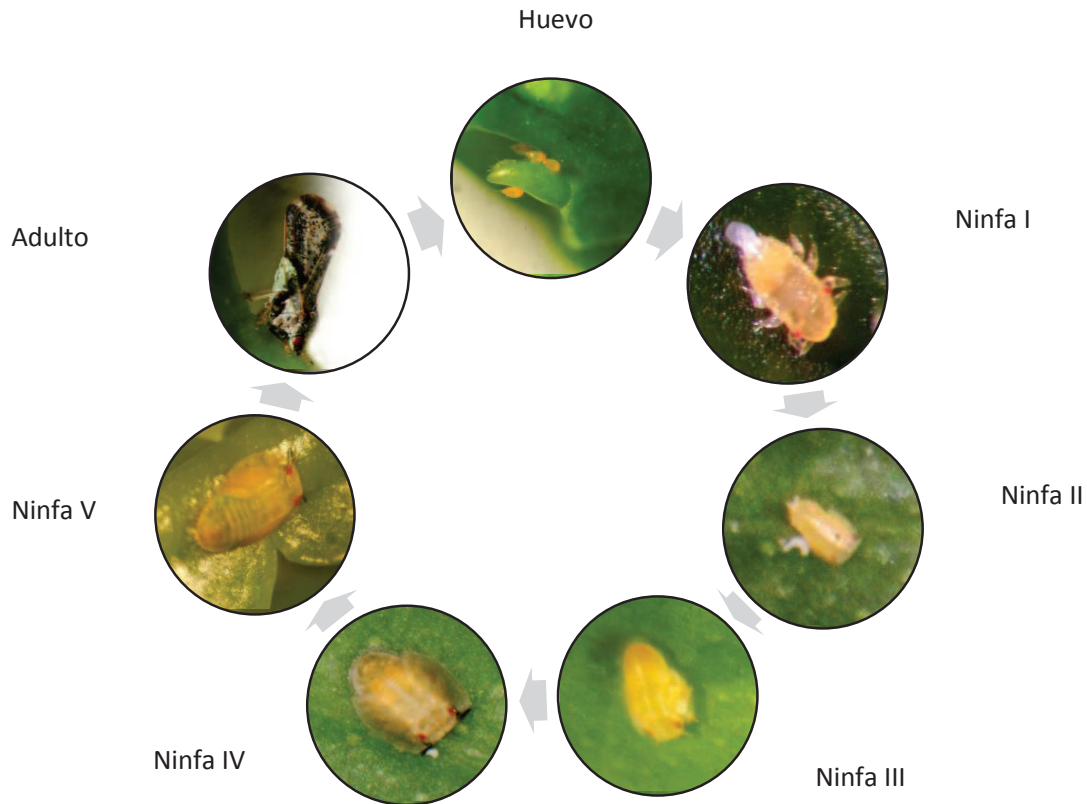


Figura 2. Ciclo de vida de *Diaphorina citri*

1.1.3. Dinámica poblacional de *D. citri* en México

Algunos estudios realizados en distintos estados de México muestran que el comportamiento poblacional de *D. citri* varía, observándose picos estacionales en distintos meses del año, lo cual está correlacionado con factores que limitan o benefician a las poblaciones. Dentro de estos factores se pueden incluir el tipo de planta hospedera, la edad del árbol, la disponibilidad de brotes, y factores climáticos tales como la

precipitación, la temperatura y la humedad relativa (Aguilar-Román et al., 2011; Cabrera-Mireles et al., 2011; Mireles-Rodríguez y López Arroyo, 2011; Sosa-Armenta et al., 2011; García Garduza, et al., 2013; Ortega-Arenas et al., 2013). Las poblaciones de *D. citri* pueden verse influidas por la especie e incluso la variedad de su planta hospedera. Por ejemplo, Sosa-Armenta et al. (2011) encontraron mayor abundancia de *D. citri* en naranja Valencia en comparación con limón persa y Ortega-Arenas et al. (2013) observan una mayor infestación en Naranja cv. Mars, contrario que en *Citrus limetta*, aun cuando esta última especie presentaba una mayor producción de brotes tiernos. Lo anterior también muestra que la disponibilidad de brotes no siempre es un factor predictivo del incremento de las poblaciones del psílido, aun cuando algunos estudios revelan una correlación o coincidencia entre la abundancia de brotes y el incremento poblacional de huevos, ninfas y adultos de *D. citri* (Tsai, Wang y Liu, 2002; Aguilar-Román et al., 2011; Ortega-Arenas et al., 2013; García Garduza et al., 2013). Además de la disponibilidad de brotes, y de la especie y/o variedad de planta hospedera, la edad de la misma puede jugar un papel importante en los niveles de infestación por *D. citri*. Jasso-Argumedo et al. (2010) encontraron que la población de adultos de *D. citri* al igual que los niveles de infestación, se reducen a medida de que se incrementa la edad de la planta hospedera, en este caso limón persa. Por otro lado los factores climáticos como la temperatura, precipitación y humedad pueden influir directamente sobre las poblaciones de *D. citri* (García Garduza et al., 2013) o indirectamente al afectar la producción de brotes de su planta hospedera (Ortega-Arenas et al., 2013). La combinación de los efectos de los factores mencionados, pueden provocar que las poblaciones del psílido varíen a lo largo del año a escalas locales.

1.1.4. Métodos de control de *D. citri*

Son diversos los métodos empleados para controlar las poblaciones de *D. citri* en países en donde ha invadido, desde el control biológico clásico (Aubert y Quilici, 1984; Chien y Chu, 1996; Étienne et al., 2001; Hoy y Nguyen, 2001), hasta el uso intensivo de plaguicidas (Belasque et al., 2010).

En el caso de México, se establecieron Áreas Regionales de Control (Arcos) en 24 estados, en donde se monitorean las poblaciones del insecto y se realiza un control oportuno. El control está basado en el uso de *T. radiata* como agente de control biológico, sobre todo en huertos abandonados y en zonas urbanas (SENASICA, 2014a) y también el control químico, ambos usados como parte del manejo integrado de *D. citri*. Sumado a estas actividades, además se recomienda la eliminación de plantas infectadas con HLB, y el uso de plantas sanas de viveros certificados para aminorar la propagación de la enfermedad (López Arroyo, 2010).

1.1.4.1. Control químico

En países como Brasil y EUA, en donde los productores citrícolas consideraron que el control biológico no era suficiente por sí solo para disminuir las poblaciones de *D. citri*, se optó por el uso intensivo de plaguicidas (Hall, 2008). Dentro de los productos utilizados se incluyen insecticidas de contacto vía aérea (Provado, Karate), aplicados mediante aspersión foliar (Vertimec, Talsar, Lorsban, etc.) e insecticidas sistémicos a través de aplicaciones por riego en la base del árbol (Actara, Provado) o en el suelo (Temik) (Childers y Rogers, 2005; Belasque et al., 2010).

El uso de estos productos asimismo, ejerce un efecto negativo en la fauna benéfica, provocando en algunos casos reducciones en la abundancia de depredadores claves o la modificación de sus patrones estacionales (Monzo, Qureshi y Stansly, 2014). Además, se ha demostrado la existencia de niveles variables de susceptibilidad a insecticidas por *D. citri*, lo cual puede representar un futuro problema para su control (Tiwari et al., 2011).

1.1.4.2. Control biológico

Existen diversos enemigos naturales de *D. citri*, tanto los presentes en su área de distribución original como en las áreas invadidas (ANEXOS 1 y 2); muchos son depredadores y patógenos generalistas, pero se reportan dos parasitoides específicos, *T. radiata* y *D. aligarhensis*, los únicos conocidos hasta el momento (Grafton-Cardwell, Stelinski y Stansly, 2013). Estos parasitoides han sido importados en algunos países para controlar las poblaciones de *D. citri* y aminorar la propagación del HLB, y se han obtenido resultados positivos (Aubert y Quilici, 1984; Chien y Chu, 1996; Étienne et al., 2001; Hoy y Nguyen, 2001). De estos parasitoides, *T. radiata* es el más efectivo en controlar las poblaciones de *D. citri* (Grafton-Cardwell, Stelinski y Stansly, 2013).

El éxito de *T. radiata* en los países en donde se ha importado, se debió aparentemente a la ausencia de hiperparasitoides (Aubert y Quilici, 1984), aunque su establecimiento se ha visto limitado por la aplicación de plaguicidas (Chien y Chu, 1996) o por la depredación intragremial por coccinélidos depredadores que se alimentaban de ninfas parasitadas (Qureshi y Stansly, 2007; Qureshi et al., 2009).

En algunos países, por otro lado, introducciones accidentales de *T. radiata* controlaron exitosamente las poblaciones de *D. citri*. Tal es el caso reportado en Puerto Rico, donde se registraron tasas de parasitismo muy altas, hasta del 100% (Pluke, Qureshi y Stansly, 2008) y también en Cuba con tasas entre el 30% y 97% (González et al., 2007). Al igual que en Puerto Rico y Cuba, *T. radiata* se introdujo de manera accidental en México (Coronado-Blanco et al., 2003; González-Hernández et al., 2009), y se comenzó a utilizar dentro de la campaña fitosanitaria contra el HLB para impactar al vector principalmente en zonas urbanas y huertas abandonadas (SENASICA, 2014a).

1.1.4.2.1. Biología de *Tamarixia radiata*

Tamarixia radiata es un ectoparásitoide sinovigénico específico de *D. citri* (Chien, 1995), Una sola hembra es capaz de matar hasta 500 individuos de *D. citri* a través del parasitismo y succión de la hemolinfa de las ninfas—host-feeding- (Hoy y Nguyen, 2001). Las hembras parasitan preferentemente a las ninfas del quinto estadio de *D. citri*, lo cual resulta en prole con mayor supervivencia, fecundidad, proporción de hembras, longevidad y mayor tamaño corporal (Chien, Chu y Ku, 1991), sin embargo, también se ha documentado oviposición en las ninfas III y IV (Lama, Regmi y Aubert, 1988). Las larvas y las pupas de *T. radiata* se desarrollan en un periodo de 9 a 14 días, después del cual emergen los adultos a través de un agujero hecho en el tórax del cuerpo momificado de la ninfa de *D. citri* (Figura 3; Aubert y Quilici, 1984).

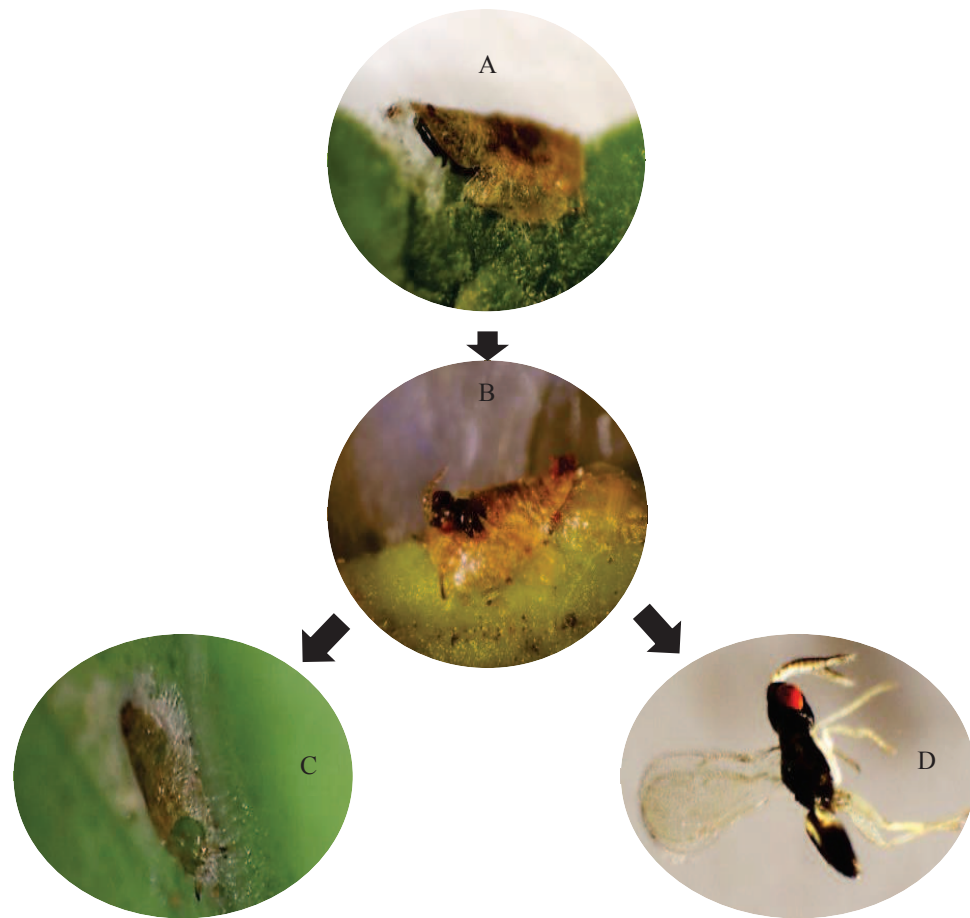


Figura 3. Parasitismo y emergencia de *Tamarixia radiata*. A) Ninfa de *D. citri* parasitada, B) adulto emergiendo de una ninfa de *D. citri*, C) agujero de emergencia en una ninfa y D) adulto de *T. radiata*

El parasitoide además tiene la capacidad de discriminar hospederos previamente parasitados y evita el superparasitismo (Chien, Chu y Ku, 1991). Se han documentado casos de hiperparasitismo de *T. radiata* en su área de distribución nativa (Catling, 1970), pero sólo recientemente se identificó a *Marietta leopardina* (Hymenoptera: Apheliniidae) y a *Aprostocetus* (*Aprostocetus*) sp. (Hymenoptera: Eulophidae) como hiperparasitoides obligados de *T. radiata* (Hoddle, Hoddle y Triapitsyn, 2013).

1.1.4.2.2. Agentes de control biológico potenciales de *D. citri* en México

En México, se han reportado 24 especies de enemigos naturales nativos que atacan poblaciones de *D. citri*, entre los cuales se encuentran 14 coccinélidos, un véspido, un sírfido, un redúvido, siete crisópidos y cinco hongos entomopatógenos (Anexo 2; Barrera, Gómez-Ruiz y Herrera-Muñoz, 2010; Cortez-Mondaca et al., 2010; Hernández-Guerra et al., 2011; Reyes-Rosas et al., 2011; Lozano Contreras y Jasso Argumedo, 2012; Rodríguez-Palomera et al., 2012; Gandarilla-Pacheco et al., 2013; Guizar-Guzman y Sanchez-Peña, 2013). Dentro de éstos, algunas especies depredadoras han sido propuestas como agentes de control biológico viables contra *D. citri*, para su uso en ciertas zonas (Cortez-Mondaca et al., 2011) y por otro lado, también se cuenta con especies como *Curinus coeruleus* (Mulsant), *Olla v-nigrum* (Mulsant), y *Cycloneda sanguinea* (L.) (Coleoptera: Coccinellidae) que en otros países se han reportado como depredadores voraces de *D. citri* (Michaud, 2004).

Los hongos entomopatógenos de igual manera pueden ser un complemento para el control de *D. citri* ya que son varias las especies reportadas en el mundo (Aubert, 1987; Rivero-Aragón y Grillo-Ravelo, 2000; Subandiyah et al., 2000; Padulla et al., 2005; Meyer, Hoy y Boucias, 2008; Rodríguez-Palomera et al., 2012). En México se han encontrado especies causando mortalidad hasta del 84% en ninfas (Gandarilla-Pacheco et al., 2013) y con alto potencial infectivo (Guizar-Guzman y Sanchez-Peña, 2013). El uso de estos entomopatógenos sin embargo debe ser sustentado con estudios relacionados con el efecto de éstos en organismos no blanco.

1.2. Objetivo

1.2.1. Objetivo general

- Determinar la dinámica poblacional de *Diaphorina citri* y sus enemigos naturales en parcelas de limón persa en tres temporadas climáticas en el sur de Quintana Roo.

1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar la fluctuación poblacional de *D. citri* en parcelas de limón persa a lo largo de tres temporadas climáticas en el sur de Quintana Roo.
- Determinar los factores bióticos y abióticos que influyen sobre las poblaciones de *D. citri* en parcelas de limón persa en el sur de Quintana Roo.
- Identificar los eventuales enemigos naturales asociados a *D. citri* en tres parcelas de limón persa en el sur de Quintana Roo.

1.3. Hipótesis

- Los factores climáticos como la temperatura, humedad y precipitación ejercen un efecto sobre las poblaciones de *D. citri*.
- La disponibilidad de brotes en limón persa ejercen un efecto sobre las poblaciones de *D. citri*.
- En el sur de Quintana Roo existen agentes biológicos con potencial de disminuir las poblaciones de *D. citri*.

2. Metodología

2.1. Área de estudio

El estudio se efectuó en el sur del estado de Quintana Roo. El clima de la región es del tipo "Aw" de acuerdo al sistema de clasificación de Köppen modificado por García (1973) siendo un clima cálido subhúmedo con lluvias abundantes en verano y lluvias aisladas en otoño e invierno. La temperatura media anual oscila entre los 24 -26 °C y la precipitación media anual entre los 1000 mm y 1500 mm. Se caracterizan dos temporadas climáticas bien definidas, la temporada de lluvias que va de mayo a octubre y la temporada de secas que va de noviembre a abril. Además, la llegada de frentes fríos (viento que se originan en Canadá y descienden hacia México en dirección norte-sureste, Xacur-Maiza, 1998) entre noviembre a febrero caracterizan una tercera temporada comúnmente denominada "Nortes"

Se seleccionaron tres parcelas de limón Persa (*Citrus latifolia* Tan.), dos de ellas ubicadas en la localidad de Sta. Gertrudis en el Municipio de José María Morelos y una en Xul-Ha en el Municipio de Othón P. Blanco (Figura 4). Las parcelas pertenecen a distintos propietarios y las prácticas agrícolas empleadas variaron dependiendo de cada uno. Asimismo, cada parcela poseía características distintas en cuanto a dimensión y tipo de cultivo (Cuadro 2).

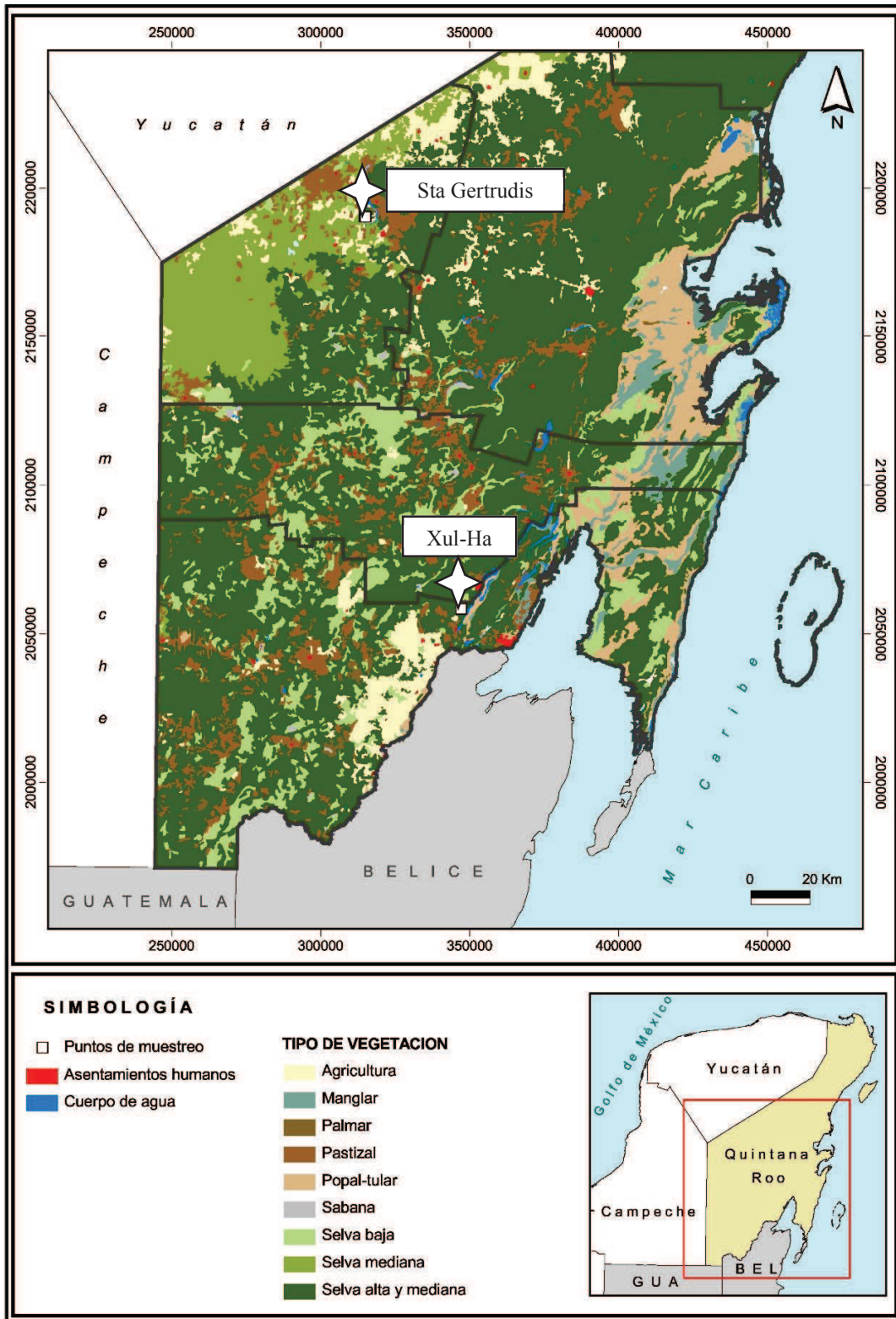


Figura 4. Localización de los sitios de estudio en el estado de Quintana Roo.

Cuadro 2. Localización y características de las parcelas de limón persa estudiadas.

Parcela	Localidad	Municipio	Coordenadas	Altitud (msnm)	Tamaño (ha)	Edad (años)	Tipo de cultivo
A	Santa Gertrudis	JMM	19° 47.799 N, 88° 46.140 W	30	0.5	10	Policultivo de cítricos
B	Santa Gertrudis	JMM	19° 47.827 N, 88° 45.992 W	30	1	3	Limón persa y aguacate
C	Xul-Ha	OPB	18° 36.546 N, 88° 26.936 W	25	10	3	Monocultivo de limón persa

La parcela A es un policultivo, con surcos de limón persa (*Citrus latifolia*) posicionados en la parte centro de la parcela, con surcos de mandarina (*Citrus reticulata*) al sur y naranjas (*Citrus sinensis*) y limón mexicano (*Citrus aurantifolia*) al norte. La parcela colindaba al este y al sur con un remanente de bosque y con el asentamiento rural al norte y al oeste. La parcela B, se encontraba en la misma localidad a unos 300 m de la primera parcela y separada de ella por el remanente de bosque y otras parcelas de cítricos. La parcela B estaba completamente rodeada de otras parcelas de cítricos y los surcos de limón persa se encontraban intercalados con surcos de aguacate. La única vegetación no cultivada cercana a la parcela era el zacate que bordeaba la cerca que lo delimitaba. La parcela C por otro lado, comprendía exclusivamente arboles de limón persa con abundante maleza creciendo entre los surcos. Ésta parcela se encontraba alejada de cualquier asentamientos rural y rodeado por bosque en el norte, este y sur, mientras que al oeste colindaba con otras plantaciones. En esta parcela se liberaron individuos de *T. radiata* en el 2013. Una superficie de 1.5 ha fue tratada con 1500 parasitoides en noviembre, seguido por otro tratamiento de 1200 parasitoides a mediados de diciembre y otro a finales del mismo mes con 1000 individuos (SENASICA, 2014b).

2.2. Esfuerzo de muestreo

El método de muestreo se adaptó de Cabrera-Mireles et al. (2011); Hernández-Guerra et al. (2011) y Ortega-Arenas et al. (2013). En cada sitio, se seleccionaron 10 árboles de limón persa, cinco a lo largo de uno de los bordes y cinco en el interior del cultivo, en diagonal al borde. La distancia entre los árboles seleccionados fue variable dependiendo del tamaño de la parcela, esto con el propósito de abarcar la mayor parte del área. Los muestreos se efectuaron a intervalos de dos semanas en cada parcela a lo largo de las temporadas de nortes (enero-marzo), secas (abril-mayo) y lluvias (junio-agosto) en el 2014, y en cada una se procedió con la colecta del material biológico y la medición de los factores climáticos (temperatura y humedad relativa) con un higrómetro digital. La precipitación se obtuvo de los registros de las estaciones meteorológicas (EMAS) de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), José Ma. Morelos: 19° 45' 08" N, 88° 41' 13" O, 56 msnm, y Othón P. Blanco: 18° 30' 02" N, 88° 19' 39" O, 9 msnm).

2.3. Producción de brotes

Para registrar la fluctuación de la producción de brotes en limón persa a lo largo del muestreo, se utilizó un marco de madera de 40 x 40 cm (Cabrera-Mireles et al., 2011). Ésta se colocó sobre la copa de los árboles, y se contabilizó el número de brotes tiernos presentes en los cuatro puntos cardinales.

2.4. Fluctuación poblacional de *D. citri*

2.4.1. Muestreo de *D. citri* en brotes

Se colectaron cuatro brotes tiernos de aproximadamente 7 cm de largo, correspondientes a cada punto cardinal, de la copa de los árboles seleccionados en cada parcela. La base de cada brote fue colocada en un vial conteniendo un algodón con agua (Figura 5a) y posteriormente cada brote fue colocado dentro de un frasco de plástico cubierto con tela de malla fina (organza) para su transporte al laboratorio en donde fueron revisados bajo un microscopio estereoscópico para contabilizar los estados de desarrollo de *D. citri* presentes (huevos, ninfas I-V y adultos).



Figura 5. Colecta, preservación y revisión de brotes tiernos

2.4.2. Muestreo de adultos en trampas amarillas pegajosas

Para documentar la fluctuación de adultos de *D. citri*, se utilizaron trampas amarillas pegajosas por ambas caras (13.3 x 24.5 cm, Ferommis Group; Figura 6). Una trampa se colocó por árbol seleccionado y se expuso una de las caras. Éstas se dejaron expuestas hasta el siguiente muestreo, durante el cual se procedió a cubrir el lado previamente expuesto y descubrir la siguiente cara. Al finalizar el periodo de exposición de la segunda cara, la trampa fue remplazada por otra nueva y el procedimiento se volvió a repetir a lo

largo del estudio. Otras cinco trampas, fueron colocadas dentro del remanente de bosque colindante con la parcela A. Las trampas fueron revisadas bajo un microscopio estereoscópico y se anotó el número de adultos de *D. citri* presentes, distinguiéndolos por sexos. Asimismo se revisó por la presencia de los depredadores de *D. citri* en México reportados en la literatura.



Figura 6. Trampa amarilla (Feromnis Group), para el monitoreo de *D. citri*.

2.5. Enemigos naturales

En las ramas donde se colectaron los brotes tiernos para la cuantificación de *D. citri*, se realizó además una revisión para encontrar posibles enemigos naturales que estuvieran forrajeando, infectando o alimentándose del psílido. Los individuos encontrados se colectaron en frascos separados y etiquetados para su posterior identificación. A los depredadores potenciales que no se observaron alimentándose durante la colecta en el campo, se les suministraron ejemplares (adultos y ninfas) de *D. citri* en el laboratorio para observar la acción de depredación. De igual manera a los depredadores inmaduros colectados se les proporcionaron presas hasta desarrollarse en adultos para su identificación. Además de la colecta de enemigos naturales presentes sobre los árboles,

se realizaron golpes con una red entomológica sobre el sotobosque, maleza y zacate presentes en el área, con el fin de poder determinar la presencia de *D. citri* y la asociación de estos tipos de hábitat como posible fuente de enemigos naturales presentes dentro del cultivo y también para detectar otros que se encuentran reportados en la literatura.

Para la detección de parasitoides se utilizaron los mismos brotes colectados para la cuantificación de *D. citri*. Aquellos brotes que se encontraban infestados con ninfas, se volvieron a colocar dentro de los frascos de plástico cubiertos con organza, y se revisaron diariamente a lo largo de 14 días para detectar la emergencia eventual de parasitoides.

2.6. Análisis estadístico

Dadas las características inherentes de las diferentes parcelas y al tipo de manejo al que estuvieron sometidas, los resultados no pudieron ser estadísticamente comparados por lo que se analizaron de manera individual para cada parcela. Para el análisis del número total de individuos de *D. citri* y producción de brotes de limón persa, se utilizó un modelo lineal generalizado de efectos mixtos (GLMM), con árbol y brote como variables aleatorias, y una estructura de respuesta binomial negativa (o Poisson), ajustado a los datos sin transformar para los sitios A y C, mientras que en el sitio B los datos fueron transformados ($\text{Log}(Y+0.5)$) para cumplir con el requisito de homocelastividad y se ajustó el modelo con una estructura de respuesta normal. Posteriormente se efectuó un análisis de devianza para ver los efectos de los factores fijos (temporada, orientación del brote, posición del árbol dentro de la parcela -en el borde o en diagonal-, temperatura y humedad relativa o precipitación) sobre la abundancia de *D. citri*. Para los factores que

resultaron significativos en el análisis de devianza ($P < 0.05$), se hicieron comparaciones múltiples usando contrastes ortogonales mediante la prueba de Wald con aproximación a la distribución normal. Los datos obtenidos a través de las capturas con trampas amarillas pegajosas, se analizaron ajustando de igual manera un GLMM, para el total de adultos capturados por trampa, y se agregó un factor más, el sexo de los insectos. Todos los análisis se realizaron con el programa estadístico R (R Development Core Team, 2008). Por otra parte se utilizó un análisis de Correlación de Pearson, para determinar la relación entre las abundancias de brotes y el número de huevos, el número de inmaduros (huevos + ninfas I-V) el total de *D. citri* (huevos, ninfas, adultos).

3. Resultados

3.1. Prácticas agrícolas

Las prácticas agrícolas empleadas en las parcelas estudiadas consistieron principalmente de podas, y eliminación de chupones y de maleza. En la parcela A tanto la poda como la eliminación de chupones se realizó a mediados de marzo y a principios de julio. Cabe mencionar que el remanente de bosque colindante con esta parcela sufrió cambios a lo largo del estudio: en abril y después en mayo, partes del bosque fueron cortadas y posteriormente quemadas a principios de junio y finalmente transformada en un cultivo de maíz en julio. En la parcela B por otro lado, la poda se realizó en marzo y el zacate bordeando el cultivo fue cortado ese mismo mes y principios de julio. En el caso de la parcela C, se realizó una poda considerable de la copa de los árboles en abril. Durante las mismas fechas se eliminó la maleza que crecía de manera considerable entre los surcos de la parcela.

3.2. Fluctuación de brotes en limón persa

La producción de brotes tiernos de limón persa en las tres parcelas estudiadas fue muy variable entre las tres temporadas climáticas y también entre las parcelas estudiadas. Se observaron picos de producción de brotes en febrero, correspondientes a la temporada de nortes, particularmente para las parcelas A y B, posteriormente en ambas se observó una disminución marcada en marzo. En la temporada de secas por otro lado, los picos se presentaron en diferentes fechas para las tres parcelas; en la parcela A el incremento en número de brotes se observó en abril, en la parcela B a mediados de mayo y en la parcela C durante todo el mes de mayo. En la temporada de lluvias, la única parcela en

presentar un aumento en la producción de brotes fue la parcela A, esto ocurrió a mediados de junio (Figura 7).

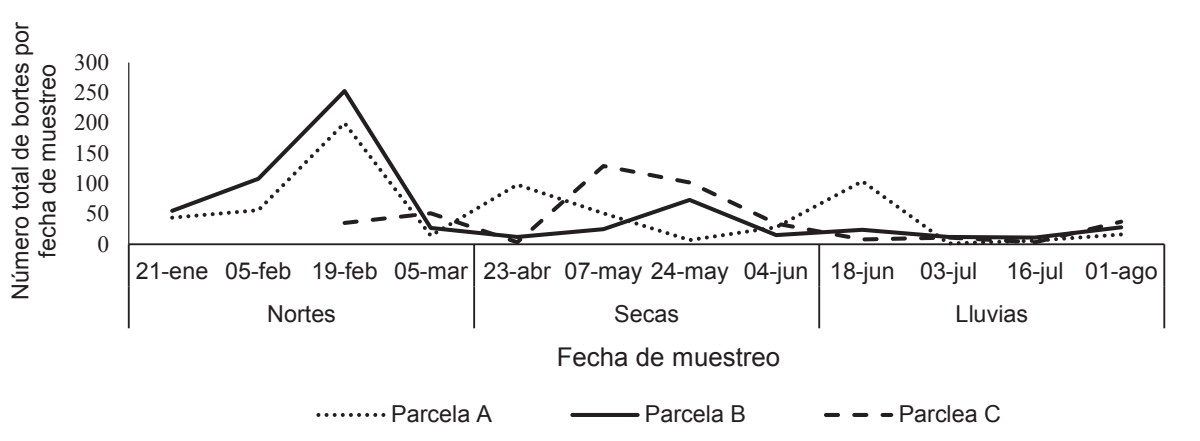


Figura 7. Fluctuación de la producción de brotes totales por muestreo en limón persa en tres temporadas climáticas en tres parcelas en el sur de Quintana Roo en 2014.

3.2.1. Factores que influyeron sobre la producción de brotes en limón persa

Como se mencionó anteriormente, las parcelas no pudieron compararse estadísticamente por lo que se presenta el análisis de manera individual. En la parcela A se observó una baja pero constante producción de brotes tiernos durante todo el periodo muestreado (5.21 ± 0.71 brotes/árbol). En este sitio tanto la temperatura como la precipitación influyeron significativamente sobre la abundancia de brotes de limón persa (Cuadro 3).

En la parcela B en contraste, tanto las temporadas como la humedad relativa y la orientación de los brotes en relación a los puntos cardinales tuvieron un efecto significativo sobre la producción de brotes (Cuadro 3). En este caso, la abundancia de brotes por árbol registrada en la temporada de “nortes” (11.08 ± 1.77) fue significativamente mayor que la registrada en temporada de lluvias (1.86 ± 0.32 ; $Z=8.03$,

P<0.0001) y secas (3.13 ± 0.61 ; $Z=-6.87$, $P<0.0001$); la cantidad de brotes registrada en “nortes” fue aproximadamente seis y cuatro veces mayor en comparación con lluvias y secas respectivamente. Por otro lado, la producción de brotes en la parte de los árboles orientada al Este (0.237 ± 0.09 , datos transformados) fue significativamente diferente de la producción de brotes orientada al Oeste (0.015 ± 0.08) y al Sur (0.026 ± 0.08) pero no difirió de la producción de brotes registrada en el Norte (0.066 ± 0.08).

En el caso de la parcela C, tanto la temporada como la temperatura tuvieron un efecto significativo en la producción de brotes (Cuadro 3). En esta parcela se presentaron diferencias entre las tres temporadas.

Cuadro 3. Factores influyentes sobre la abundancia de brotes en limón persa. Resultados del Análisis de Devianza.

Factor	Parcela A			Parcela B			Parcela C		
	χ^2	g.l.	Nivel de significancia [§]	χ^2	g.l.	Nivel de significancia [§]	χ^2	g.l.	Nivel de significancia [§]
Temporada	3.65	2	n.s	67.26	2	***	27.65	2	***
Orientación de brote	0.44	3	n.s	14.34	3	**	1.20	3	n.s
Posición del árbol	0.58	1	n.s	0.002	1	n.s	0.39	1	n.s
Temperatura	5.72	1	*	0.86	1	n.s	57.36	1	***
Humedad relativa	-	-	-	12.37	1	***	0.14	1	n.s
Precipitación	39.97	1	***	-	-	-	-	-	-

§ Nivel de significancia: “***”: $P<0.001$; “**”: $P<0.01$; “*”: $P<0.05$; n. s. = no significativo

3.3. Abundancia y dinámica poblacional de *D. citri*

3.3.1. Factores que influyen en la abundancia de *D. citri*

De manera global, la abundancia de *D. citri* fue relativamente baja en las tres parcelas estudiadas, particularmente en la parcela A, cercana al bosque (Figura 8). En los tres sitios, tanto la temporada como la temperatura influyeron significativamente sobre la abundancia de *D. citri* por brote (huevos, ninfas y adultos) (Cuadro 4).

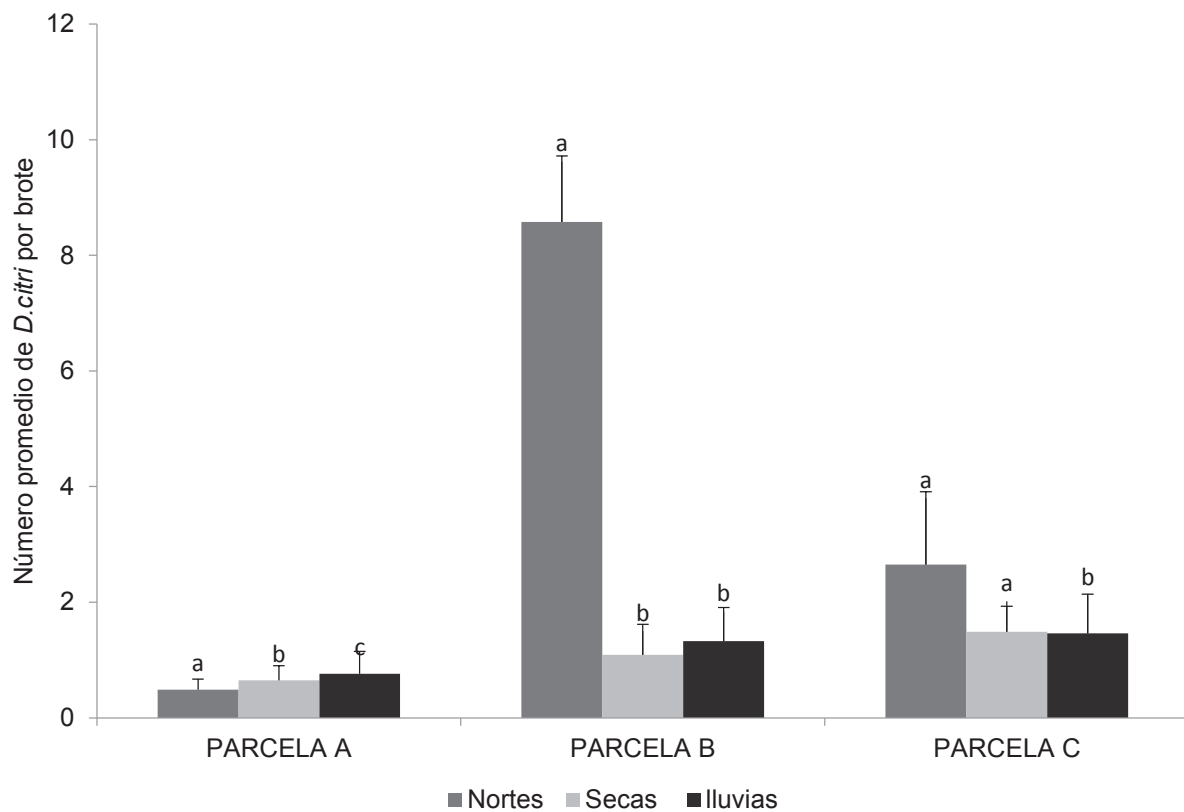


Figura 8. Abundancia de *D. citri* en brotes de limón persa en tres temporadas en 3 parcelas en Quintana Roo durante 2014 (Media \pm SEM). Letras diferentes en una misma parcela indican diferencias significativas, comparaciones múltiples, estadístico de Wald con aproximación a la normal, $P < 0.001$.

En la parcela A, las abundancias de *D. citri* registradas fueron muy bajas y aunque los promedios fueron muy cercanos entre sí, el análisis reveló diferencias significativas entre las tres temporadas (Figura 8).

La parcela B presentó las mayores abundancias de *D. citri* a lo largo del estudio. En esta parcela por otro lado, las diferencias fueron altamente significativas entre la temporada de “nortes” y las otras dos temporadas (Figura 8), observándose que durante la temporada de “nortes” la abundancia de *D. citri* fue casi siete veces mayor que las abundancias observadas en las otras temporadas. Además de la temporada y la temperatura, la abundancia de *D. citri* en esta parcela se vio afectada por la humedad relativa y la posición del árbol (Cuadro 4). En efecto, los brotes en árboles localizados en el borde de la parcela mostraron una mayor abundancia de *D. citri* (4.96 ± 0.84 individuos/brote) que los árboles localizados en el interior de la parcela (en la diagonal) (2.38 ± 0.48 individuos/brote).

Al igual que en la parcela B, en la parcela C las mayores abundancias de *D. citri* se presentaron durante la temporada de nortes (2.65 ± 1.26 individuos/brote), aunque la variabilidad también fue muy importante (Figura 8). La abundancia promedio durante los “nortes” difirió de la abundancia encontrada en la temporada de lluvias (1.46 ± 0.69 ; $Z=6.47$, $P< 0.0001$) pero no de secas (1.49 ± 0.44 ; $Z=-1.47$, $P>0.05$). Las abundancias entre la temporada de “lluvias” respecto a secas fueron significativamente diferentes ($Z=5.60$, $P<0.0001$). En lo que respecta a la orientación del brote (punto cardinal), éste no fue un factor influyente sobre la abundancia de *D. citri* en ninguna de las parcelas.

Cuadro 4. Factores influyentes sobre la abundancia de *D. citri* en brotes de limón persa. Resultados del Análisis de Devianza.

Factor	Parcela A			Parcela B			Parcela C		
	X ²	g.l	Nivel de significancia [§]	X ²	g.l	Nivel de significancia [§]	X ²	g.l	Nivel de significancia [§]
Temporada	12.76	2	**	136.01	2	***	46.31	2	***
Orientación de brote	1.64	3	n.s	1.64	3	n.s	1.26	3	n.s
Posición del árbol	1.23	1	n.s	5.20	1	*	2.78	1	n.s
Temperatura	8.71	1	**	7.51	1	**	14.40	1	***
Humedad relativa	-	-	-	9.31	1	**	3.80	1	n.s
Precipitación	3.17	1	n.s	-	-	-	-	-	-

§ Nivel de significancia: “***”: P < 0.001; “**”: P < 0.01; “*”: P < 0.05; n. s. = no significativo

3.3.2. Relación entre la abundancia total de *D. citri* y disponibilidad de brotes

Las fluctuaciones de la abundancia de *D. citri* (huevos, ninfas y adultos) a lo largo de las temporadas respecto al total de brotes no mostró un patrón consistente en las parcelas estudiadas. En la parcela A la abundancia de *D. citri* se mantuvo muy baja aunque un aumento en número de *D. citri* sólo coincidió con un pico de producción de brotes y se observó un aumento atípico de *D. citri* en el mes de mayo, cuando la producción de brotes estaba en su punto más bajo, y que coincidió con la remoción parcial del bosque (mediados de abril). Para las parcelas B y C, sí se observó una relación más estrecha entre abundancia de *D. citri* y la producción de brotes sobre todo a mediados de febrero y en mayo (Figura 9). Sin embargo, el análisis de regresión reveló que la relación entre disponibilidad de brotes y abundancia de *D. citri* no fue significativa en ninguno de los casos (Cuadro 5).

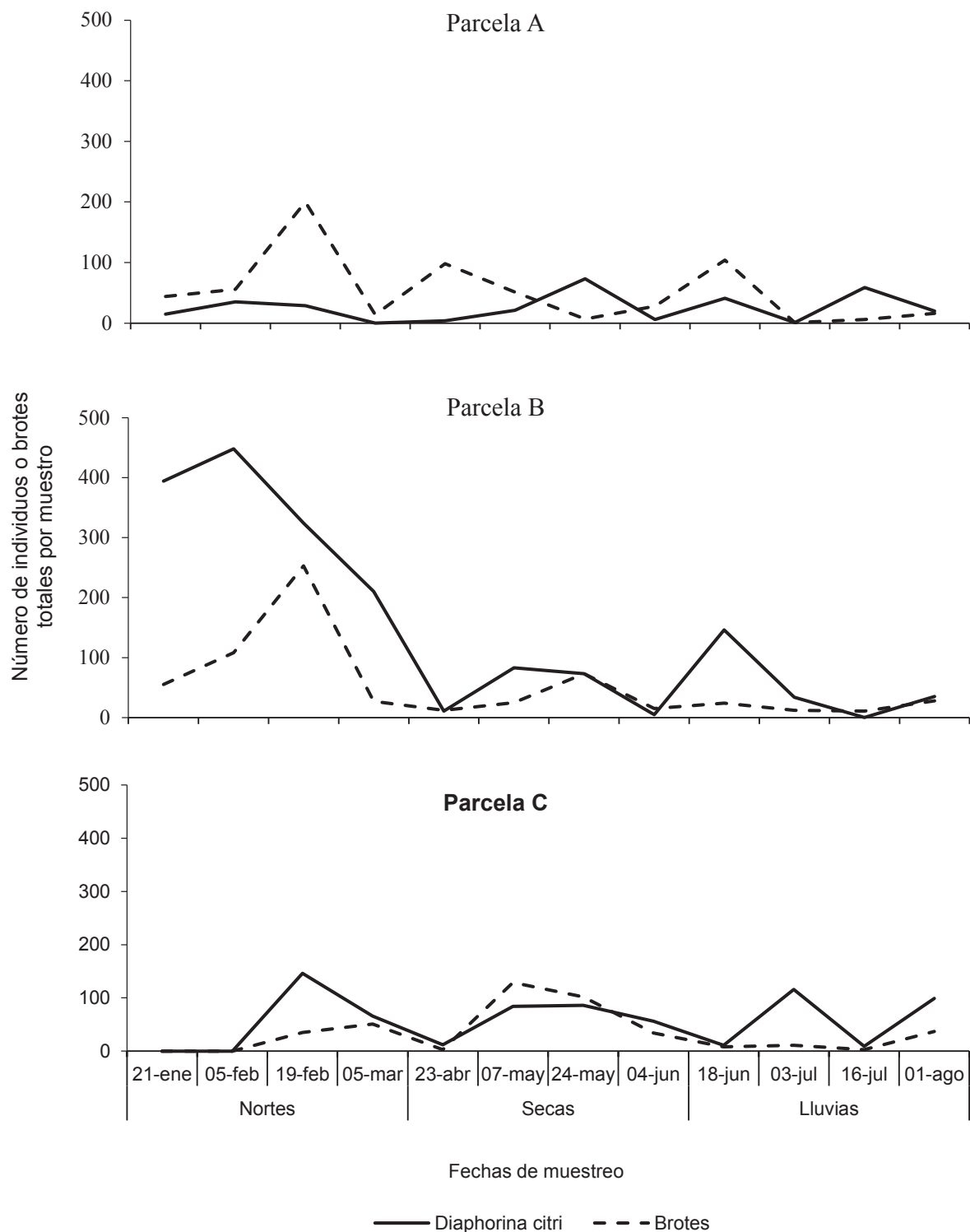


Figura 9. Fluctuación del número total de *D. citri* (huevos, ninfas y adultos) y total de brotes tiernos de limón persa en 3 parcelas en el sur de Quintana Roo en 2014.

Cuadro 5. Resultados del análisis de regresión mostrando la relación entre abundancias de *D. citri* y abundancias de brotes de limón persa.

Regresiones	r ²		
	Parcela A	Parcela B	Parcela C
Huevos vs brotes	0.013	0.02	0.0004
<i>D. citri</i> inmaduros (huevos + ninfas) vs brotes	0.004	0.03	0.0003
Total de <i>D. citri</i> (huevos, ninfas, adultos) vs brotes	0.004	0.03	0.0003

3.3.3. Fluctuación poblacional de *D. citri* por etapa de desarrollo

El número de huevos de *D. citri* encontrados por brote fue muy variable; en algunas ocasiones se contabilizaron hasta un máximo de 76 huevos/brote, mientras que la mayoría de los brotes colectados no estuvieron infestados (94%). De manera general, considerando el número total de huevos por fecha de muestreo, se observaron picos de abundancia en cada temporada en las tres parcelas (Figura 10). En todas las parcelas se observó un pico a mediados de febrero, con una evidente disminución en marzo y abril. Un nuevo incremento se observó posteriormente en las tres parcelas, durante la temporada de secas (principios de mayo) y nuevamente hubo una reducción en el número de huevos a finales de mayo y principios de junio. Los picos en la temporada de lluvias se presentaron en diferentes fechas entre parcelas; en la parcela A los picos poblacionales se observaron a mediados de julio, en la parcela B en junio y en la parcela C a principios de julio (Figura 10).

Respecto a las ninfas de fases más jóvenes (I-III), éstas fueron más abundantes en los meses de febrero y marzo en la parcela B. En las otras dos parcelas las abundancias se

mantuvieron bajas a lo largo del periodo de estudio y sin picos muy marcados. En cuanto a las ninfas de fases más maduras (IV-V), no se observó un patrón consistente en ninguna de las tres parcelas. En la parcela A, fue muy bajo el número total de ninfas de esta etapa encontradas a lo largo del estudio. En la parcela B, algunos incrementos se observaron en enero, febrero y mediados de junio, mientras que en la parcela C, hubo un pico marcado en agosto (Figura 10).

La abundancia de adultos sobre brotes fue muy baja en las tres parcelas, lo cual se debió en gran parte a la dificultad de coleccionar los brotes sin provocar que alguno volara. En la parcela A solo se coleccionó un adulto en los brotes, mientras que en la parcela B fueron tres y en la parcela C, 12 individuos en todo el muestreo.

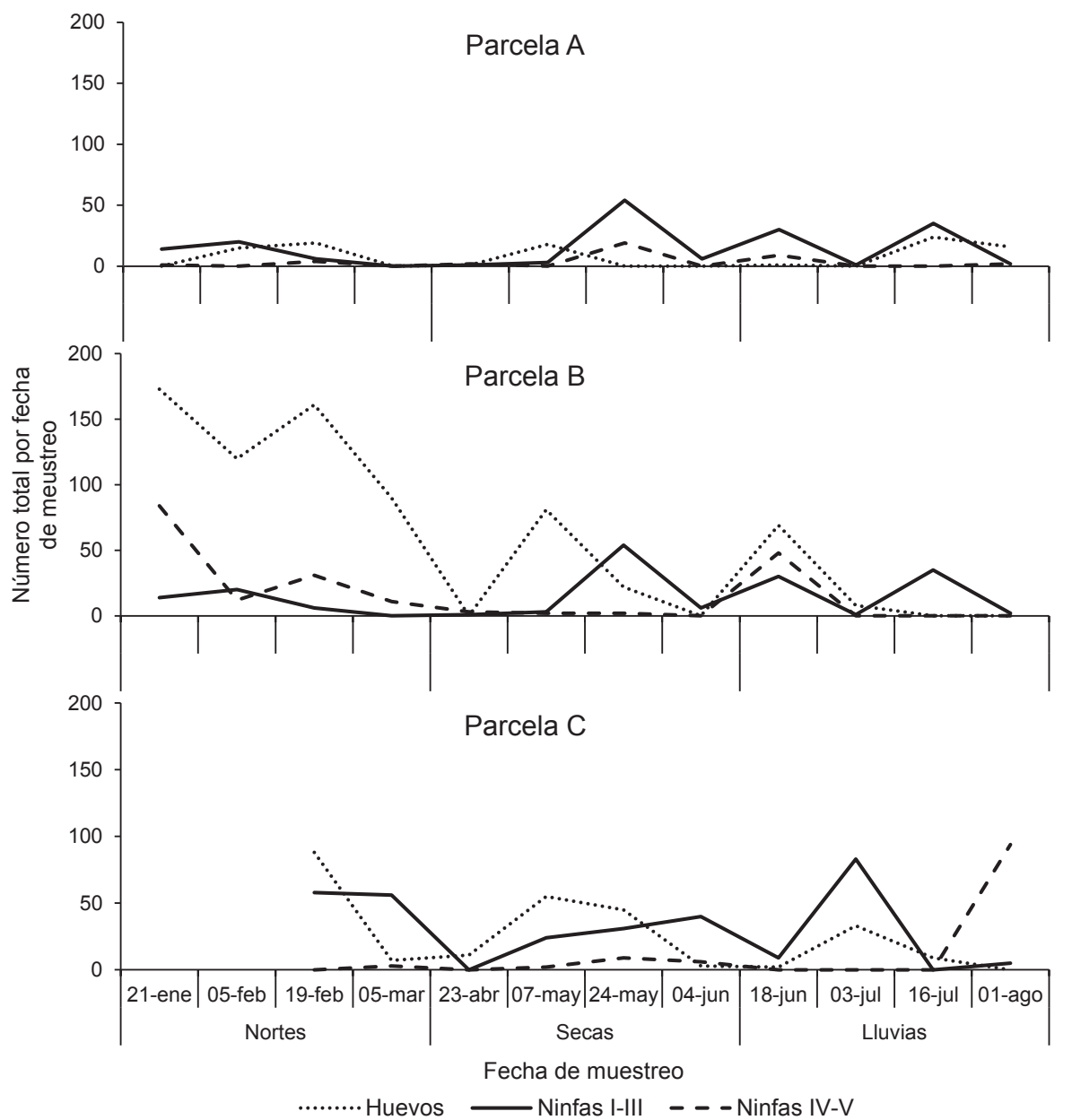


Figura 10. Fluctuación estacional de los estados de desarrollo de *D. citri* en tres parcelas de limón persa en el sur de Quintana Roo en el 2014.

3.3.4. Porcentaje de infestación de brotes por muestreo

Los mayores porcentajes de infestación de brotes por *D. citri* se registraron en la parcela B, alcanzando hasta un 70% de brotes con presencia de algún estado de desarrollo del psílido. Estos porcentajes de infestación se mantuvieron altos en esta parcela

particularmente en la temporada de nortes en comparación con las otras dos temporadas (Figura 11). En la parcela A y C por otro lado, la mayor infestación se observó en la temporada de secas, a mediados del mes de mayo.

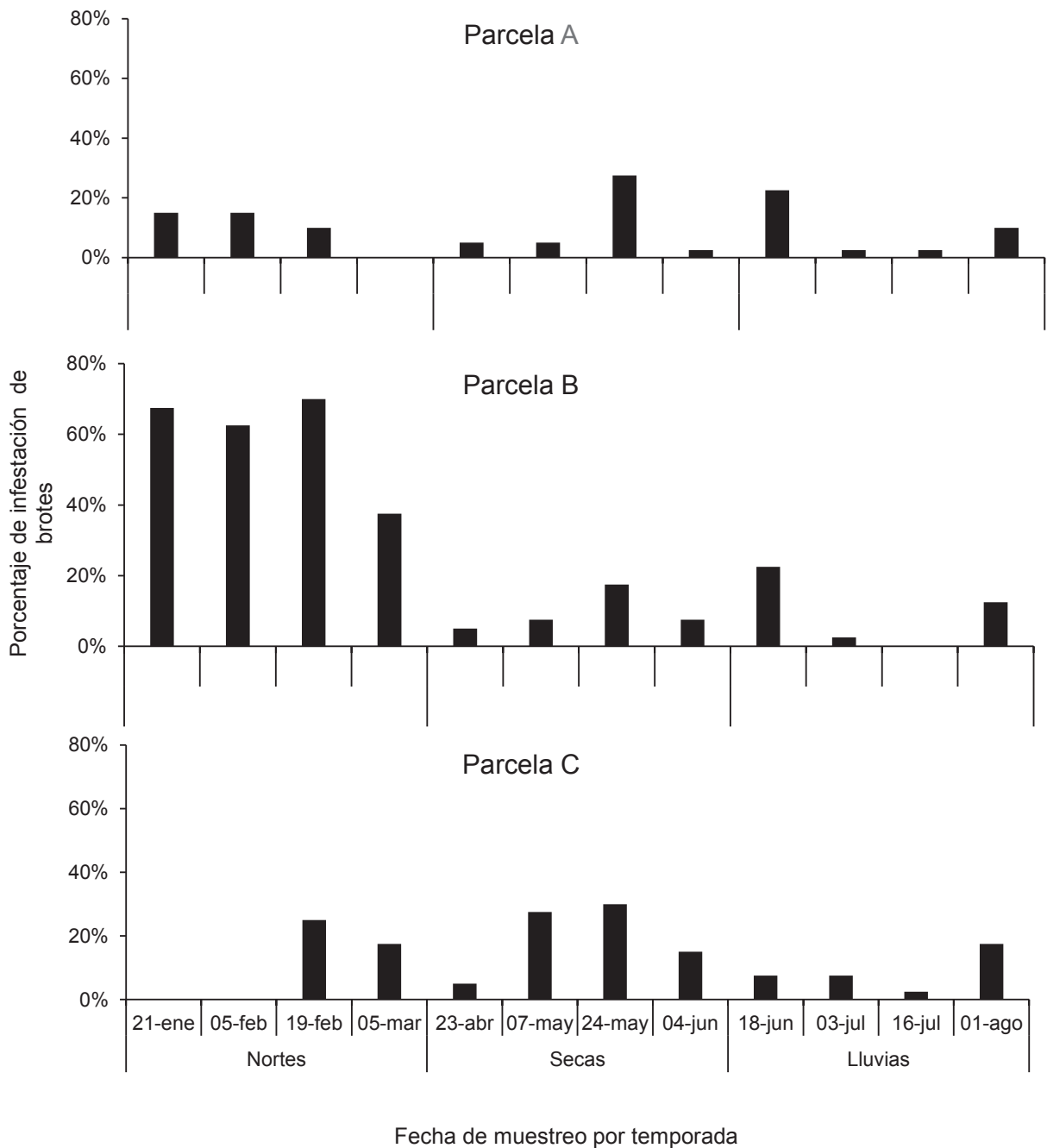


Figura 11. Porcentaje de infestación de brotes en tres parcela de limón persa en el sur de Quintana Roo en 2014.

3.3.5. Fluctuación poblacional de adultos capturados con trampas amarillas pegajosas

Las mayores abundancias de adultos de *D. citri* registradas con el método de trampa se observaron en la parcela B, y las menores en la parcela A (localizada cerca del remanente de bosque) (Figura 12). En general, los totales capturados por trampa fueron bajos en todas las parcelas a lo largo de las temporadas (Cuadro 6).

Un aumento de capturas se observó en febrero y en marzo en la parcela B, lo que correspondió a la temporada de nortes: las capturas en este periodo se encontraban entre los 1.4 y 2.4 individuos por trampa. Se presentó además una reducción marcada en el número de capturas en esta misma parcela en abril, para posteriormente mantenerse en un número bajo de capturas a lo largo del resto del estudio. Las otras parcelas en contraste no presentaron picos de abundancias marcados, ya que el número de capturas se mantuvo relativamente bajo y constante durante el estudio (Figura 12).

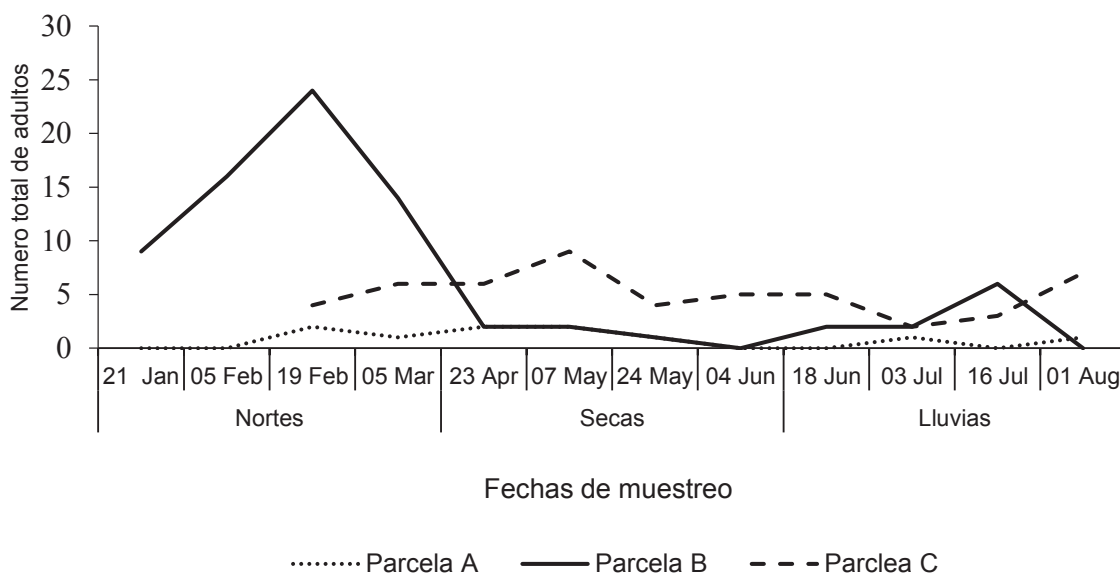


Figura 12. Fluctuación poblacional de adultos de *D. citri* por fecha de muestreo capturados con trampas amarillas pegajosas en tres parcelas de Limón persa en el sur de Quintana Roo durante 2014.

Cuadro 6. Total de adultos de *D. citri* atrapados con trampas amarillas pegajosas por temporada.

Temporada	Parcela A	Parcela B	Parcela C
Nortes	3	63	10
Secas	5	5	24
Lluvias	2	10	17
Totales	10	78	51

3.3.6. Fluctuación de adultos capturados por sexo

En general, se capturó un mayor número de machos que de hembras con el método de trampa, lo cual fue más marcado en las parcelas B y C (Figura 13). En la parcela A la proporción de hembras y machos fue aproximadamente 1:1, sin embargo en este sitio la abundancia de *D. citri* fue muy baja, pues solamente se capturaron 10 individuos. En cuanto a las trampas colocadas en el bosque colindante con la parcela A, estas revelaron la nula presencia de *D. citri* en este hábitat.

3.3.7. Factores que influyen sobre la abundancia de adultos por sexo capturados con trampas amarillas.

El efecto de los diferentes factores sobre la abundancia registrada en la parcela A no se determinó estadísticamente debido al bajo número de individuos de *D. citri* atrapados a lo largo del estudio. En la parcela B, la temporada influyó significativamente sobre el número de adultos capturados ($X^2=17.48$, g.l=2, $P=0.0001$). Las diferencias entre temporadas climáticas se dieron principalmente entre la temporada de “nortes” cuando

se capturaron 1.57 ± 0.29 adultos/trampa en promedio, respecto a lluvias (0.25 ± 0.08 individuos/trampa, $Z=4.18$, $P<0.0001$) y secas (0.125 ± 0.06 , $Z=-5.15$, $P < 0.0001$). Por otro lado, los machos fueron capturados con más frecuencia que las hembras ($X^2=4.07$, $g.l=1$, $P = 0.043$), (0.42 ± 0.08 machos/trampa vs 0.23 ± 0.05 hembras/trampa en promedio).

En la Parcela C por otra parte, el número de brotes influyó significativamente en la abundancia de adultos de *D. citri* capturados con las trampas ($X^2=5.7$, $P = 0.017$). Tanto en la parcela C ($X^2=8.11$, $g.l=1$, $P = 0.004$) como en la B ($X^2=4.08$, $g.l=1$, $P = 0.043$) la frecuencia de captura entre sexos fue diferente, En general los machos fueron capturados con más frecuencia que las hembras (0.15 ± 0.043 hembras/trampa vs 0.36 ± 0.07 machos/trampas, en promedio).

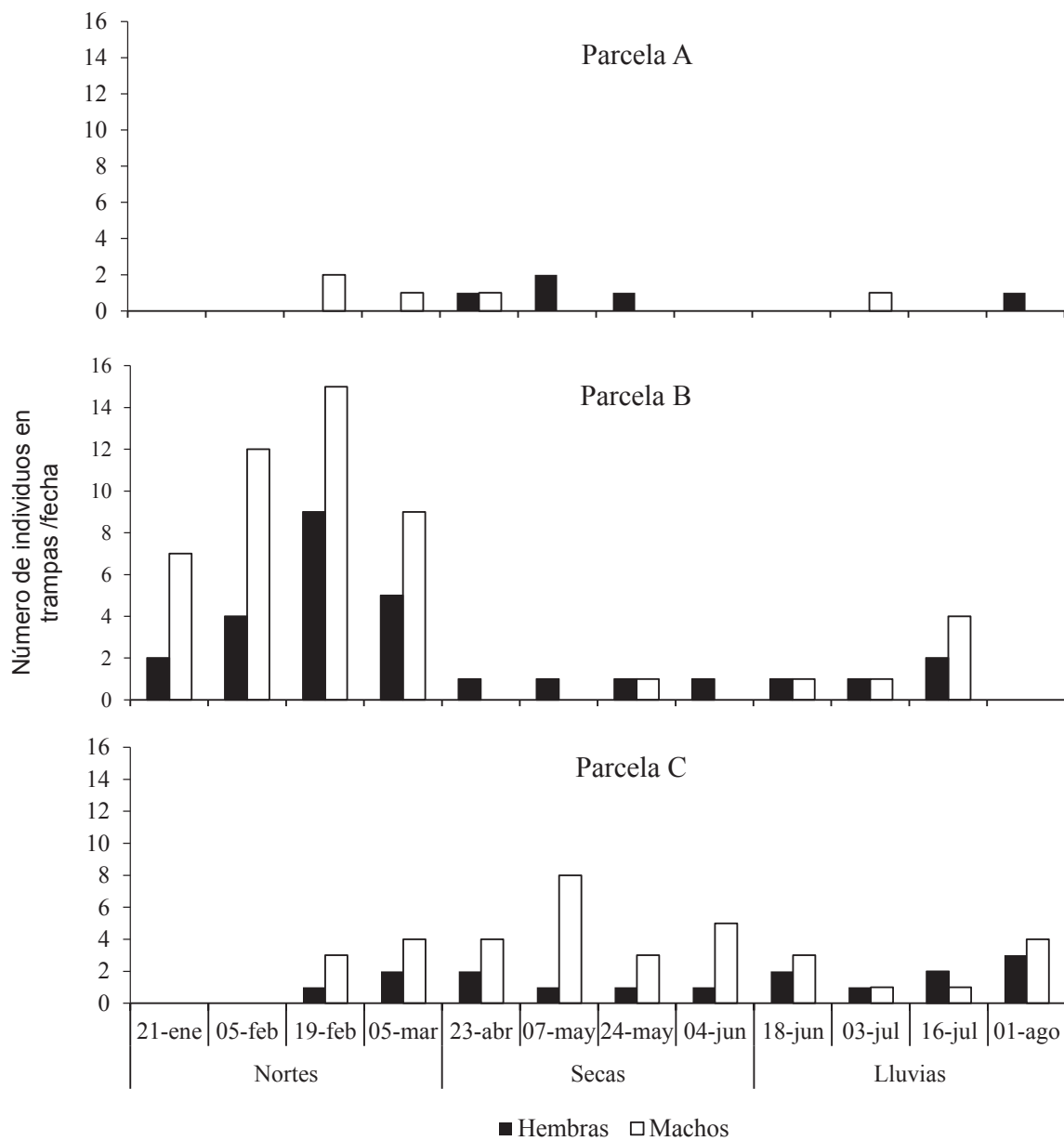


Figura 13. Fluctuación poblacional de adultos de *D. citri* por sexo capturados con trampas amarillas en tres parcelas de limón persa en el sur de Quintana Roo durante 2014.

3.4. Presencia de *T. radiata* y otros enemigos naturales de *D. citri*

La presencia de *T. radiata* fue confirmada en la parcela C, en donde se habían efectuado liberaciones con anterioridad a los muestreos del presente estudio. Su presencia fue

registrada en el laboratorio parasitando una ninfa del estadio V, presente en un brote colectado en el mes de junio. Cabe destacar que a lo largo del estudio, las ninfas de *D. citri* contabilizadas en todos los brotes de esta parcela no mostraron signos de parasitismo ni se observaron restos de ninfas de *D. citri* con agujeros de emergencia de *T. radiata*.

Respecto a los enemigos naturales nativos que se observaron alimentándose de *D. citri* en campo o en el laboratorio, se encontraron diversas especies pertenecientes a los órdenes Neuroptera, Coleoptera, Araneae, y Mantodea, así como hongos entomopatógenos (Cuadro 7).

Entre los neurópteros colectados, la mayoría se encontraban en estado larval, depredando a *D. citri* tanto en campo como en el laboratorio. La mayoría se identificaron como pertenecientes al género *Ceraeochrysa*, mientras que otros se logró solamente a nivel de familia (Chrysopidae), ya que algunos individuos encontrados pegados en la trampas estaban muy deteriorados para su identificación o porque algunas larvas encontradas en los brotes sufrieron parasitismo por himenópteros parasitoides (Eupelmidae, Perilampidae y Eulophidae). Este grupo fue el único enemigo natural, de los registrados en este estudio, que se atrapó con el método de trampa en las parcelas (Cuadro 8), aunque en este caso la depredación sobre *D. citri* no fue confirmada. Por otro lado, las especies de coleópteros encontradas se alimentaron asimismo tanto en laboratorio como *in situ* e incluyen a los coccinélidos *Cycloneda sanguinea* y *Chilocorus* sp. Además, se encontró una especie de mantis (Mantodea) y una especie de araña del género *Lyssomanes* que exhibieron acción de depredación sobre adultos de *D. citri*

solamente en laboratorio. Aunado a los artrópodos depredadores generalistas nativos, se encontraron también adultos de *D. citri* con signos de infección por hongos entomopatógenos (Anexo 3), sin embargo solamente se pudo realizar el aislado en medio artificial de un hongo del género *Isaria* sp.

Cuadro 7. Enemigos naturales asociados a *D. citri* en tres parcelas de limón persa en Quintana Roo.

Tipo de enemigo	Orden: Familia	Género-Especie	Limón persa (<i>Citrus latifolia</i>)		
			St. Gertrudis A	St. Gertrudis B	Xul-Ha C
	*Neuroptera: Chrysopidae	---	*x	*x	x
Depredador	Neuroptera: Chrysopidae	<i>Ceraeochrysa</i> sp.	x	x	x
	Coleoptera: Coccinellidae	<i>Cycloneda sanguinea</i>		x	
		<i>Chilocorus</i> sp.			x
	Mantodea: Mantidae	---		x	
	Araneae: Salticidae	<i>Lyssomanes</i> sp	x	x	
Parasitoide	Hymenoptera: Eulophidae	<i>Tamarixia radiata</i>			x
Patógeno	Hypocreales: Clavicipitaceae	<i>Isaria</i> sp.		x	

* Atacado por parasitoides

De manera general, la parcela B tuvo un mayor número de especies depredadoras de *D. citri* y el género mejor representado en las tres parcelas y en la mayoría de los meses estudiados fue *Ceraeochrysa* (Anexo 4). Este género además presentó la mayor abundancia respecto a los enemigos nativos de *D. citri* encontrados (Cuadro 8).

Cuadro 8. Abundancia de los enemigos naturales de *D. citri* por método de colecta.

	Parcela A		Parcela B		Parcela C	
	Manual	Trampa	Manual	Trampa	Manual	Trampa
<i>Chrysopidae</i>	2*	2	2*	6	0	8
<i>Ceraeochrysa</i> sp.	6	5	12	4	3	36
<i>Cycloneda sanguinea</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Chilocorus</i> sp.	0	0	0	0	1	0
Mantidae	0	0	1	0	0	0
<i>Lyssomanes</i> sp.	1	0	1	0	0	0
<i>Tamarixia radiata</i>	0	0	0	0	1	0
<i>Isaria</i> sp.	0	0	1	0	0	0

* larvas atacadas por parasitoides

En cuanto a las trampas colocadas en el bosque colindante con la parcela A, no se identificaron ejemplares de las especies que se observaron depredando a *D. citri* dentro del cultivo, con excepción de individuos del género *Lyssomanes*. Caso similar ocurrió con lo obtenido a través de las colectas con la red de golpeo. En éstas tampoco se encontraron individuos de las especies depredando a *D. citri* en los arboles de limón persa; la mayoría de estos insectos pertenecían a los órdenes Hemiptera, Diptera, Hymenoptera y Orthoptera.

3.5. Hormigas asociadas a *D. citri* en brotes

Se observaron de igual manera varias especies de hormigas forrajeando en los árboles, ramas o brotes de limón persa (Cuadro 9). En algunos casos, estas se encontraban sobre brotes infestados por áfidos y por *D. citri*, sin embargo no se percibió acción de depredación por parte de las hormigas en campo ni en laboratorio. Sin embargo la

Cuadro 9. Especies de hormigas asociadas a *D. citri* en árboles de limón persa en Quintana Roo.

Subfamilia	Especies	Parcelas			Hábitos alimenticios
		A	B	C	
Dolirichoderinae	<i>Dolichoderus bispinosus</i>			X	Colectoras de exudados de Hemíptera y fuentes azucaradas
	<i>Dolichoderus lutosus</i>			X	Colectoras de exudados de Hemíptera y fuentes azucaradas
	<i>Dorymyrmex insanus</i>	X	X		Omnívora
	<i>Forelius pruinosus</i>		X		Colectora de sustancias azucaradas
Formicinae	<i>Camponotus rectangularis</i>		X		Omnívora
Myrmicinae	<i>Crematogaster limata</i>		X		Colectora de sustancias azucaradas
	<i>Crematogaster torosa</i>	X			Colectora de sustancias azucaradas
	<i>Monomorium ebeninum</i>	X	X		Depredadora y colectora de exudados
	<i>Pheidole gouldi</i>	X			Depredadora
	<i>Solenopsis geminata</i>		X		Omnívora
*Pseudomyrmecinae	<i>Pseudomyrmex gracilis</i>		X		Depredadora, visitantes de nectarios extraflorales

*Reportado en la literatura como depredador de *D. citri*

4. Discusión

Los patrones estacionales de la producción de brotes en cítricos son importantes para *D. citri* quien requiere de brotes tiernos para completar su ciclo de vida, ya que las hembras prefieren depositar sus huevecillos en brotes con hojas aún sin expandir y las ninfas se alimentan preferentemente de brotes tiernos (Hall, Hentz y Adair, 2008). Las ramas individuales de cítricos se encuentran en dormancia la mayoría del tiempo. La frecuencia con que se producen brotes depende del cultivar, del tamaño del árbol y las condiciones de desarrollo, especialmente en cuanto a la disponibilidad en nitrógeno y agua (Davenport, 2000). Sin embargo, entre los cítricos, el limón persa en particular tiene la característica distintiva de que no entra en descanso (Jasso-Argumedo et al., 2011; Lozano Contreras y Jasso Argumedo, 2012), por lo tanto existe una constante producción de brotes, lo cual representa un medio permanente para que las poblaciones de *D. citri* puedan multiplicarse a lo largo del año. La constante producción de brotes sin embargo es influida en gran medida por el riego, la nutrición y las podas (Jasso-Argumedo et al., 2011; Lozano Contreras y Jasso Argumedo, 2012). En las tres parcelas de limón persa del presente estudio, las fluctuaciones en producción de brotes fueron distintas, lo cual no es inesperados ya que cada parcela estuvo sujeta a un manejo distinto así como a distintas condiciones climáticas.

En la parcela A por ejemplo, los picos marcados de producción de brotes se observaron en las tres temporadas climáticas, particularmente en los meses de febrero, abril y junio. El incremento repentino del número de brotes en el mes de abril pudo ser el resultado de la poda realizada a mediados de marzo, debido a que esta práctica estimula el

crecimiento vegetativo (Padrón-Chávez y Rocha-Peña, 2007). De igual manera el descenso en número de brotes registrado a principio de julio se debió a la poda realizada justo antes del muestreo; sin embargo, en fechas posteriores no se observó un nuevo incremento en el número de brotes, lo cual podría indicar la influencia de otros factores, como la precipitación y la temperatura que fueron significativamente influyentes sobre la abundancias observadas de brotes. De acuerdo con Hall, Hentz y Adair (2008) la temperatura es un factor determinante en la producción de brotes en árboles de cítricos maduros (como en esta parcela) pero no en la producción de árboles jóvenes, los cuales producen brotes de manera más constante.

Con respecto a la parcela B, los picos de producción de brotes se registraron en febrero y mediados de mayo. En esta parcela se determinó que las temporadas tuvieron un efecto significativo sobre las abundancias de brotes registradas, siendo la temporada de nortes en la que se contabilizó una mayor cantidad en comparación con las otras temporadas. Esto corresponde probablemente a la producción característica de brotes vegetativos en cítricos en la primavera (Hall y Albrigo, 2007). La única poda registrada en esta parcela se realizó en marzo, lo que explica la poca abundancia de brotes observado durante el muestreo en esa fecha.

En el caso de la parcela C, la máxima producción de brotes se observó en la temporada de secas. Cabe señalar que en esta parcela se realizó una poda considerable de la copa de los árboles en abril en donde se registró también la más baja cantidad de brotes tiernos; esta poda, aunado a lluvias esporádicas, estimuló seguramente el crecimiento

vegetativo de la planta, explicando el incremento considerable de brotes en los muestreos siguientes (mayo-junio).

En relación a los porcentajes de brotes infestados por muestreo los valores más altos se registraron en la parcela B, con porcentajes entre 60% y 70%. En la parcela A, el porcentaje más alto fue 28% y para la parcela C, 30%. Estos niveles de infestación dentro de cada parcela no deben interpretarse ya sea como altos o bajos de manera aislada pues la sola presencia de *D. citri* representa una amenaza al cultivo, ya que no solo se trata del daño que causa el insecto al alimentarse sobre las plantas, sino su capacidad de transmitir la enfermedad del HLB. De acuerdo con Xu et al. (1988) y Pelz-Stelinski, et al. (2010) un solo psílido infectivo es capaz de infectar a la planta.

Diversos estudios han demostrado que el incremento poblacional de adultos (Tsai, Wang y Liu, 2002; Aguilar-Román et al., 2011; Ortega-Arenas et al., 2013), así como de huevos y ninfas de *D. citri* (García Garduza et al., 2013) están correlacionados significativamente con la disponibilidad de brotes. Como se señaló anteriormente, esta relación está ligada a la biología reproductiva y desarrollo del insecto, las hembras del psílido depositan los huevos exclusivamente en brotes tiernos, mientras que las ninfas se alimentan y desarrollan en las partes más tiernas de su planta hospedera, por lo tanto se considera que la fluctuación poblacional de *D. citri* en cítricos y otras plantas hospederas está estrechamente relacionada con el ritmo, la cantidad y la calidad nutritiva de los brotes (Catling, 1970). Los adultos por otro lado pueden alimentarse también de hojas incluso maduras (Michaud, 2004). Sin embargo, existen también otros estudios en donde la abundancia de brotes es a veces un factor predictivo inconsistente de la densidad de *D.*

citri en brotes (Hall, Hentz y Adair, 2008) En este estudio, tampoco se observó una relación estrecha entre la abundancia del psílido y la disponibilidad de brotes.

En cuanto a la abundancia de *D. citri* en la parcela A, no hubo una relación estrecha entre ésta y la disponibilidad de brotes, en gran parte porque las poblaciones (huevos, ninfas, adultos) registradas tanto en los brotes como en las trampas amarillas pegajosas (adultos) fueron muy bajas. Los análisis sin embargo indicaron que tanto las temporadas climáticas como la temperatura influyeron sobre las abundancias observadas. En cuanto al bajo nivel de infestación en esta parcela, la edad del cultivo (10 años) pudo ejercer cierto efecto. Jasso-Argumedeo et al., (2011) observan que a medida que aumenta la edad de una plantación se reducen los niveles de infestación con *D. citri*. Por otro lado, la presencia del bosque colindante también pudo contribuir a la poca abundancia de *D. citri* al actuar como una barrera natural. Las trampas amarillas pegajosas colocadas dentro del bosque por ejemplo, revelaron nula presencia de *D. citri* a lo largo del estudio, lo que podría indicar que posiblemente auxiliaba en detener la entrada de *D. citri* proveniente de parcelas cercanas infestadas. El papel del bosque también se pudo inferir al observarse un incremento de *D. citri* a mediados de mayo, cuando parte del bosque fue completamente removido. En efecto, la aparición de *D. citri* se dio precisamente en los árboles que colindaban con esta zona quemada. Además, cabe mencionar que la abundancia de brotes a mediados de mayo fue mínima, lo que sustentaría que la remoción del bosque pudo influir en mayor medida en el incremento observado. Esta parcela se caracterizó además, por la presencia de otras especies de cítricos que pudieran constituir un mejor hospedero para *D. citri*, aunque no se evaluó la presencia del psílido en ellos.

En cuanto a la abundancia de *D. citri* en brotes y en trampas en la parcela B, éstas coincidieron con la mayor disponibilidad de brotes en la temporada de nortes. En el estado de Yucatán se reporta algo similar también con limón persa, en donde la mayor abundancia del psílido se observa en febrero, pero se mantiene alta hasta julio, (Jasso-Argumedo et al., 2010). En la parcela B sin embargo, el declive en la población del psílido después de marzo pudo ser afectado por la poda, lo cual disminuyó la cantidad de brotes disponibles. En esta parcela, un ligero incremento en la disponibilidad de brotes a mediados de mayo no promovió un incremento de *D. citri*, sugiriendo la influencia de otro factor limitante. En esta parcela el análisis determinó que tanto la temperatura como la humedad relativa influyeron significativamente sobre las abundancias observadas. Liu y Tsai (2000) observaron que un incremento de temperatura a partir de los 28° a 33° C causa una reducción en la oviposición de *D. citri*. En la parcela B las temperaturas registradas durante las temporadas de secas y lluvias oscilaban entre 31° hasta 34° C, aunado a esto, hubo una baja disponibilidad de brotes en estas dos temporadas, ambos factores pudieron influir en la disminución en oviposición de las hembras resultando en el bajo número de *D. citri* observados en estas temporadas. Asimismo, de mayo a julio se observó una mayor incidencia de crisópidos tanto en trampas como en árboles, su abundancia aunque relativamente baja pudo contribuir también en la baja población de *D. citri* en las temporadas de secas y lluvias.

Por otra parte en esta parcela se registró la mayor infestación por *D. citri*, pero es importante mencionar que la parcela se encontraba rodeada de otras parcelas de cítricos. Las parcelas colindantes por lo tanto pudieron servir como una fuente constante de adultos de *D. citri*. En esta parcela incluso se observó que la mayor abundancia de *D. citri*

se encontraba en los árboles del borde en comparación con los que estaban localizados dentro de la parcela, esto podría sustentar la idea de la llegada de individuos de *D. citri* de otras parcelas colindantes. Boina et al., (2009) asimismo encontraron un mayor número de *D. citri* en los bordes y determinan el movimiento de *D. citri* entre parcelas. Se sabe que los adultos de *D. citri* son relativamente pobres voladores y en raras ocasiones se dispersan activamente, y que su dispersión como consiguiente es asistida por el viento (Ke, 1991). En este caso, individuos provenientes de parcelas aledañas llegarían primero a los árboles del borde y en consecuencia contribuirían a una mayor abundancia del psílido.

En cuando a la fluctuación de la abundancia de *D. citri* en la parcela C, se observó una fluctuación similar en referencia a los brotes, particularmente entre los meses de marzo y junio, sin embargo esta relación no fue significativa. Se registró además otro aumento en la población de *D. citri* en julio, el cual se dio a pesar de que la cantidad de brotes fue mínima, la temperatura era alta (35.2 ° C) y había también una mayor incidencia de crisópidos. Un factor que pudo jugar un papel en este acontecimiento es el tamaño de la parcela (10 hectáreas), y que además la poda fue realizada por secciones y en días distintos. Lo último pudo ocasionar que los árboles de algunas secciones produjeran brotes en diferentes tiempos. En algunas ocasiones se pudo observar una mayor cantidad de brotes en los árboles que se encontraban frente a los árboles muestreados. Por lo tanto, si hubo un aumento en la población de adultos en la sección colindante, estos pudieron migrar a los árboles del surco muestreado y ovipositar en los pocos brotes disponibles. Para esa fecha en particular, el incremento se debió precisamente a la

presencia de huevos y ninfas tempranas en tres de los árboles del “borde” mientras que en los árboles en sentido diagonal la abundancia fue nula.

Se menciona que la proporción de sexos de diferentes poblaciones de *D. citri* en diversas plantas-hospederas es cerca de 1:1 (Nava et al., 2007; Pérez-Artiles et al., 2011; Paiva y Parra, 2012) sin embargo en este estudio se observó una alta incidencia de machos capturados en las trampas amarillas, en comparación con el número de hembras, particularmente en las dos parcelas con mayor presencia de *D. citri*, B y C. La mayor frecuencia de machos se puede relacionar con el incremento de la actividad del vuelo como resultado de desplazamientos hacia áreas soleadas (Aubert y Quilici, 1988), mientras que la baja actividad de vuelo de las hembras, y por ende, la menor probabilidad de captura con trampas, puede relacionarse al proceso de oviposición (Hall, Hentz y Adair, 2008). En la parcela B por ejemplo, hubo una mayor proporción de machos en relación a las hembras en la temporada de nortes, esto coincidió con la mayor disponibilidad de brotes en esa temporada y también con el mayor número de huevos sobre brotes, esto podría sustentar un comportamiento más estacionario de las hembras en esta temporada. Por otro lado, en esta misma parcela las hembras fueron capturadas con más frecuencia en la temporada de secas, esto coincidió de igual manera con una menor abundancia de brotes, lo que podría explicar su mayor actividad de vuelo en busca de brotes tiernos para ovipositar y por ende el incremento en su frecuencia de captura. Por otro lado, en la parcela C se registró una mayor cantidad de brotes y presencia de huevos en la temporada de secas, lo que indica que las hembras debieron estar más estacionarias en esta temporada, explicando por consiguiente su poca actividad de vuelo resultando en una menor frecuencia de captura en comparación a los machos. Una mayor

cantidad de machos usando trampas amarillas pegajosas también ha sido reportada por Aubert y Quilici (1988), y Hall, Hentz y Adair (2008).

Respecto a los enemigos naturales encontrados depredando a *D. citri* en las parcelas estudiadas, todos a excepción de *Lyssomanes* sp., y una especie de Mantidae no identificada, ya estaban registrados como enemigos naturales de *D. citri* en México. Otras especies encontradas en el estudio, como las hormigas, no mostraron acción de depredación, sin embargo algunos estudios mencionan la importancia de las hormigas en agro-ecosistemas de cítricos. Se han documentado especies depredando sobre *D. citri*, como por ejemplo la especie *Pseudomyrmex gracilis* (Michaud, 2004) también encontrada en el presente estudio, o bien causando interferencia con el parasitismo de *T. radiata* sobre *D. citri* (Navarrete et al., 2013). El estudio de las interacciones de este tipo deben ser consideradas en estudios futuros, ya que algunas pueden tener implicaciones en el manejo de *D. citri*, y más que nada cuando se observa una considerable riqueza de especies de este grupo en una región.

Entre los depredadores, las especies que se encontraron presente en las tres parcelas estudiadas y en mayor abundancia, fueron individuos del género *Ceraeochrysa*. Este género y en general los crisópidos han jugado papeles importantes en el manejo de plagas, ya sea mediante el control biológico aumentativo o a través de la manipulación del hábitat. Además, éstos enemigos naturales han mostrado tolerancia a un rango considerable de pesticidas comúnmente utilizados en cultivos (Albuquerque, Tauber y Tauber, 2001), otorgándoles una ventaja más como agentes de control biológico. En México el uso de crisópidos puede ser una propuesta viable, y en algunos estados como

Sinaloa ya se ha recomendado su uso como agente de control biológico de *D. citri* (Cortez-Mondaca et al., 2011).

En este estudio se observaron tres familias de himenópteros parasitoides atacando larvas de crisópidos y emergiendo después de que éstas puparan. Los parasitoides solamente fueron registrados en las parcelas A y B en el municipio de José María Morelos. La presencia de estos parasitoides por lo tanto puede tener implicaciones en el uso de crisópidos en esta zona. Por otro lado en la parcela localizada en el municipio de Othón P. Blanco no se registraron parasitoides de crisópidos. Por lo observado, se recomienda realizar estudios previos sobre enemigos naturales asociados a crisópidos en cualquier lugar en que se proponga su integración para el manejo de plagas.

Por último se señala que las abundancias de los enemigos naturales encontrados en las tres parcelas fueron relativamente bajas, no obstante lo anterior no indica una poca diversidad y abundancia de enemigos naturales de *D. citri* en el sur de Quintana Roo. La poca abundancia en parte se puede deber al hecho de que incluso las abundancias de *D. citri* y otras especies fitófagas como pulgones y ácaros fueron bajas en las parcelas, lo que representa poco alimento para estas especies. Esta relación se pudo observar en la parcela A, en donde la menor riqueza de enemigos naturales coincidió con la casi nula presencia de *D. citri*, mientras que en la parcela B en donde hubo una mayor riqueza de enemigos también hubo una mayor infestación de *D. citri* en comparación a las otras parcelas.

5. Conclusiones

- 1) La fluctuación poblacional de *D. citri* en cada parcela de limón persa estudiada mostró un comportamiento específico.
- 2) Las fluctuaciones de las abundancias de *D. citri* dependieron de las temporadas climáticas, estas temporadas engloban una serie de variables, que a su vez fueron determinadas como influyentes, tales como la temperatura, y humedad relativa.
- 3) Factores intrínsecos al manejo (podas) y la constitución de cada parcela, pudieron ejercer un efecto sobre las poblacionales de *D. citri*.
- 4) *Diaphorina citri* estuvo presente, aunque en baja abundancia, a lo largo del periodo de estudio en todas las parcelas.
- 5) La disponibilidad de brotes de limón persa no fue un factor predictivo de la abundancia poblacional de *D. citri* en las parcelas estudiadas.
- 6) Además del parasitoide exótico *Tamarixia radiata*, se identificaron siete enemigos naturales nativos asociados a *D. citri* en limón persa; éstos incluyen a seis depredadores generalistas *Ceraeochrysa* sp., *Chilocorus* sp., *Cycloneda sanguinea*, la hormiga *Pseudomyrmex gracilis*, una especie de la familia Mantidae, el género *Lyssomanes* sp., y un hongo entomopatógeno, *Isaria* sp.

7) El depredador de *D. citri* más abundante y presente en todas las parcelas fue el género *Ceraeochrysa*.

6. Literatura citada

- Aguilar-Román, L., Villanueva-Jiménez, J.A., Cabrera- Mireles, H., Díaz-Criollo, A., Canela-Cantellano, J.J. y Pérez-Aguilar, W.A., 2011. Dinámica poblacional de *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Psyllidae), y enemigos naturales en Toronja en la zona central costera de Veracruz. En: López Arroyo, J.I., y González Lauck, V.W. (Comp.), Memoria del 2° *Simposio Nacional sobre investigación para el manejo del Psílido Asiático de los cítricos y el Huanglongbing en México*. Montecillo, Edo. de México, México del 5 y 6 de diciembre, Centro Regional de Investigación del Noreste (CIRNE), Campo Experimental General Terán.
- Albuquerque, G.S., Tauber, C.A. and Tauber, M.J., 2001. *Chrysoperla externa* and *Ceraeochrysa* spp.: potential for biological control in the New World tropics and subtropics. In: P.K. McEwen, T.R. New and A.E. Whittington, eds. 2001. *Lacewings in the Crop Environment*. England: Cambridge University Press. pp.408–423.
- 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(3), pp.149–162.
- Aubert, B., 1990. Integrated activities for the control of Huanglongbin-Greening and its vector *Diaphorina citri* Kuwayama in Asia. In: B. Aubert, S. Tontyaporn and D. Baungduwon, eds., *Proceedings of the 4th international Asia Pacific Conference on Citrus Rehabilitation*. Chiang Mai, Thailand, 4-10 February. FAO-UNDP.
- Aubert, B. and Quilici, S., 1984. Biological control of the african and asian citrus psyllids (Homoptera: Psylloidea), through eulophid and encyrtid parasites (Hymenoptera: Chalcidoidea) in Reunion Island. In: S.M. Garnsey, L.W. Timmer and J.A. Doods, eds., *9th Conference of the International organization of Citrus Virologists (IOCV)*. Argentina, 9-13 November. California: University of California, Riverside.
- Aubert, B. and Quilici, S., 1988. Monitoring adult psyllas on yellow traps in Reunion Island. In: L.W. Timmer, S.M. Garnsey and L. Navarro, eds., *Proceedings of the 10th Conference of the International Organization of Citrus Virologists (IOCV)*. Valencia, Spain, 17-21 November. California: University of California, Riverside.
- Barrera, J.F., Gómez-Ruiz, J. y Herrera-Muñoz, J., 2010. Biología y método de cría de *Zelus renardii* (Hemiptera: Reduviidae), enemigo natural de *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae). En: López Arroyo, J.I., y González Lauck, V.W. (Comp.), *Memorias del 1^{er} Simposio Nacional sobre investigación para el manejo del Psílido Asiático de los Cítricos y el Huanglongbing en México*. Monterrey, Nuevo Leon, México, 8-9 Diciembre.
- Beattie, G.A., Holford, P., Mabblerley, D., Haigh, A. and Broadbent, P., 2008. On the origins of citrus, Huanglongbing, *Diaphorina citri* and *Trioza erytrae*. In: *The*

International Research Conference on Huanglongbing. [online] Plant Management Network, Orlando, FL, USA, pp.23–56. Available at: <<http://www.plantmanagementnetwork.org/proceedings/irchlb/2008/presentations/irchlb.k.2.pdf>>.

- Belasque, J.J., Bassanezi, R.B., Yamamoto, P., Ayres, A.J., Tachibana, A., Violante, A.R., Tank, J., Di Giorgi, F., Tersi, F.E.A., Menezes, G.M., Dragone, J., Jank, R.H.J. and Bove, J.M., 2010. Lessons from huanglongbing management in São Paulo state, Brazil. *Journal of Plant Pathology*, 92(2), pp.285–302.
- Boina, D.R., Meyer, W.L., Onagbola, E.O., and Stelinski, L.L., 2009. Quantifying dispersal of *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae) by immunomarking and potential impact of unmanaged groves on commercial citrus management. *Environmental Entomology*, 38, pp.1250–1258.
- Bové, J.M., 2006. Invited Review Huanglongbing: A destructive, newly-emerging, century-old disease of Citrus. *Journal of Plant Pathology*, 88(1), pp.7–37.
- Cabrera-Mireles, H., Murillo-Cuevas, F.D., Villanueva-Jiménez, J.A., Montero-Morales, A.L., Cruz-Bustos, J. y Aguilar-Román, L., 2011. Fluctuación poblacional de *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae) en límón persa en Cotaxtla y Cuitláhuac, Veracruz, México. En: López Arroyo, J.I., y González Lauck, V.W. (Comp.), Memoria del 2° Simposio Nacional sobre investigación para el manejo del Psílido Asiático de los cítricos y el Huanglongbing en México. Montecillo, Edo. de México, del 5 y 6 de diciembre. México: Centro Regional de Investigación del Noreste (CIRNE), Campo Experimental General Terán.
- Catling, H.D., 1970. Distribution of the psyllid vectors of citrus greening disease, with notes on the biology and bionomics of *Diaphorina citri*. *FAO Plant Protection Bulletin*, 18, pp.8–15.
- Chien, C.C., 1995. The role of parasitoids in the pest management of citrus psyllid. In: *Proceedings of the Symposium on Research and Development of Citrus in Taiwan*. Taichung, Taiwan.
- Chien, C. C. and Chu, Y. I., 1996. Biological control of citrus *Diaphorina citri* in Taiwan. In: *Biological Pest Control in Systems of integrated pest Management*. Taipei Taiwan, October 1993. Food and Fertilizer Technology Center for the Asian and Pacific Region.
- Chien, C. C., Chu, Y. I. and Ku, S.-C., 1991. Parasitic strategy, morphology and life History of *Tamarixia radiata* (Hymenoptera: Eulophidae). *Chinese Journal of Entomology*, 11, pp.264–281.
- Childers, C.C. and Rogers, M.E., 2005. Chemical control and management approaches of the asian citrus psyllid, *Diaphorina citri* Kuwayama (Homoptera: Psyllidae) in

- Florida citrus. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*, 118, pp.49–53.
- Chong, J.-H., Roda, A.L. and Mannion, C.M., 2010. Density and natural enemies of the asian citrus psyllid, *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae), in the residential landscape of southern Florida. *Journal of Agricultural and Urban Entomology*, 27(1), pp.33–49.
- Coronado-Blanco, M.J., Ruiz-Cancino, E., Myartseva, S.N. y Gaona-Garcia, G., 2003. *Tamarixia* sp. (Hymenoptera: Eulophidae), parasitoide del psílido asiático de los cítricos en Tamaulipas, México. In: *XXVI Congreso Nacional de Control Biológico*. Guadalajara, Jalisco, México: Sociedad Mexicana de Control Biológico.
- Cortez-Mondaca, E., López-Arroyo, J.I., Rodríguez-Ruíz, L., Partida-Valenzuela, M.P., Pérez-Márquez, J. y González- Calderón, V.M., 2011. Capacidad de depredadores de especies de Chrysopidae asociadas a *Diaphorina citri* Kuwayama en los cítricos de Sinaloa, México. En: López Arroyo, J.I., y González Lauck, V.W. (Comp), *Memoria del 2° Simposio Nacional sobre investigación para el manejo del Psílido Asiático de los cítricos y el Huanglongbing en México*. Montecillo, Edo. de Mexico, México del 5 y 6 de diciembre: Centro Regional de Investigación del Noreste (CIRNE), Campo Experimental General Terán.
- Cortez-Mondaca, E., Lugo-Angulo, N.E., Pérez-Márquez, J. y Apodaca-Sánchez, M.Á., 2010. Primer reporte de enemigos naturales y parasitismo sobre *Diaphorina citri* Kuwayama en Sinaloa, Mexico. *Southwestern Entomologist*, 35(1), pp.113–116.
- Davenport, T.L., 2000. Processes influencing floral initiation and bloom: The role of phytohormones in a conceptual flowering model. *HortTechnology*, 10(4), pp.733–739.
- 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(5), pp.307–315.
- FAOSTAT, 2014. *Food and Agricultural commodities production / Countries by commodity*. [online] Available at: <<http://faostat3.fao.org/browse/rankings/E>> [Accessed 26 Oct. 2014].
- Gandarilla-Pacheco, L.F., López-Arroyo, J.I., Galán-Wong, L.J. and Quintero-Zapata, I., 2013. Patogenicity of native entomopathogenic ungi from the Mexican citrus-growing area against *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Liviidae). *Southwestern Entomologist*, 38(2), pp.325–388.
- García, E., 1973. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köeppen*. Mexico: Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.

- García Garduza, D., Sánchez Soto, S., Romero Nápoles, J. y Pérez Florez, J., 2013. Fluctuación poblacional de *Diaphorina citri* (Hemiptera : Liviidae) en limón persa (*Citrus latifolia*), en Huimanguillo , Tabasco , México. *Revista Colombiana de Entomología*, 39(2), pp.201–204.
- Garnier, M., Danel, N. and Bove, J.M., 1984. The greening organism is a gram negative bacterium. In: S. M. Garnsey, L. W. Timmer, and J. A. Dodds, (eds.), *Proceedings of the 9th Conference of the International Organization of Citrus Virologists* (IOCV). Argentina, may 9-13 . California: University of California, Riverside.
- González, C., Hernández, D., Cabrera, R.I. and Tapia, J.R., 2007. *Diaphorina citri* Kuw., *inventario y comportamiento de los enemigos naturales en la citricultura cubana*. [online] Available at: <<http://www.fao.org/docs/eims/upload/cuba/5279/FAODiaphorina.pdf>>.
- González-Hernández, A., Arredondo-Bernal, H.C., Robles-González, M., Martínez-Carrillo, J.L., Pérez, J. y López-Arroyo, J.I., 2009. Determinación de especies de parasitoides del psílido asiático de los cítricos *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae) en México. *Entomología Mexicana*, 8, pp.373–377.
- Gottwald, T.R., 2010. Current epidemiological understanding of citrus Huanglongbing. *Annual Review of Phytopathology*, 48, pp.119–39.
- Grafton-Cardwell, E.E., Stelinski, L.L. and Stansly, P. a, 2013. Biology and management of asian citrus psyllid, vector of the Huanglongbing pathogens. *Annual Review of Entomology*, [online] Available at: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23317046>> [Accessed 5 Mar. 2013].
- Gravena, S., M. J. G. Beretta, P. E. B. Paiva, R. Gallão, and P. T. Yamamoto. 1996. Seasonal abundance and natural enemies of *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae) in citrus orchards of São Paulo State, Brazil. In: Moreno, P., da Graça, J. V. and Timmer, L. W., (eds), *Proceedings of the 13th Conference of the International Organization of Citrus Virologists* (IOCV). Fonzhou, China, 16-26 November. California: University of California, Riverside.
- Guizar-Guzman, L. and Sanchez-Peña, S.R., 2013. Infection by *Entomophthora* Sensu Stricto (Entomophthoromycota: Entomophthorales) in *Diaphorina citri* (Hemiptera : Liviidae) in Veracruz, Mexico. *Florida Entomologist*, 96(2), pp.624–627.
- Haapalainen, M., 2014. Biology and epidemics of *Candidatus Liberibacter* species, psyllid-transmitted plant-pathogenic bacteria. *Annals of Applied Biology*, 165, pp.172–198.
- 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.

- Halbert, S.E. and Nuñez, C.A., 2004. Distribution of the asian citrus psyllid, *Diaphorina citri* Kuwayama (Rhynchota: Psyllidae) in the caribbean basin. *Florida Entomologist*, 87(3), pp.401–402.
- Hall, D.G., 2008. Biological control of *Diaphorina citri*. En: *1er Taller Internacional sobre Huanglongbing de los cítricos (Candidatus Liberibacter spp) y el psílido asiático de los cítricos (Diaphorina citri)*. pp.1–7.
- Hall, D.G. and Albrigo, L.G., 2007. Estimating the relative abundance of flush shoots in citrus with implications on monitoring insects associated with flush. *HortScience*, 42(2), pp.364–368.
- Hall, D.G., Hentz, M.G. and Adair, R.C., 2008. Population ecology and phenology of *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae) in two Florida citrus groves. *Environmental Entomology*, 37(4), pp.914–24.
- Hall, D.G., Richardson, M.L., Ammar, E.-D. and Halbert, S.E., 2013. Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri*, vector of citrus Huanglongbing disease. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, [online]. Available at: <<http://doi.wiley.com/10.1111/eea.12025>> [Accessed 11 July 2014].
- Hall, D.G., Wenninger, E.J. and Hentz, M.G., 2011. Temperature studies with the asian citrus psyllid, *Diaphorina citri*: cold hardiness and temperature thresholds for oviposition. *Journal of Insect Science*, [online] Available at: <<http://www.bioone.org/doi/full/10.1673/031.011.8301>>.[Accessed 1 December 2014].
- Hasanpour, M., Talabi, A.A., Rakhshani, E. and Ameri-Siahouei, A., 2009. Identification of natural enemies of citrus psylla, *Diaphorina citri* Kuwayama (Hem, Psyllidae) in Hormozgan province. *Journal of Entomological Research*, 1(3), pp.185–195.
- Hernández-Guerra, C., Curti-Díaz, S.A., Sandoval-Rincón, J.A., Uribe-Bustamante, A. y Loredano-Salazar, R.X., 2011. Fluctuación poblacional de enemigos naturales de *Diaphorina citri* en cinco regiones agroecológicas de Veracruz y Puebla. En: López Arroyo, J.I., and González Lauck, V.W. (Comp), *Memoria del 2° Simposio Nacional sobre investigación para el manejo del Psílido Asiático de los cítricos y el Huanglongbing en México*. Montecillo, Edo. de Mexico, México del 5 y 6 de diciembre: Centro Regional de Investigación del Noreste (CIRNE), Campo Experimental General Terán.
- Hoddle, C.D., Hoddle, M.S. and Triapitsyn, S. V, 2013. *Marietta leopardina* (Hymenoptera : Aphelinidae) and *Aprostocetus* (Aprostocetus) sp. (Hymenoptera: Eulophidae) are obligate hyperparasitoids of *Tamarixia radiata* (Eulophidae) and *Diaphorencyrtus aligarhensis* (Hymenoptera: Encyrtidae). *Florida Entomologist*, 96(2), pp.643–646.

- Hoddle, M.S., 2012. Foreign exploration for natural enemies of asian citrus psyllid, *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae), in the Punjab of Pakistan for use in a classical biological control program in California USA. *Pakistan Entomologist*, 34(1), pp.1–5.
- Hoy, M.A. and Nguyen, R., 2001. Classical biological control of Asian citrus psylla. *Citrus Industry*, 81, pp.48–50.
- Husain, M.A. and Nath, D., 1927. The citrus psylla (*Diaphorina citri*, Kuw.) [Psyllidae: Homoptera]. In: *Memoirs of the Department of Agriculture in India, Entomological Series*. p.27.
- Jagoueix, S., Bove, J.M. and Garnier, M., 1996. PCR detection of the two “ Candidatus ” liberobacter species associated with greening disease of citrus. *Molecular and Cellular Probes*, 10, pp.43–50.
- Jasso-Argumedo, J., Lozano-Conteras, M., Barroso-Ake, H. y López-Arroyo, J.I., 2010. Abundancia Estacional de *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae) y sus enemigos naturales en huertas de limon persa en Yucatán, México. En: López Arroyo, J.I., y González Lauck, V.W. (Comp.), memorias del 1^{er} Simposio Nacional sobre investigación para el manejo del Psílido Asiático de los Cítricos y el Huanglongbing en México.
- Jasso-Argumedo, J., Lozano-Contreras, M., Barroso-Aké, H.J., Morales-Koyoc, D., Guillén-Solis, H., Chan-May, Y. y Magaña-Martinez, L., 2011. Fluctuacion poblacional de *D. citri* Kuyawama (Hemiptera: Psyllidae) en Limon persa *Citrus latifolia* Tan. en la etapa de desarrollo. En: López Arroyo, J.I., y González Lauck, V.W. (Comp.), Memoria del 2° Simposio Nacional sobre investigación para el manejo del Psílido Asiático de los cítricos y el Huanglongbing en México. Montecillo, Edo. de México, México del 5 y 6 de diciembre: Centro Regional de Investigación del Noreste (CIRNE), Campo Experimental General Terán
- Juan-Blasco, M., Qureshi, J.A., Urbaneja, A. and Stansly, Philip, A., 2012. Predatory mite, *Amblyseius swirskii* (Acari: Phytoseiidae), for biological control of asian citrus psyllid, *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae). *Florida Entomologist*, 95(3), pp.543–551.
- Ke C, 1991. The present status of citrus Huanglungbin and its control in China. In: Ke. C and Osman S.B (Eds.), *Proceedings of the 6th International Asia Pacific Workshop on Integrated Citrus Health Management*. Kuala Lumpur, Malaysia, 24-30 June. FAO-UNDP.
- Kuwayama, S., 1908. *Die Psylliden Japans*. Transactions of the Sapporo Natural History Society 2. pp.149–189.

- Lama, T.K., Regmi, C. and Aubert, B., 1988. Distribution of the citrus greening disease vector (*Diaphorina citri* Kuw.) in Nepal and attempts to establish biological control. In: Timmer L.W., Garnsey, S.M. and Navarro, C., (Eds.), *Proceedings of The 10th Conference of the International Organization of Citrus Virologist (IOCV)*. Valencia, Spain, 17-21 November. California: University of California, Riverside.
- Lewis-Rosenblum, H., Martini, X., Tiwari, S. and Stelinski, L., 2015. Seasonal movement patterns and long-range dispersal of asian citrus psyllid in Florida Citrus. *Journal of Economic Entomology*, pp.1–8.
- Liu, Y.H. and Tsai, J.H., 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(3), pp.201–206.
- López Arroyo, J.I., 2010. Proyecto manejo de la enfermedad Huanglongbing (HLB) mediante el control de poblaciones del vector *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae) el psílido asiático de los cítricos. Fase I. In: *Encuentro Internacional de Investigación en Cítricos. Martínez de la Torre, Ver. México*.
- López-Arroyo, J.I., Peña, M.A., Rocha Peña, M.A. y Loera, J., 2005. Ocurrencia en México del psílido asiático *Diaphorina citri* (Homoptera: Psyllidae). In: *Memorias del VII Congreso Internacional de Fitopatología*. Chihuahua, Chih., México.
- Lozano Contreras, M.G. y Jasso Argumedo, J., 2012. Identificación de enemigos naturales de *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Psyllidae) en el estado de Yucatán, México. *Fitosanidad*, [online] Available at: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=209125190004>> [Accessed 2 December 2014].
- Martini, X., Addison, T., Fleming, B., Jackson, I., Pelz-Stelinski, K. and Stelinski, L.L., 2013. Occurrence of *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae) in an unexpected ecosystem : The Lake Kissimmee State Park Forest, Florida. *Florida Entomologist*, [online] Available at: <<http://www.bioone.org/doi/full/10.1653/024.096.0240>>. [Accessed 1 December 2014].
- Martini, X., Hoyte, A. and Stelinski, L., 2014. Abdominal color of the asian citrus psyllid (Hemiptera: Liviidae) is associated with flight capabilities. *Annals of the Entomological Society of America*, 107(4), pp.842–847.
- Mead, F.W., 1977. The Asiatic citrus psyllid, *Diaphorina citri* Kuwayama (Homoptera: Psyllidae). *Entomology Circular* 180. p.4.
- Meyer, J.M., Hoy, M.A. and Boucias, D.G., 2008. Isolation and characterization of an *Isaria fumosorosea* isolate infecting the Asian citrus psyllid in Florida. *Journal of Invertebrate Pathology*, 99(1), pp.96–102.

- Michaud, J., 2004. Natural mortality of Asian citrus psyllid (Homoptera: Psyllidae) in central Florida. *Biological Control*, 29, pp.260–269.
- Michaud, J.P., 2002. Biological control of asian citrus psyllid, *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae) in Florida : a preliminary report. *Entomological News*, [online] Available at: <<http://biostor.org/reference/66887>>.
- Michaud, J.P. and Olsen, L.E., 2004. Suitability of asian citrus psyllid, *Diaphorina citri* , as prey for ladybeetles. *BioControl*, 49, pp.417–431.
- Mireles-Rodriguez, E. y López Arroyo, J.I., 2011. Abundancia de *Diaphorina citri* (Hemiptera : Psyllidae) y parasitismo por *Tamarixia radiata* (Hymenoptera: Eulophidae) en la Huasteca Potosina, México. En: López Arroyo, J.I., y González Lauck, V.W. (Comp.), Memoria del 2^{do} Simposio Nacional sobre investigación para el manejo del Psílido Asiático de los cítricos y el Huanglongbing en México. Montecillo, Edo. de México, México del 5 y 6 de diciembre, Centro Regional de Investigación del Noreste (CIRNE), Campo Experimental General Terán
- Monzo, C., Qureshi, J.A. and Stansly, P.A., 2014. Insecticide sprays, natural enemy assemblages and predation on Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae). *Bulletin of Entomological Research*, 104, pp.576–85.
- NAPPO, 2009. *Detection of Huanglongbing (Candidatus Liberibacter asiaticus) in the municipality of Tizimin, Yucatan, Mexico*. [online] Available at: <<http://www.pestalert.org/oprDetail.cfm?oprID=384>>.
- Nava, D.E., Torres, M.L.G., Rodrigues, M.D.L., Bento, J.M.S. and Parra, J.R.P., 2007. Biology of *Diaphorina citri* (Hem., Psyllidae) on different hosts and at different temperatures. *Journal of Applied Entomology*, 131(9-10), pp.709–715.
- Navarrete, B., Mcauslane, H., Deyrup, M. and Peña, J.E., 2013. Ants (Hymenoptera : Formicidae) Associated with *Diaphorina citri* (Hemiptera : Liviidae) and their Role in its Biological Control. *Florida Entomologist*, [online] Available at: <<http://www.bioone.org/doi/full/10.1653/024.096.0225>>.
- Ortega-Arenas, L.D., Villegas-Monter, Á., Ramirez-Reyes, A.J. y Mendoza-Garcia, E.E., 2013. Abundancia estacional de *Diaphorina citri* (hemiptera: Liviidae) en Plantaciones de Cítricos en Cazonas, Veracruz, México. *Acta Zoológica Mexicana*, 29(2), pp.317–333.
- Padrón-Chávez, J.E. y Rocha-Peña, M.A., 2007. *La poda de los cítricos. Folleto Técnico No. 7*. General Terán, N.L., México, p.46.
- Padulla, L.F.L., Alves, S., Pauli, G. and Marinehiro, D.Q., 2005. Controle de *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Psyllidae) com fungos entomopatogenicos. In: 9^o Simposio de Controle Biológico. Anais. Recife: Entomological Society of Brazil.

- Paiva, P.E.B. and Parra, J.R.P., 2012. Life table analysis of *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae) infesting sweet orange (*Citrus sinensis*) in São Paulo. *Florida Entomologist*, 95(2), pp.278–284.
- Pelz-Stelinski, K.S., Brlansky, R.H., Ebert, T.A. and Rogers, M.E., 2010. Transmission Parameters for *Candidatus Liberibacter asiaticus* by Asian Citrus Psyllid (Hemiptera: Psyllidae). *Journal of Economic Entomology*, 103(5), pp.1531–1541.
- Pérez-Artiles, L., González-Fernández, C., Hernández-Espinosa, D., Rodríguez-Tapia, J.L. y Fernández-Argudin, M., 2011. Ciclo de vida de *Diaphorina citri* Kuw. (Hemiptera: Psyllidae) en *Citrus aurantifolia* L. y *Murraya paniculata* (L.) Jack en condiciones de laboratorio. *Citrifrut*, 28(2), pp.12–18.
- Pluke, R.W.H., Qureshi, J.A. and Stansly, P.A., 2008. Citrus flushing patterns, *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae) populations and parasitism by *Tamarixia radiata* (Hymenoptera: Eulophidae) in Puerto Rico. *Florida Entomologist*, 91(1), pp.36–42.
- 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 Incidence of Invasive *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae) and Its Introduced Parasitoid. *Journal of Economic Entomology*, 102(1), pp.247–256.
- Qureshi, J.A. and Stansly, P.A., 2007. Integrated approaches for managing the asian citrus psyllid *Diaphorina citri* (Homoptera: Psyllidae) in Florida. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*, 120, pp. 110-115
- R Development Core Team, 2008. *R: A language and environment for statistical computing*. [online] Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. Available at: <<http://www.r-project.org>>.
- Rakhshani, E. and Saeedifar, A., 2013. Seasonal fluctuations, spatial distribution and natural enemies of Asian citrus psyllid *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera : Psyllidae) in Iran. *Entomological Science*, 16, pp.17–25.
- Reyes-Rosas, M.A., Lopez-Arroyo, J.I., Buck, M. y Loera-Gallardo, J., 2011. First report of a predaceous wasp attacking nymphs of *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae), Vector of Hlb. *Florida Entomologist*, 94(4), pp.1075–1077.
- Rivero Aragón, A. and Grillo Ravelo, H., 2000. Natural enemies of *Diaphorina citri* Kuwayama (Homoptera: Psyllidae) in the central region of Cuba. *Centro agrícola*, 27(3), pp.87–88.
- Rodríguez-Palomera, M., Cambero-Campos, J., Robles-Bermudez, A., Carvajal-Cazola, C. y Estrada-Virgen, O., 2012. Enemigos naturales asociados a *Diaphorina citri*

- Kuwayama (Hemiptera: Psyllidae) en limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) en Nayarit, México. *Acta Zoológica Mexicana (n.s)*, 28(3), pp.625–629.
- SENASICA, 2014a. *Acciones contra el Huanglongbing y su vector en México, Informe No. 7*. [online] Available at: <<http://www.senasica.gob.mx/?doc=26771>>.
- SENASICA, 2014b. *Liberaciones de Tamarixia radiata en Quintana roo*.
- SENASICA, 2014c. *Plagas reglamentadas de los cítricos*. [online] Available at: <<http://www.senasica.gob.mx/?id=4513>> [Accessed 27 Oct. 2014].
- SHCP, 2014a. *Panorama de la Naranja*. [online] Available at: <[http://www.financiarural.gob.mx/informacionsectorrural/Panoramas/PanoramaNaranja\(abr2014\).pdf](http://www.financiarural.gob.mx/informacionsectorrural/Panoramas/PanoramaNaranja(abr2014).pdf)>.
- SHCP, 2014b. *Panorama del Limón*. [online] Available at: <<http://financiarural.gob.mx/informacionsectorrural/Panoramas/PanoramaLim%C3%B3n%28abr2014%29.pdf>>.
- SIAP, 2014. Cierre de la producción agrícola por estado. [online] Available at: <<http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado/>>.
- Sosa-Armenta, J.M., López-Martínez, V., Alía-Tejacal, I., Hernández-Fuentes, A.D. y Jiménez-García, D., 2011. Fluctuación poblacional del psílido asiático de los cítricos, *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Psyllidae), en tres huertas de cítricos en el estado de Morelos. En: López Arroyo, J.I., y González Lauck, V.W. (Comp.), Memoria del 2° *Simposio Nacional sobre investigación para el manejo del Psílido Asiático de los cítricos y el Huanglongbing en México*. Montecillo, Edo. de México, México del 5 y 6 de diciembre, Centro Regional de Investigación del Noreste (CIRNE), Campo Experimental General Terán
- Subandiyah, S., Nikoh, N., Sato, H., Wagiman, F., Tsuyumu, S. and Fukatsu, T., 2000. Isolation and characterization of two entomopathogenic fungi attacking *Diaphorina citri* (Homoptera, Psylloidea) in Indonesia. *Mycoscience*, 41, pp.509–513.
- Tiwari, S., Mann, R.S., Rogers, M.E. and Stelinski, L.L., 2011. Insecticide resistance in field populations of asian citrus psyllid in Florida. *Pest management science*, 67, pp.1258–68.
- Triapitsyn, S. V, Hoddle, C.D., Hayat, M. and Hoddle, M.S., 2013. Taxonomic notes on *Psyllaphycus diaphorinae* (Hymenoptera: Encyrtidae) and its host associations in Pakistan. *Florida Entomologist*, [online] Available at: <<http://www.bioone.org/doi/full/10.1653/024.096.0128>>.

- Trujillo Arriaga, J., 2010. Situación actual, regulación y manejo del HLB en México. In: *2^{do} taller Internacional sobre el huanglongbing y el psílido Asiático de los cítricos. Merida Yuc.*
- Tsai, J.H., 2008. Asian Citrus Psyllid, *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera:Psyllidae). In: J.L. Capinera, ed., *Encyclopedia of Entomology*, 2nd ed. Florida. Springer, pp.306–308.
- Tsai, J.H., Wang, J. and Liu, Y.-H., 2002. Seasonal abundance of the asian citrus psyllid, *Diaphorina citri* (Homoptera: Psyllidae) in Southern Florida. *Florida Entomologist*, 85(3), pp.446–451.
- Wu, H., 1994. Preliminary studies on *Anystis baccharum*. *Natural Enemies of Insects*, 16(3), pp.101–106.
- Xacur-Maiza, J.Á., 1998. *Enciclopedia de Quintana Roo, CH-G*. ed. Mexico, p.360.
- Xu, C.F., Xia, Y.H., Li, K.B. and Ke, C., 1988. Further Study of the Transmission of Citrus Huanglungbin by a Psyllid , *Diaphorina citri* Muwayama. In: *10th Conference of the International Organization of Citrus Virologists (IOCV)*. Valencia, Spain, 17-21 November. California: University of California, Riverside.
- Yang, Y., Huang, M., C. Beattie, G.A., 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*, [online] Available at: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09670870600872994>> [Accessed 7 Jul. 2014].

7. Anexo

Anexo 1. Enemigos naturales de *D. citri* en su área de distribución nativa (Asia)

Tipo de enemigo natural	Orden: Familia	Género-especie	Locación	Referencias
Depredador	Neuroptera: Chrysopidae	<i>Chrysoperla carnea</i>	Irán	(Hasanpour et al., 2009; Rakhshani y Saeedifar, 2013)
	Coleoptera: Coccinellidae	<i>Adalia bipunctata</i>	Irán	(Hasanpour et al., 2009)
		<i>Brumus suturalis</i>	India	(Husain y Nath, 1927)
		<i>Chilocorus nigritus</i>	India	(Husain y Nath, 1927)
		<i>Coccinella rependa</i>	India	(Husain y Nath, 1927)
		<i>Coccinella septempunctata</i>	Irán India	(Husain y Nath, 1927; Rakhshani y Saeedifar, 2013)
		<i>Exochomus nigripennis</i>	Irán	(Hasanpour et al., 2009; Rakhshani y Saeedifar, 2013)
		<i>Exochomus pubescens</i>	Irán	(Hasanpour et al., 2009)
		<i>Menochilus sexmaculatus</i> Ahora <i>Cheilomenes sexmaculata</i>	Irán	(Hasanpour et al., 2009; Rakhshani y Saeedifar, 2013)
		<i>Scymnus levallanti</i>	Irán	(Hasanpour et al., 2009; Rakhshani y Saeedifar, 2013)
	Diptera: Syrphidae	<i>Allobaccha sapphirina</i>	Irán	(Rakhshani y Saeedifar, 2013)
		<i>Allograpta</i> sp.	Nepal	(Aubert, 1987)
	Araneae: Clubionidae Ahora en Miturgidae	<i>Cheirachntium</i> sp.	Irán	(Rakhshani y Saeedifar, 2013)
	Araneae: Gnaphosidae	<i>Zelotes</i> sp.	Irán	(Rakhshani y Saeedifar, 2013)
	Araneae: Linyphiidae	<i>Diplocephalus</i> sp.	Irán	(Hasanpour et al., 2009)
Araneae: Salticidae	<i>Marpissa</i> sp.	Irán	(Hasanpour et al., 2009)	
Trombidiforme: Anystidae	<i>Anystis baccarum</i>	China	(Wu, 1994)	
Parasitoides	Hymenoptera: Encyrtidae	<i>Diaphorencyrtus</i> sp.	Pakistán	(Hoddle, 2012)
		<i>Psyllaephagus stenopsyllae</i>	Irán	(Hasanpour et al., 2009)
		<i>Psyllaphycus diaphorinae</i>	Pakistán	(Triapitsyn et al., 2013)
	Hymenoptera: Eulophidae	<i>Tamarixia radiata</i>	Irán Pakistán	(Hasanpour et al., 2009; Hoddle, 2012; Rakhshani y Saeedifar, 2013)

Patógenos	Hypocreales: Cordycipitaceae	<i>Paecilomyces fumosoroseus</i> ahora <i>Isaria fumosorosea</i>	Indonesia	(Subandiyah et al., 2000)
	Capnodiales: Capnodiaceae	<i>Capnodium citri</i>	Reunión Island	(Aubert, 1987)
	Hypocreales: Ophiocordycipitaceae	<i>Hirsutella citriformis</i>	Indonesia	(Subandiyah et al., 2000)

Anexo 2. Enemigos naturales (Con excepción de parasitoides introducidos) de *D. citri* en áreas invadidas

Tipo de enemigo	Orden: Familia	Género-Especies	Locación	Referencias
Depredador	Hemiptera: Anthocoridae		Florida	(Chong, Roda y Mannion, 2010)
	Hemiptera: Reduviidae	<i>Zelus</i> sp.	México (Veracruz, Puebla)	(Hérendez-Guerra et al., 2011; Guizar-Guzman y Sanchez-Peña, 2013)
		<i>Zelus longipes</i>	Florida	(Hall, Hentz y Adair, 2008)
		<i>Zelus renardii</i>	México	(Barrera, Gómez-Ruiz y Herrera-Muñoz, 2010)
	Neuroptera: Chrysopidae	<i>Chrysoperla comanche</i>	Sinaloa	(Cortez-Mondaca et al., 2010; Cortez-Mondaca et al., 2011)
		<i>Chrysoperla rufilabris</i>	México (Sinaloa Yucatán) Florida	(Michaud, 2002; Cortez-Mondaca et al., 2010; Cortez-Mondaca et al., 2011; Lozano Contreras y Jasso Argumedo, 2012)
		<i>Chrysoperla carnea</i>	Sinaloa	(Cortez-Mondaca et al., 2011)
		<i>Chrysopa</i> sp.	México (Yucatán) Florida	(Lozano Contreras y Jasso Argumedo, 2012; Michaud y Olsen, 2004)
		<i>Ceraeochrysa</i> sp.	Florida México (Nayarit Puebla, Veracruz)	(Michaud, 2002; Michaud, 2004; Hérendez-Guerra et al., 2011; Rodríguez-Palomera et al., 2012)
		<i>Ceraeochrysa sp.nr.cincta</i>	México (Yucatán)	(Lozano Contreras y Jasso Argumedo, 2012)
		<i>Ceraeochrysa cubana</i>	México (Yucatán)	(Lozano Contreras y Jasso Argumedo, 2012)
		<i>Ceraeochrysa claveri</i>	México (Yucatán, Sinaloa)	(Lozano Contreras y Jasso Argumedo, 2012; Cortez-Mondaca et al., 2011)
		<i>Ceraeochrysa everes</i>	México (Yucatán)	(Lozano Contreras y Jasso Argumedo, 2012)
		<i>Ceraeochrysa valida</i>	México (Yucatán, Sinaloa)	(Lozano Contreras y Jasso Argumedo, 2012; Cortez-Mondaca et al., 2011)
		Neuroptera: Hemerobiidae	<i>Micromus posticus</i>	Florida
	Coleoptera: Coccinellidae	<i>Arawana</i> sp.	México (Yucatán)	(Lozano Contreras y Jasso Argumedo, 2012)
		<i>Azya orbigera</i>	México (Yucatán, Veracruz)	(Lozano Contreras y Jasso Argumedo, 2012; Guizar-Guzman y Sanchez-Peña, 2013)
		<i>Brachiacantha testudo</i>	México (Puebla, Veracruz)	(Hérendez-Guerra et al., 2011)

		<i>Brachiacantha decora</i>	Veracruz	(Guizar-Guzman y Sanchez-Peña, 2013)
		<i>Chilocorus cacti</i>	México (Yucatán, Nayarit)	(Lozano Contreras y Jasso Argumedo, 2012; Rodriguez-Palomera et al., 2012)
		<i>Chilocorus stigma</i>	Veracruz	(Guizar-Guzman y Sanchez-Peña, 2013)
		<i>Coelophora inaequalis</i>	Florida	(Michaud, 2002)
		<i>Coleomegilla maculata fuscilabris</i>	Florida	(Michaud, 2002)
		<i>Curinus coeruleus</i>	Florida México (Veracruz)	(Michaud, 2002; Michaud y Olsen, 2004; Guizar-Guzman y Sanchez-Peña, 2013)
		<i>Cycloneda sanguinea</i>	México (Sinaloa, Yucatán, Nayarit, Veracruz, Puebla) Florida	(Michaud, 2002; Michaud y Olsen, 2004; Cortez-Mondaca et al., 2010; Hernández-Guerra et al., 2011; Lozano Contreras y Jasso Argumedo, 2012; Rodriguez-Palomera et al., 2012)
		<i>Delphastus sp.</i>	México (Yucatán)	(Lozano Contreras y Jasso Argumedo, 2012)
		<i>Exochomus childreni</i>	Florida	(Michaud y Olsen, 2004)
		<i>Exochomus childreni childreni</i>	Florida	(Michaud, 2002)
		<i>Harmonia axyridis</i>	Florida	(Michaud, 2002; Michaud y Olsen, 2004; Chong, Roda y Mannion, 2010)
		<i>Hipodamia convergens</i>	México (Puebla, Veracruz)	(Hérendez-Guerra et al., 2011; Guizar-Guzman y Sanchez-Peña, 2013)
		<i>Nephus sp.</i>	México (Nayarit)	(Rodriguez-Palomera et al., 2012)
		<i>Olla v-nigrum</i>	México (Yucatán, Sinaloa, Nayarit, Puebla, Veracruz) Florida	(Michaud, 2002; Michaud y Olsen, 2004; Cortez-Mondaca et al., 2010; Hernández-Guerra et al., 2011; Lozano Contreras y Jasso Argumedo, 2012; Rodriguez-Palomera et al., 2012)
		<i>Pentilia sp.</i>	México (Nayarit)	(Rodriguez-Palomera et al., 2012)
		<i>Scymnus sp.</i>	Brasil	(Gravena, Beretta, Paiva y Gallao, 1996)

		<i>Zagloba sp.</i>	México (Yucatán)	Lozano Contreras y Jasso Argumedo, 2012
	Hymenoptera: Vespidae	<i>Brachygastra mellifica</i>	México (Tamaulipas)	(Reyes-Rosas et al., 2011)
	Hymenoptera: Formicidae	<i>Pseudomyrmex gracilis</i>	Florida	(Michaud, 2004)
		<i>Dorymyrmex Bureni</i>		
	Diptera: Dolichopodidae		Florida	(Chong, Roda y Mannion, 2010)
	Diptera: Syrphidae	<i>Allograpta sp.</i>	Reunión	(Aubert, 1987)
		<i>Allograpta obliqua</i>	Florida, México (Puebla , Veracruz)	(Michaud, 2002; Hernández-Guerra et al., 2011)
	Araneae: Anyphaenidae	<i>Hibana velox</i>	Florida	(Michaud, 2002)
	Araneae: Clubionidae Ahora en Miturgidae	<i>Chiracanthium inclusum</i>	Florida	(Michaud, 2002)
	Araneae: Oxyopidae	<i>Oxyopes sp.</i>	Florida	(Michaud, 2002)
	Araneae: Salticidae	<i>Hentzia palmarum</i>	Florida	(Michaud, 2002)
	Acari: Phytoseiidae	<i>Amblyseius swirskii</i>	Florida	(Juan-Blasco et al., 2012)
Patógenos	Hypocreales: Clavicipitaceae	<i>Beauveria bassiana</i>	México (Nayarit) Cuba, Brasil	(Rivero Aragón & Grillo Ravelo, 2000; Padulla ; et al., 2005; Rodríguez-Palomera et al., 2012; Gandarilla-Pacheco et al., 2013)
		<i>Metarhizium anisopliae</i>	Brasil	(Padulla et al., 2005)
		<i>Metarhizium Brunneum</i>	México	(Gandarilla-Pacheco et al., 2013)
		<i>Verticillium lecanii</i> Ahora: <i>Lecanicillium lecanii</i> o <i>Lecanicillium longisporum</i>	Cuba Brasil	(Rivero Aragón y Grillo Ravelo, 2000; Padulla et al., 2005)
	Hypocreales: Cordycipitaceae	<i>Paecilomyces fumosoroseus</i> Ahora <i>Isaria fumosorosea</i>	Florida México Brasil	(Padulla et al., 2005; Meyer, Hoy y Boucias, 2008; Gandarilla-Pacheco et al., 2013)
	Hypocreales: Ophiocordycipitaceae	<i>Hirsutella citrifomis</i>	Cuba Florida México (Veracruz)	(Rivero Aragón & Grillo Ravelo, 2000; Hall, Hentz y Adair, 2008; Guizar-Guzman y Sanchez-Peña, 2013)
		<i>Hirsutella thompsonii</i>	Brasil	(Padulla et al., 2005)
	Entomophthorales: Entomophthoraceae	<i>Entomophthora sp.</i>	México (Veracruz)	(Guizar-Guzman y Sanchez-Peña, 2013)

Anexo 3. Adultos de *D. citri* atacados por hongos entomopatógenos.



Figura 14. Adulto de *D. citri* encontrado en limón persa con signos de infección por hongo entomopatógeno en la localidad de Sta. Gertrudis, Quintana Roo.



Figura 15. Adulto de *D. citri* encontrado en limón persa con signos de infección por hongo entomopatógeno en la localidad de Xul-Ha, Quintana Roo.



Figura 16. Adulto de *D. citri* encontrado en limón persa infectado por *Isaria* sp. en la localidad de Sta. Gertrudis, Quintana Roo.

Anexo 4. Presencia estacional de enemigos naturales por parcela.

Cuadro 10. Presencia estacional de enemigos naturales de *D. citri* en la parcela de limón persa A, en Sta. Gertrudis, Quintana Roo.

Temporadas	Fechas	Chrysopidae	<i>Ceraeochrysa</i> sp.	<i>Lyssomanes</i> sp.
Nortes	21-enero		x	
	05-febrero		x	
	19-febrero		x	
	05-marzo			
Secas	23-abril		x	
	07-mayo	x	x	
	24-mayo		x	
	04-junio		x	
Lluvias	18-junio	x		
	03-julio	x		x
	16-julio		x	
	01-agosto		x	

Cuadro 11. Presencia estacional de enemigos naturales de *D. citri* en la parcela de limón persa B, en Sta. Gertrudis, Quintana Roo.

Temporadas	Fechas	Chrysopidae	<i>Ceraeochrysa</i> sp.	<i>Cycloneda sanguinea</i>	<i>Mantidae</i>	<i>Lyssomanes</i> sp.	<i>Isaria</i> sp.
Nortes	21-enero				x		
	05-febrero		x	x			x
	19-febrero		x				
	05-marzo						
Secas	23-abril						
	07-mayo	x	x				
	24-mayo	x	x				
	04-junio	x	x				
Lluvias	18-junio	x	x			x	
	03-julio	x	x				
	16-julio		x				
	01-agosto						

Cuadro 12. Presencia estacional de enemigos naturales de *D. citri* en la parcela de limón persa C en Xul-Ha, Quintana Roo.

Temporada	Fecha	Chryposidae	<i>Ceraeochrysa</i> sp.	<i>Chilocorus</i> sp.	<i>Tamarixia</i> <i>radiata</i>
Nortes	21-febrero	x	x		
	07-marzo		x		
Secas	25-abril		x		
	09-mayo	x	x		
	23-mayo	x			
	06-junio	x	x	x	x
Lluvias	20-junio		x		
	03-julio	x	x		
	16-julio		x		
	01-agosto		x		

Anexo 5. Artículo sometido

Elsevier Editorial System(tm) for Biological Control
Manuscript Draft

Manuscript Number: BCON-15-84

Title: Natural enemies and population dynamics of the invasive *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae) in citrus agroecosystems in Quintana Roo, Mexico

Article Type: Regular Article

Keywords: Asian citrus psyllid; huanglongbing; parasitoid; Persian lime; citrus shoot production

Corresponding Author: Dra. Gabriela Pérez-Lachaud, Ph.D.

Corresponding Author's Institution: El Colegio de la Frontera Sur

First Author: Vannesa V Catzim

Order of Authors: Vannesa V Catzim; Jaime Gómez-Ruiz; Juan F Barrera; Gabriela Pérez Lachaud, Ph.D.

Abstract: The Asian citrus psyllid (ACP) *Diaphorina citri*, the principal vector of the huanglongbing disease, has invaded all Mexican citrus producing regions. Conservation Biological Control has potential for use in developing world agriculture. Knowledge of both the pest dynamics and its potential natural enemies at the local scale is needed to optimize pest management. Population dynamics of *D. citri* was studied in three plots of Persian lime in southern Quintana Roo, Mexico. Immature stages were surveyed on new shoots while adults in both shoots and yellow sticky traps. Climatic seasons, precipitation, temperature and relative humidity were determining factors for shoot fluctuation in Persian lime. Globally, ACP abundance was low but all life stages of the vector were present along the study period. ACP population fluctuation varied between plots; there was no significant correlation between citrus shoot availability and ACP abundance. Seasons, temperature, relative humidity and position of trees (within the plot or along the border) influenced ACP abundance on shoots. Males were captured significantly more frequently in sticky traps in comparison to females. Native ACP natural enemies included five generalist predators, *Ceraeochrysa* sp. (Chrysopidae), *Chilocorus* sp., *Cycloneda sanguinea* (Coccinellidae), the spider *Lyssomanes* sp., and an unidentified species of Mantidae; one entomopathogenic fungi, *Isaria* sp., and the introduced parasitoid *Tamarixia radiata* (Eulophidae). In addition, 11 species of ants were found foraging on shoots, including *Pseudomyrmex gracilis* previously reported as ACP predator. The most abundant natural enemy, the chrysopid *Ceraeochrysa* sp., was parasitized by three species of hymenopteran parasitoids in some plots.

Cover Letter

February 26th, 2015.

Dr. J.P. Michaud
Editor
Biological Control

Dear Dr. Michaud,

Please find enclosed a manuscript entitled “Natural enemies and population dynamics of the invasive *Diaphorina citri* in citrus agroecosystems in Quintana Roo, Mexico” by Vannesa Virginia Catzim, Jaime Gómez-Ruiz, Juan F. Barrera, and Gabriela Pérez-Lachaud, that we would like to submit to your consideration for publication as an original article in *Biological Control*.

Citrus is an economically important commodity in Mexico. Citrus areas in the southern part of Mexico, mostly hold by small owners, can benefit from improved knowledge of the seasonal fluctuation of ACP and of native natural enemies that may attack ACP and various other citrus pest species thereby providing important natural biological control services. In this study we focused on the population dynamics of *D citri* in the southern part of the Yucatan peninsula, where *D. citri* was first detected in 2002.

We hope that the subject and the contents of this study will suit the scope and standard of the journal. We hope that all is in order as far as format is concerned and look forward to hear the results of your consideration.

Yours sincerely

Gabriela Pérez-Lachaud
El Colegio de la Frontera Sur
Conservación de la Biodiversidad
Ave. Centenario s/n km 5.5
Chetumal, Quintana Roo, Mexico

***Highlights (for review)**

- Precipitation, Temperature and Relative Humidity influenced citrus shoot production.
- Abundance of *Diaphorina citri* was not correlated to shoot availability in Persian lime.
- Seasons influenced both new shoot production and *D. citri* population fluctuation.
- Temperature and relative humidity are determinant of *D. citri* population.
- Five native predators, one pathogen and one introduced parasitoid attack *D. citri* in southern Mexico.

***Manuscript**

Natural enemies and population dynamics of the invasive *Diaphorina citri*
(Hemiptera: Liviidae) in citrus agroecosystems in Quintana Roo, Mexico

Vannesa Virginia Catzima, Jaime Gómez-Ruiz^b, Juan F. Barrera^b, Gabriela Pérez-Lachauda
a El Colegio de la Frontera Sur, Av. Centenario km 5.5, CP 77014 Chetumal, Quintana Roo,
Mexico

b El Colegio de la Frontera Sur, Carr. Antiguo Aeropuerto km 2.5, CP 30700 Tapachula,
Chiapas,
México

Corresponding author:

G. Pérez-Lachaud igperez@ecosur.mx

Tel.: +52 9838350440

Fax: +52 9838350454

Abstract

1 The Asian citrus psyllid (ACP) *Diaphorina citri*, the principal vector of the huanglongbing
2 disease, has invaded all Mexican citrus producing regions. Conservation Biological Control has
3 potential for use in developing world agriculture. Knowledge of both the pest dynamics and its
4 potential natural enemies at the local scale is needed to optimize pest management. Population
5 dynamics of *D. citri* was studied in three plots of Persian lime in southern Quintana Roo,
6 Mexico. Immature stages were surveyed on new shoots while adults in both shoots and yellow
7 sticky traps. Climatic seasons, precipitation, temperature and relative humidity were determining
8 factors for shoot fluctuation in Persian lime. Globally, ACP abundance was low but all life stages
9 of the vector were present along the study period. ACP population fluctuation varied between
10 plots; there was no significant correlation between citrus shoot availability and ACP abundance.
11 Seasons, temperature, relative humidity and position of trees (within the plot or along the border)
12 influenced ACP abundance on shoots. Males were captured significantly more frequently in
13 sticky traps in comparison to females. Native ACP natural enemies included five generalist
14 predators, *Ceraeochrysa* sp. (Chrysopidae), *Chilocorus* sp., *Cycloneda sanguinea*
15 (Coccinellidae), the spider *Lyssomanes* sp., and an unidentified species of Mantidae; one
16 entomopathogenic fungi, *Isaria* sp., and the introduced parasitoid *Tamarixia radiata*
17 (Eulophidae). In addition, 11 species of ants were found foraging on shoots, including
18 *Pseudomyrmex gracilis* previously reported as ACP predator. The most abundant natural enemy,
19 the chrysopid *Ceraeochrysa* sp., was parasitized by three species of hymenopteran parasitoids in
20 some plots.

21
22 **Keywords:** Asian citrus psyllid, Huanglongbing, parasitoid, persian lime, citrus shoot production

23

24 1. Introduction

25 Mexico represents an important producer of citrus worldwide, ranking fifth in the production of
26 oranges and third in limes and lemons (FAOSTAT, 2014). *Diaphorina citri* Kuwayama
27 (Hemiptera: Liviidae) or Asian citrus psyllid (ACP), is one of the main insect pests affecting the
28 citrus industry. Direct damage of *D. citri* on trees include abscission of leaves and whole shoots
29 (Michaud, 2004), but what poses a severe menace to commercial varieties is its role as the
30 primary vector of the phloem-dwelling plant pathogenic bacteria “*Candidatus Liberibacter spp.*”,
31 putative causal agents of the Huanglongbing (HLB) disease (Halbert and Manjunath, 2004;
32 Bové, 2006; Grafton-Cardwell et al., 2013). Infected trees until present have no cure (Grafton-
33 Cardwell et al., 2013), are stunted, show blotchy, mottled leaves, and bear fewer, small-sized and
34 deformed fruits; within 5-10 years infected trees deteriorate and become unproductive (Bové,
35 2006). *Diaphorina citri* is prolific, multivoltine, tolerant of extreme temperatures, and vagile
36 (Liu and Tsai, 2000; Halbert and Manjunath, 2004; Hall et al., 2011). Adults may live for some
37 months (Halbert and Manjunath, 2004) and can be dispersed by wind and hurricanes (Aubert,
38 1990; Bové, 2006). Furthermore ACP has been observed to rest, feed, and or complete its
39 development on numerous species and varieties of *Citrus*, and on other genus of the Aurantioidea
40 subfamily (Rutaceae) (Auber, 1990; Halbert and Manjunath, 2004; Westbrook et al., 2011), and
41 possibly on *Ficus carica* L. (Moraceae) (Thomas and De León, 2011). These traits, along with
42 the long asymptomatic latent period of the disease, hinder the management of both the pest and
43 disease (Gottwald, 2010; Grafton-Cardwell et al., 2013).

44 In the absence of current (traditionally or genetically modified) HLB-tolerant or resistant
45 cultivars, the control of HLB is dependent of the control of its vector which is typically
46 accomplished through multiple applications of conventional insecticides (Belasque et al., 2010),
47 with the accompanying risks of induced resistance in field populations of *D. citri* (Tiwari et al.,

48 2011), side effects on natural enemies, and environmental pollution. In some countries, chemical
49 control has been supplemented with the introduction of imported biological control agents,
50 primarily the hymenopteran parasitoid *Tamarixia radiata* (Waterston) (Eulophidae) which has
51 proved to effectively reduce the vector's population in some instances (Aubert and Quilici, 1984;
52 Chien and Chu, 1996; Étienne et al., 2001; Hoy and Nguyen, 2001). Attempts to prolong the
53 productive life of infected trees by intensified programs of foliar nutrition to mitigate HLB
54 symptoms have, likewise, been performed in countries such as Brazil and USA (Xu et al., 1988;
55 Stansly et al., 2014). All these practices represent, however, increased production costs that small
56 owners in developing countries cannot afford.

57 Apart from competition for resources with resident species, new phytophagous insect
58 pests interact with indigenous natural enemies or with mutualists that may assist establishment
59 and spread in new habitats (Liebhold and Tobin, 2008; Tena et al., 2013). It is known that a
60 number of generalist predators (coccinellids, lacewings, assassin bugs and spiders, among others)
61 attack *D. citri* in invaded zones (Michaud, 2001, 2004; Hall et al., 2008; Barrera et al., 2010), as
62 well as entomopathogenic fungi (Meyer et al., 2008). Generalist predators in invaded areas, for
63 example, may inflict up to 100% mortality on cohorts of *D. citri* during the growing season
64 (Qureshi and Stansly, 2007; Qureshi et al., 2009). In addition, the establishment of mutualisms
65 with resident ants may hinder or facilitate the establishment of the vector or interfere with the
66 introduced parasitoids effect through intra-guild predation (Navarrete et al., 2013; Tena et al.,
67 2013). Conservation Biological Control has potential for use in developing world agriculture
68 (Wyckhuys et al., 2013), but its implementation implies a basic knowledge of the assemblages of
69 native natural enemies at a local scale. Furthermore, knowledge of these assemblages and on the
70 population dynamics of the target pest at a local scale may be used to discern ways to improve
71 management programs and decision making to optimize ACP control. These assemblages also

72 have potential to contribute to the regulation of other citrus pests, providing a valuable ecosystem
73 service and any integrated control program against *D. citri* must consider mortality contributed
74 by indigenous generalist predators.

75 It is suggested that *D. citri* originated in India, where it evolved in association with a
76 species of *Murraya* (Rutaceae) (Beattie et al., 2008); however, it has expanded its distribution in
77 Asia, the Americas and Caribbean basin (Halbert and Nuñez, 2004). Until now there is no
78 adequate control of the disease, and despite all attempts at control, HLB continues to increase in
79 incidence and severity (Gottwald, 2010). In Mexico, *D. citri* was detected in 2002 in two citrus
80 producing states of the Yucatan Peninsula (López-Arroyo et al., 2005), while a positive sample of
81 the insect with HLB was later detected in 2009 in this area (NAPPO, 2009).

82 Worldwide attempts to mitigate the dispersion of the ACP and the disease are based on (i)
83 elimination of infected trees, (ii) the use of certified plants, and (iii) management of *D. citri*
84 populations (Bové, 2006; Grafton-Cardwell et al., 2013). In addition, in Mexico *D. citri*
85 populations are continuously monitored to determine the need for the use of chemical or
86 biological control (SENASICA, 2014). Though the introduction of *T. radiata* to Mexico was
87 accidental (Coronado-Blanco et al., 2003; González-Hernández et al., 2009), it was incorporated
88 in 2010 to the campaign against HLB and individuals are currently mass produced and released
89 (Sanchez-González et al., 2011).

90 The population dynamics of *D. citri* and the assemblage of native natural enemies that are
91 attacking its populations have been documented in some Mexican states (Tamaulipas, Yucatan,
92 Sinaloa and Veracruz) (Cortez-Mondaca et al., 2010; Reyes-Rosas et al., 2011; Lozano Contreras
93 and Jasso Argumedo, 2012; Guizar-Guzman and Sanchez-Peña, 2013). In the state of Quintana
94 Roo, where most orchards are owned by small holders, citrus (limes, oranges and mandarin)
95 covered a total of 2775.75 ha on which 35,884.1 tons of fruit were produced in 2013, with a net

106 worth 8,263,265.65 USD (SIAP, 2014). Management of the pest in this area would benefit from
107 knowledge of the dynamics of the ACP and of its natural enemies at the local level. Since no
108 surveys have been carried out in this area one of the objectives of the present study was to
109 identify the parasitoids, predators and pathogens of *D. citri* in groves of Persian lime *Citrus*
110 *latifolia* Tanaka. In addition, the population fluctuation of *D. citri* was assessed, along with the
111 effect of climatic factors. Another aspect of the investigation was to document parasitism by *T.*
112 *radiata* in one of the plots where individuals of the parasitoid were previously released.

103

104 **2. Material and methods**

105 **2.1 Study area**

106 The study area was located in the Yucatan Peninsula, southern part of Quintana Roo. The climate
107 across the peninsula is of the type “Aw” according to García (1973), warm, subhumid, with
108 rainfall during the summer and the driest season during March and April. According to Köppen
109 modified by García de Miranda (1986) the mean annual temperature is 27°C and the mean annual
110 precipitation is around 1200 mm which is more abundant from May through October. The region
111 is also frequently affected by tropical storms and hurricanes during the rainy season, and cold
112 fronts (“Nortes”) during the winter.

113 Three plots of Persian lime were surveyed for new shoots, live psyllids (eggs, nymphs and
114 adults), foraging predators, parasitized nymphs of *D. citri* and ACP adult fungal infections. The
115 plots differed in extension and management practices (Table 1). Plot A and B were 300 m distant
116 from each other, but Plot A was adjacent to a remnant of forest while Plot B was surrounded by
117 other citrus orchards. Plot C was distant from rural or urban housing and was chosen because
118 3700 individuals of *T. radiata* had been released during November-December 2013 (SENASICA,

119 P. López Sánchez, personal communication). Trees were irrigated on a needed basis, and trees
120 were pruned on distinct dates for each plot (Table 1).

121

122 **2.2. Sampling method**

123 In each site, 10 trees were flagged for monitoring, five along the edge and five within the orchard
124 in a diagonal line (adapted from Ortega-Arenas et al., 2013); the distance between the selected
125 trees varied depending on the size of the plantation in order to represent most of the area.

126 Samplings were effectuated biweekly along the cold front, the dry and the rainy season in 2014
127 (January–August), with a total of 12 samplings carried out in plots A and B and 10 in plot C.

128 The fluctuation of new shoot production was estimated using, in every survey, a 40 by 40 cm
129 wooden frame placed randomly on the four cardinal points of the canopy of selected trees; and
130 counting the number of new shoots present. After shoot counting, and from each cardinal point, a
131 shoot approximately 7 cm in length was collected. The end of the shoot was inserted into a vial
132 containing water and cotton to prevent withering and was placed in a plastic container covered
133 with organza. Samples were taken to the laboratory where all *D. citri* life stages were counted
134 containers and surveyed during 14 days to count adults of *D. citri* and parasitoids that emerged.
135 To assess adult fluctuation, yellow sticky traps (13.3 x 24.5 cm, Ferommmis Group) were placed in
136 all selected trees and replaced every 14 days on average. These were later examined under a
137 stereomicroscope to detect and count adults of *D. citri*, separating them by sexes, and also to
138 record natural enemies reported in the literature.

139 Adults and larvae of potential natural enemies of *D. citri* were also collected from the
140 selected trees during surveys, and were later given *D. citri* adults or nymphs to determine
141 predation, if this was not observed *in situ*. Predatory larvae were provided with *D. citri* as prey

142 until fully developed to rear adults for identification purposes. In plot A, sticky traps were also
143 placed in the adjacent forest remnant, to determine activity of natural enemies or presence of *D.*
144 *citri*. These were also replaced every 14 days. Natural enemies were identified with ad hoc keys
145 to the genus level. Apart from the collected shoots, predators observed on branches adjacent to
146 sampled terminals were recorded along with ants observed patrolling near ACP individuals and
147 those present on tagged terminals. Temperature and relative humidity were recorded below a tree
148 canopy using a digital hygro thermometer in each plot during samplings, while precipitation data
149 was obtained from the nearest automatic meteorological station of the National Water
150 Commission (CONAGUA; José Ma. Morelos: 19° 45' 08" N, 88° 41' 13" W, 56m asl, and Othón
151 P. Blanco: 18° 30' 02"N, 88° 19' 39" W, 9m asl). Voucher specimens of the psyllid and of its
152 natural enemies were deposited in the Arthropod collection of El Colegio de la Frontera Sur
153 Chetumal, Quintana Roo, Mexico (ECO-CH-AR).

154

155 **2.3. Statistical analyses**

156 Plots could not be statistically compared due to their inherent differences, hence individual
157 analyses were performed. To test for the influence of the season, the position of the shoots on
158 trees according to cardinal points, the position of the tree (whether on the edge or within the
159 orchard) and the abiotic factors measured upon the abundance of shoots and on the total number
160 of *D. citri*, we used a generalized linear mixed-effects model (GLMM), with tree and shoot as
161 random factors and a negative binomial or Poisson error structure response fitted to the raw data
162 of Plot A and C. Data from Plot B were transformed [$\text{Log}(y + 0.5)$] and the model was fitted
163 with a normal error structure response. We used this analytic method since the data obtained
164 included successive observations on the same trees (Galwey, 2006). Significant effects of fixed
165 factors were determined with a Deviance analysis. When a factor was found to be statistically

166 significant ($P < 0.05$), multiple comparisons were performed using orthogonal contrasts (Wald
167 test, normal approximation). To analyze adult trap captures along the study period, a GLMM was
168 fitted again. To test for the effect of the sex of the adults captured, the model was re-fitted by
169 adding the sex as a predictor. The relationship between the availability of new shoots and *D. citri*
170 abundance was analyzed with a Pearson correlation test. Figures illustrate untransformed
171 variables for heuristic purposes. All statistical analyses were performed using R (R Development
172 Core Team, 2013). For predators, data were pooled according to climatic seasons (“Nortes”,
173 “rainy” and “dry” seasons) and cumulative numbers for each predatory group and season were
174 calculated. Percent infestation in every plot was calculated per season, considering the total
175 amount of shoots with presence of *D. citri* and total number of collected shoots.

176

177 **3. Results**

178 **3.1. Factors influencing shoot production**

179 A peak in shoot production was observed during the cold front season (“Nortes”) primarily in
180 plots A and B, with a decline in March and remaining low in the dry and rainy season, while in
181 plot C shoot production peaked primarily in the dry season (Fig. 1, Table 2). Shoot production in
182 Plot A was significantly influenced by temperature and precipitation but not by season,
183 orientation of shoots according to the cardinal points, nor position of the tree in the orchard
184 (Table 3). In Plot B, by contrast, the season, the relative humidity and the cardinal orientation of
185 shoots significantly influenced shoot production (Table 3). In this Plot, the number of shoots/tree
186 during the “Nortes” (11.08 ± 1.77 ; Mean \pm SEM) was significantly different from the number of
187 shoots produced during the rainy (1.86 ± 0.32 shoots/tree; $Z = 8.03$, $P < 0.0001$) and the dry
188 seasons (3.13 ± 0.61 ; $Z = -6.87$, $P < 0.0001$) (Table 2). The cardinal point also was a predictor for

189 shoot production in this plot: the number of shoots produced in the eastern side of the tree (0.237
190 ± 0.09 , transformed data) was greater than the production of shoots in the west ($0.015 \pm$
191 0.08) and south (0.026 ± 0.08) but it did not differ from the production of shoots in the northern
192 part of the trees (0.066 ± 0.08). In Plot C, both the season and the temperature affected
193 significantly the number of shoots produced per tree (Table 3), and there were significant
194 differences among the three climatic seasons (Table 2).

195

196 **3.2. *Diaphorina citri* life stages fluctuation on shoots (egg and nymphs)**

197 **3.2.1. Eggs and new shoot production**

198 Egg abundance on shoots varied considerably between sampling dates, seasons and even among
199 collected shoots. Numbers recorded were as high as 76 eggs/shoot, but on most occasions shoots
200 were not infested (94%, $n = 1360$). When considering total abundance of eggs per sampling
201 dates, conspicuous peaks (Plot B and C) to slight increases (Plot A) could be observed in each
202 climatic season in all plots (Fig. 2). Along the cold front season, around mid-February, egg
203 population peaks were observed particularly in Plots B and C and slightly in Plot A, all three
204 experienced later a decline in March through April. Number of eggs increased again in the dry
205 season, at the beginning of May and experienced another decline during the end of May and early
206 June. Another peak was observed in the rainy season but corresponded only to Plot A, the
207 number of shoots observed in the other plots remained low throughout this season (Fig. 2). The
208 abundance of eggs was not correlated to shoot availability in none of the plots.

209

210 **3.2.2. Nymphs**

211 Abundance of early instars (I-III) of nymphs of *D. citri* was highest in the cold front season in
212 Plot B, and declined during the dry and rainy season. On Plots A and C numbers of early

213 nymphal instars remained relatively low during the study period. In the case of late instars (IV–
214 V), few were observed and no consistent seasonal fluctuation pattern was observed between the
215 studied plots (Fig. 2).

216

217 **3.3. Percent infested shoots**

218 Infestation in studied plots varied, with Plot B registering the highest percentage in the cold front
219 season (Table 3). In Plot A infestation remained relatively similar along the three seasons, with
220 values ranging between 9-10% infested shoots. Similar to that observed in Plot B, the infestation
221 in Plot C was highest in the cold front season in comparison to the dry and rainy season (Table
222 3).

223

224 **3.4. Factors influencing abundance of *D. citri* on shoots**

225 In all plots, significant factors affecting *D. citri* abundance (eggs, nymphs and adults) on Persian
226 lime shoots included season and temperature (Table 4). In general, *D. citri* abundance was
227 relatively low in the three plots surveyed and particularly so in Plot A that was located near a
228 forest remnant, but the analysis revealed significant differences among the three seasons in this
229 plot (Table 2). Plot B had the highest abundances of *D. citri* on shoots along the sampling period.
230 In this plot, the number of *D. citri* per shoot during the cold front (“Nortes”) was significantly
231 higher than that observed in the rainy and the dry season (Table 2). Additionally, in this plot, *D.*
232 *citri* abundance was significantly affected by relative humidity and the position of the tree in the
233 plot (in the edge or within the plot) (Table 4). Shoots from trees located in the edge of the orchard
234 showed more individuals of *D. citri* per shoot (4.96 ± 0.84 , mean \pm SEM) than those within the
235 orchard (2.38 ± 0.48 *D. citri*/shoot). In Plot C were season was an influencing factor, *D. citri*
236 abundance in shoots was found to be higher on average, during the “Nortes” than the dry and the

237 rainy season, however abundance was very variable and differences between the “Nortes” and the
238 rainy season were not significant (Table 2).

239

240 **3.5. Adult seasonal population fluctuation (sticky traps)**

241 The abundance of *D. citri* adults was relatively low in all studied plots throughout the survey
242 (Fig. 3). The lowest abundance of adults captured with traps was recorded in Plot A, located near
243 a forest remnant (only 10 individuals captured along the sampling period). Because of this, the
244 influence of factors that may drive *D. citri* adult abundance could not be analyzed for Plot A.

245 Population peaks in Plot B were observed during the cold front season, particularly during
246 February and March (Fig. 3), while during the dry and rainy seasons, the number of individuals
247 captured decreased significantly. “Season” was a significant factor affecting abundance of *D.*
248 *citri* adults on traps of this plot ($\chi^2 = 17.48$, d.f. = 2, $P = 0.0001$); the mean number of adults per
249 trap captured along “Nortes” (1.57 ± 0.28) was significantly different from those captured during
250 the rainy season (0.25 ± 0.07 adults/trap, $Z = 4.18$, $P < 0.0001$) or the dry season (0.125 ± 0.06 ,
251 $Z = -5.15$, $P < 0.0001$). Plots C and A, on the contrary, did not exhibit marked peaks, and the
252 abundance of *D. citri* in these plots remained quite low and constant during the course of the
253 study. In general more males than females were captured on sticky traps, this was more
254 conspicuous in plots B and C (Fig. 4). “Sex” was a significant factor upon adults captured on
255 sticky traps in both plots (Plot B: $\chi^2 = 4.07$, d.f. = 1, $P = 0.04$; Plot C: $\chi^2 = 8.11$, d.f. = 1, $P =$
256 0.004), with 0.42 ± 0.08 males/trap vs 0.23 ± 0.05 females/trap in Plot B, and 0.36 ± 0.07
257 males/trap vs 0.15 ± 0.04 females/trap in Plot C, on average.

258

259

260

261 **3.6. *Tamarixia radiata* and other natural enemies**

262 Although the exotic parasitoid *T. radiata* was released in Plot C three months before sampling,
263 no mummified or obviously parasitized nymphs were noticed on collected samples, and no
264 parasitoid emerged until June when parasitism was observed in a single fifth instar nymph from
265 which a female wasp emerged. Several insects were observed preying on *D. citri* in the field and
266 predation was later confirmed in the laboratory. The main assemblage of native natural enemies
267 in the orchards surveyed comprised species belonging to the orders Neuroptera and Coleoptera.
268 Neuropterans collected were mostly in the larval stage and when fully developed, were identified
269 as *Ceraeochrysa* sp. Some neuropterans were only identified to family level due to parasitism by
270 species of Eupelmidae, Perilampidae and Eulophidae wasps, and in some other cases
271 identification was limited by the condition of the specimens on sticky traps. In addition, adults of
272 two species of coleopterans were observed preying on *D. citri*: *Cycloneda sanguinea* L. and
273 *Chilocorus* sp. (Table 5). Diverse spiders were also observed in plots, but only individuals of the
274 genus *Lyssomanes* fed on *D. citri* nymphs in the laboratory. Furthermore, three adults of *D. citri*
275 with entomopathogenic fungi growth were found, but only *Isaria* sp., was successfully isolated in
276 artificial medium and identified. In general plot B harbored the highest richness of natural
277 enemies, most found during the cold front season. The most abundant natural enemy of *D. citri*
278 was *Ceraeochrysa* sp. which, in addition, was found in all plots surveyed. A number of ants were
279 also observed in the study sites, mainly foraging on branches or on shoots infested with aphids
280 and in some cases shoots with aphids and nymphs of *D. citri*. Predation of *D. citri* by ants was
281 not observed. Species present on tagged trees included: *Camponotus rectangularis* Emery
282 (Formicinae), *Dolichoderus bispinosus* (Olivier), *D. lutosus* (Smith), *Dorymyrmex insanus*
283 (Buckley), *Forelius pruinosus* (Roger) (Dolichoderinae), *Pseudomyrmex gracilis* (Fabricius)

284 (Pseudomyrmecinae), *Crematogaster limata* Smith, *Cr. torosa* Mayr, *Monomorium ebeninum*
285 Forel, *Pheidole gouldi* Forel and *Solenopsis geminata* (Fabricius), (Myrmicinae).

286

287 **4. Discussion**

288 Knowledge of the way invasive species interact with local fauna and flora is essential to its
289 management. In this study we determined seasonal fluctuation of *D. citri* in orchards of Persian
290 lime in Quintana Roo and documented natural enemies attacking this insect pest. Abundance of
291 *D. citri* was relatively low in the studied area, but all developmental stages of the pest were
292 present all year long. The latter could be link to the ability of Persian lime of producing new
293 shoots on a constant basis (Jasso-Argumedo et al., 2011; Lozano Contreras and Jasso-Argumedo,
294 2012), this represented a permanent resource for ACP females which require unexpanded leaves
295 to oviposit and for nymphs to feed (Hall et al., 2008). The production of new shoots in the
296 present study even though constant, was nonetheless affected by factors such as seasonality
297 (Plots A, B), along with temperature (Plots A, C), precipitation (Plot A), humidity and cardinal
298 point in which the shoot was collected (Plot B). It is known that in Persian lime, irrigation,
299 nutrition, and pruning of trees influence in great measure new shoot production (Jasso-Argumedo
300 et al., 2011; Lozano Contreras and Jasso-Argumedo, 2012), pruning in this case was not included
301 in the analysis, and could not be accounted as an influencing factor on new shoot production
302 fluctuation in the studied plots. Nevertheless, drastic reduction of new shoots coincided with
303 dates in which pruning was performed and in some instances an increase in production of shoots
304 was observed after pruning, which could be the result of the stimulation of vegetative growth
305 (Padrón-Chávez and Rocha-Peña, 2007). The effect of climatic conditions along with pruning
306 likely explains the variations in shoot production in the plots surveyed.

307 Likewise, the population fluctuation of *D. citri* varied between plots, hence no consistent
308 pattern for the studied area was detected. Abundance of *D. citri* was not correlated with new
309 shoot availability in none of the plots, differing from Tsai et al. (2002) and Qureshi et al. (2009).
310 Although no significant correlation was determined, population peaks of eggs and early stage
311 nymphs coincided with peaks of shoot production during the cold front season for plot B, and
312 when pruning caused rapid decline of shoots in March and April, *D. citri* numbers also drooped.
313 During the other seasons, a similar pattern between *D. citri* abundance and shoot availability was
314 not observed, which could explain why the overall analysis indicated no correlation. The
315 behavior observed during the cold front season could be the result of the weather conditions,
316 especially temperature which was indeed found to be an influencing factor for *D. citri* population
317 in that plot. During this season temperatures oscillated between 27°C–31°C, and optimum
318 temperatures for *D. citri* population growth range from 25°C–28°C (Liu and Tsai, 2000).
319 According to Liu and Liu (1989), when weather conditions are suitable, the only restricting factor
320 for egg laying is the presence or absence of sequential flush growth. During the dry and rainy
321 seasons temperature oscillated between 31°C–34°C, and Liu and Tsai (2000) documented that *D.*
322 *citri* does not develop in extreme temperatures (33°C). In these two seasons therefore,
323 temperature could have played a major role, in comparison to availability of shoots, in the low
324 abundance of *D. citri* recorded. In plot B, apart from temperature, relative humidity and the
325 position of the selected trees also affected *D. citri* abundance. In the latter case, a higher
326 incidence of *D. citri* was recorded on trees located at the border of the plot; this could indicate the
327 migration of *D. citri* from bordering citrus plantations. Frequent movement by adult *D. citri*
328 between adjacent groves has already been demonstrated (Boina et al., 2009).

329 In plot A an increase in shoot production was also observed in the cold front season, but
330 this did not trigger *D. citri* abundance as it was expected, but it is worth noting that *D. citri*

331 abundance in this plot was extremely low. In the case of plot B, an increase in new shoot could
332 attract individuals of ACP from bordering citrus plots, whereas in plot A the forest separated it
333 from neighboring citrus plantations possibly preventing this. The likelihood of the forest acting as
334 a barrier could be sustained through two observations: (i) sticky traps placed in the forest
335 revealed null presence of *D. citri* along the study period and (ii) an increase in numbers of *D.*
336 *citri* in Plot A was observed in May, when part of the remnant of forest was removed; trees in
337 which the increase was documented were the ones near to the portion of forest removed. Adults
338 of *D. citri* are poor flyers and dependent on wind (Ke, 1991), as a result areas free of vegetation
339 may represent an easy path for *D. citri* passive dispersion. In addition, Plot A contained other
340 species of citrus that could represent more suitable hosts for *D. citri*, however the presence of the
341 psyllid was not assessed on them. In plot C when shoot production peaked in the dry season, *D.*
342 *citri* did not suffer a very marked increase in abundance. Temperature in this plot was found to be
343 a strong influencing factor which could have limited *D. citri* abundance in spite of a high number
344 of shoots available for oviposition.

345 The abundance of adults recorded on sticky traps was in general very low, a marked peak
346 was only observed in plot B in the cold front season, coinciding with abundance registered on
347 shoots for that season. Similar to that determined with data collected on shoots, the season was
348 found to be an influencing factor of adult population fluctuation. Data from traps revealed a
349 higher proportion of males in respect to females, differing from Nava et al. (2007), Hall et al.
350 (2008) and Pérez-Artiles et al. (2011); this was especially conspicuous in Plots B and C. In the
351 present study, sex was found to significantly influence frequency captures. Higher capture of
352 males could be the result of an increase of male activity in search for sunny areas (Aubert and
353 Quilici, 1988), while the reduced flight activity of females could be related to oviposition (Hall et
354 al., 2008). In some sampling dates the lower number of females captured effectively coincided

355 with an increase in new shoot availability, but in some instances the females were captured more
356 frequently when shoots were in low numbers, this could probably be related to an increase in
357 female flight activity in search for shoots to oviposit.

358 The assemblage of natural enemies found included species already reported in the
359 literature, with exception of the spider belonging to the genus *Lyssomanes* and the unidentified
360 mantis (Mantidae). The assassin bug *Zelus renardii* Kolenati was not observed in the study sites,
361 although it has been reported in southern Mexico (Chiapas; Barrera et al., 2010). Other insect
362 species found foraging on trees such as ants were not observed preying on *D. citri*, but one ant
363 species (*P. gracilis*) previously recorded as ACP predator (Michaud, 2004) was present. Most
364 ants were found in shoots infested with aphids, and in some cases in shoots with *D. citri*, but a
365 mutualistic relationship could not be determined. It is known though, that ants may interfere with
366 the activity of natural enemies of *D. citri*, such as its primary parasitoid *T. radiata* (Navarrete et
367 al., 2013), which was detected only once in this study. Intra-guild predation may explain the
368 nearly absent of *T. radiata* in Plot C where this biological control agent was released 3 months
369 before sampling. The genus *Ceraeochrysa* was found in all plots and in addition, was the most
370 abundant natural enemy of *D. citri*. This genus has been used in augmentative biological control,
371 and is resistant to a wide range of insecticides (Albuquerque et al., 2001). The genus has been
372 proposed as a biological control agent in the northern parts of Mexico (Cortez-Mondaca et al.,
373 2011), however, in the present study this chrysopid was found to be attacked by species of three
374 families of hymenopteran parasitoids in plots located in the municipality of José María Morelos.
375 As a consequence, the latter should be taken into consideration in case the use of this insect is
376 proposed for Quintana Roo. In general, the abundance of natural enemies in all plots was low, but
377 also was the abundance of the pest, therefore this represents less food resource.

378

379 **5. Conclusions**

380 Citrus is an economically important commodity in Mexico. Citrus areas in the southern part of
381 Mexico, mostly hold by small owners, can benefit from improved knowledge of the seasonal
382 fluctuation of ACP and of natural enemies that may attack ACP and various other citrus pest
383 species thereby providing important natural biological control services. In the present study,
384 although each plot showed different patterns in both shoot production and abundance of *D. citri*,
385 some general conclusions could be drawn. The cold front season in southern Quintana Roo can
386 offer adequate conditions for *D. citri* population growth when new shoots are available, added to
387 the presence of new sources of *D. citri* (neighboring citrus plantations). Population outbreak of
388 *D. citri* in such cases can therefore be managed during this season. Natural enemies encountered
389 were few, but this does not indicate poor richness and abundance in southern Quintana Roo. It is
390 recommended to continue with studies related to local fauna that contribute to ACP mortality,
391 especially those that are more abundant and observed interacting with the pest, for example ants,
392 in order to determine possible relationship that could promote or hinder ACP management.

393

394 **Acknowledgements**

395 We thank cooperating landowners in Quintana Roo for unlimited access to their citrus plots, J
396 Valle-Mora for statistical assistance, Marco A. Venegas for assistance in the field, and Jean-Paul
397 Lachaud for ant identification and both support and assistance in the field. This study was
398 supported by scholarship grant no. 288622 from the Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología to
399 VVC.

400

401

402

403 **References**

- 404 Albuquerque, G.S., Tauber, C.A., Tauber, M.J., 2001. *Chrysoperla externa* and *Ceraeochrysa*
405 spp.: Potential for biological control in the New World tropics and subtropics, in:
406 McEwen, P.K., New, T.R., Whittington, A.E. (Eds.), *Lacewings in the Crop Environment*.
407 Cambridge University Press, Cambridge, pp. 408–423.
- 408 Aubert, B., 1990. Integrated activities for the control of huanglungbin-greening and its vector
409 *Diaphorina citri* Kuwayama in Asia, in: Aubert, B., Tontyaporn, S., Buangsuwon, D.
410 (Eds.), *Proceedings of the 4th International Asia Pacific Conference on Citrus*
411 *rehabilitaiton*. Chiang Mai, Thailand, 4-10th Feburary, FAO-UNDP, pp. 133-144.
- 412 Aubert, B., Quilici, S., 1984. Biological Control of the African and Asian Citrus Psyllids
413 (Homoptera: Psylloidea), through eulophid and encyrtid parasites (Hymenoptera:
414 Chalcidoidea) in Reunion Island, in: Garnsey, S.M., Timmer, L.W., Dodds, J.A., (Eds.),
415 9th Conference of the International Organization of Citrus Virologists. 412 IOCV.
416 Argentina: University of California, Riverside, pp. 100–108.
- 417 Aubert, B., Quilici, S., 1988. Monitoring adult psyllas on yellow traps in Reunion Island, in:
418 Timmer, L.W., Garnsey, S.M., Navarro, L. (Eds.), *Proceedings of the 10th Conference of*
419 *the International Organization of Citrus Virologists IOCV*. Spain: University of
420 California, Riverside, pp. 249–254.
- 421 Barrera, J. F., Gómez-Ruiz, J., Herrera-Muñoz, J., 2010. Biología y método de cría de *Zelus*
422 *renardii* (Hemiptera: Reduviidae), enemigo natural de *Diaphorina citri* (Hemiptera:
423 Psyllidae), in: 1^{er} Simposio Nacional sobre investigación para el manejo del Psílido
424 Asiático de los Críticos y el Huanglongbing en México. Monterrey, N.L., Mexico, pp.
425 277–291.

426 Beattie, G.A.C., Holford, P., Mabblerley D.J., Haigh, A.M., Broadbent, P., 2008. On the origins of
427 Citrus, Huanglongbing, *Diaphorina citri* and *Trioza erytreae*, in: Gottwald T.R., Graham
428 J.M. (Eds.), Proceedings of the International Research Conference on Huanglongbing.
429 Plant Management Network, Orlando, FL, USA, pp. 23–56.

430 Belasque Jr., J., Bassanezi, R.B., Yamamoto, P.T., Ayres, A.J., Tachibana, A., Violante, A.R.,
431 Tank, A, Jr., Di Giorgi, F., Tersi, F.E.A., Menezes, G.M., Dragone, J., Jank, R.H.Jr.,
432 Bové, J.M., 2010. Lessons from Huanglongbing Management in São Paulo State, Brazil.
433 J. Plant Pathol. 92, 285–302.

434 Boina, D.R., Meyer, W.L., Onagbola, E.O., Stelinski, L.L., 2009. Quantifying dispersal of
435 *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae) by immunomarking and potential impact of
436 unmanaged groves on commercial citrus management. Environ. Entomol. 38, 1250–1258.

437 Bové, J.M., 2006. Huanglongbing: a destructive, newly-emerging, century-old disease of Citrus.
438 J. Plant Pathol. 88, 7–37.

439 Chien, C.C., Chu Y.I., 1996. Biological control of citrus psyllid, *Diaphorina citri* in Taiwan, in:
440 Biological Pest Control in Systems of Integrated Pest Management, October 1993. Food
441 and Fertilizer Technology Center for the Asian and Pacific Region, Taipei, Taiwan. pp.
442 93–105.

443 Coronado-Blanco, M.J., Ruiz-Cancino, E., Myartseva, S.N. Gaona-Garcia, G., 2003. *Tamarixia*
444 *sp.* (Hymenoptera: Eulophidae), parasitoide del psílido asiático de los cítricos en
445 Tamaulipas, México, in: Memorias del XXVI Congreso Nacional de Control Biológico.
446 Sociedad Mexicana de Control Biológico. Guadalajara, Jalisco, México, pp. 71–73

447 Cortez-Mondaca, E., López-Arroyo, J.I., Rodríguez-Ruíz, L., Partida-Valenzuela, M.P., Pérez-
448 Márquez, J., González- Calderón, V.M., 2011. Capacidad de depredadores de especies de
449 Chrysopidae asociadas a *Diaphorina citri* Kuwayama en los cítricos de Sinaloa, México,

450 in: López Arroyo, J.I., González Lauck, V.W. (Comp.), Memoria del 2° Simposio
451 Nacional sobre investigación para el manejo del Psílido Asiático de los cítricos y el
452 Huanglongbing en México. Montecillo, Edo. de Mexico, México, pp.323–333.

453 Cortez-Mondaca, E., Lugo-Angulo, N.E., Pérez-Márquez, J., Apodaca-Sánchez, M.Á., 2010.
454 Primer reporte de enemigos naturales y parasitismo sobre *Diaphorina citri* Kuwayama en
455 Sinaloa, Mexico. Southwest. Entomol. 35, 113–116.

456 Étienne, J., Quilici, S., Marival, D., Franck, A., 2001. Biological control of *Diaphorina citri*
457 (Hemiptera: Psyllidae) in Guadeloupe by imported *Tamarixia radiata* (Hymenoptera:
458 Eulophidae). Fruits 56, 307–315.

459 FAOSTAT, 2014. Food and Agricultural commodities production/456 Countries by commodity.
460 [online] Available at: <<http://faostat3.fao.org/browse/rankings/E>> [Accessed 26 Oct.
461 2014].

462 Galwey, N.W., 2006. Introduction to Mixed Modelling: Beyond Regression and Analysis Of
463 Variance, Wiley, Chichester, England.

464 García, E., 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köeppen, Instituto de
465 Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, Mexico.

466 García de Miranda, E. 1986. Apuntes de climatología. Universidad Nacional Autónoma de
467 México, Mexico.

468 González-Hernández, A., Arredondo-Bernal, H.C., Robles-González, M., Martínez- Carrillo, J.L.,
469 Pérez, J., López-Arroyo, J.I., 2009. Determinación de especies de parasitoides del psílido
470 asiático de los cítricos *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae) en México. Entomología
471 Mexicana 8, 373–377.

472 Gottwald, T.R., 2010. Current epidemiological understanding of citrus Huanglongbing. Annu.
473 Rev. Phytopathol. 48, 119–39.

- 474 Grafton-Cardwell, E.E., Stelinski, L.L., Stansly, P.A., 2013. Biology and management of Asian
475 citrus psyllid, vector of the Huanglongbing pathogens. *Annu. Rev. Entomol.* 58, 413–342.
- 476 Guizar-Guzman, L. and Sanchez-Peña, S.R., 2013. Infection by *Entomophthora sensu stricto*
477 (*Entomophthoromycota: Entomophthorales*) in *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae) in
478 Veracruz, Mexico. *Fla. Entomol.* 96, 624–627.
- 479 Halbert, S.E., Manjunath, K.L., 2004. Asian citrus psyllids (Sternorrhyncha: Psyllidae) and
480 greening disease of citrus: a literature review and assessment of risk in Florida. *Fla.*
481 *Entomol.* 87, 330–353.
- 482 Halbert, S.E., Nuñez, C.A., 2004. Distribution of the Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri*
483 Kuwayama (Rhynchota: Psyllidae) in the Caribbean Basin. *Fla. Entomol.* 87, 401–402.
- 484 Hall, D.G., Hentz, M.G., Adair, R.C., 2008. Population ecology and phenology of *Diaphorina*
485 *citri* (Hemiptera: Psyllidae) in two Florida citrus groves. *Environ. Entomol.* 37, 914–924.
- 486 Hall, D.G., Wenninger, E.J., Hentz, M.G., 2011. Temperature studies with the Asian citrus
487 psyllid, *Diaphorina citri*: cold hardiness and temperature thresholds for oviposition. *J.*
488 *Insect Sci.* 11, 1–15.
- 489 Hoy, M.A., Nguyen, R., 2001. Classical biological control of Asian citrus psylla. *Citrus Industry*
490 81, 48–50.
- 491 Jasso-Argumedo, J., Lozano-Contreras, M., Barroso-Aké, H.J., Morales-Koyoc, D., Guillén-
492 Solís, H., Chan-May, Y., Magaña-Martínez, L., 2011. Fluctuación poblacional de *D. citri*
493 Kuyawama (Hemiptera: Psyllidae) en Limón persa *Citrus latifolia* Tan. en la etapa de
494 desarrollo, in: López Arroyo, J.I., González Lauck, V.W. (Comp.), Memoria del 2°
495 Simposio Nacional sobre investigación para el manejo del Psílido Asiático de los cítricos
496 y el Huanglongbing en México. Montecillo, Edo. de México, México, pp. 203–209.

497 Ke, C., 1991. The present status of citrus huanglunbin and its control in China, in: Ke, C.,
498 Shamsudin, B.O. (Eds.), Rehabilitation of citrus industry in the Asia Pacific Region.
499 Proceedings of the 6th International Asia Pacific Workshop on Integrated Citrus Health
500 Management, Kuala Lumpur, Malaysia, 24–30 June 1991. Rome: UNDP-FA, pp. 10–14.

501 Liebhold, A.M., Tobin, P.C., 2008. Population ecology of insect invasions and their management.
502 Annu. Rev. Entomol. 53, 387–408.

503 Liu J., Liu, X., 1989. Investigations on overwintering of citrus psylla (*Diaphorina citri*
504 Kuwayama) in Guangzhou, Guangdong. China Citrus 18, 42–43 (in Chinese).

505 Liu, Y.H., Tsai, J.H., 2000. Effects of temperature on biology and life table parameters of the
506 Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri* Kuwayama (Homoptera: Psyllidae). Ann. Appl.
507 Biol. 137, 201–206.

508 López-Arroyo, J.I., Peña, M.A., Rocha Peña, M.A., Loera, J., 2005. Ocurrencia en México del
509 psílido asiático *Diaphorina citri* (Homoptera: Psyllidae), in: Memorias del VII Congreso
510 Internacional de Fitopatología. Chihuahua, Chih., México, p.C68.

511 Lozano Contreras, M.G., Argumedo, J., 2012. Identificación de enemigos naturales de
512 *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Psyllidae) en el Estado de Yucatán, México.
513 Fitosanidad 16, 5–11.

514 Meyer, J.M., Hoy, M.A., Boucias, D.G., 2008. Isolation and characterization of an *Isaria*
515 *fumosorosea* isolate infecting the Asian citrus psyllid in Florida. J. Invertebr. Pathol. 99,
516 96–102.

517 Michaud, J.P., 2001. Numerical response of *Olla v-nigrum* (Coleoptera: Coccinellidae) to
518 infestations of Asian citrus psyllid (Hemiptera: Psyllidae) in Florida. Fla. Entomol. 84,
519 608–612.

520 Michaud, J. P., 2004. Natural mortality of Asian citrus psyllid (Homoptera: Psyllidae) in central
521 Florida. Biol. Control. 29, 260–269.

522 NAPPO, 2009. Detection of Huanglongbing (Candidatus Liberibacter asiaticus) in the
523 municipality of Tizimin, Yucatan, Mexico, Available at:
524 <http://www.pestalert.org/oprDetail.cfm?oprID=384>.

525 Nava, D.E., Torres, M.L.G., Rodrigues, M.D.L., Bento, J.M.S., Parra, J.R.P., 2007. Biology of
526 *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae) on different hosts and at different temperatures. J.
527 Appl. Entomol. 131, 709–715.

528 Navarrete, B., Mcauslane, H., Deyrup, M., Peña, J.E., 2013. Ants (Hymenoptera: Formicidae)
529 associated with *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae) and their role in its biological
530 control. Fla. Entomol. 96, 590–597.

531 Ortega-Arenas, L.D., Villegas-Monter, Á., Ramirez-Reyes, A.J., Mendoza-Garcia, E.E., 2013.
532 Abundancia estacional de *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae) en plantaciones de
533 cítricos en Cazonos, Veracruz, México. Acta Zool. Mexicana 29, 317–333.

534 Padrón-Chávez, J.E., Rocha-Peña, M.A., 2007. La poda de los cítricos. INIFAP. CIRNE. Campo
535 Experimental General Terán. General Terán, N.L., México. Folleto Técnico No. 7. pp. 46.

536 Pérez-Artiles, L., González-Fernández, C., Hernández-Espinosa, D., Rodríguez-Tapia, J. L.,
537 Fernández-Argudin., M., 2011. Ciclo de vida de *Diaphorina citri* Kuw. (Hemiptera:
538 Psyllidae) en *Citrus aurantifolia* L. y *Murraya paniculata* (L.) Jack en condiciones de
539 laboratorio. Citri frut 2, 12–18.

540 Qureshi, J.A., Rogers, M.E., Hall, D.G., Stansly, P.A., 2009. Incidence of invasive *Diaphorina*
541 *citri* (Hemiptera: Psyllidae) and its introduced parasitoid *Tamarixia radiata*
542 (Hymenoptera: Eulophidae) in Florida citrus. J. Econ. Entomol. 102, 247–256.

543 Qureshi, J.A., Stansly, P.A., 2007. Integrated approaches for managing the Asian citrus psyllid
544 *Diaphorina citri* (Homoptera: Psyllidae) in Florida. Proc. Fla. State Hort. Soc. 120, 110–
545 115.

546 R Core Team, 2013. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for
547 Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.

548 Reyes-Rosas, M. A., López-Arroyo, J. I., Buck, M., Loera-Gallardo, J., 2011. First report of a
549 predaceous wasp attacking nymphs of *Diaphorina citri* (Hemiptera : Psyllidae), vector of
550 HLB. Fla. Entomol. 94, 1075–1077.

551 Sánchez-González, J.A., Sánchez-Borja, M., Arredondo-548 Bernal, H.C., 2011. Mass rearing,
552 release and field evaluation of *Tamarixia radiata* (Hymenoptera: Eulophidae), in: López
553 Arroyo, J.I., González Lauck, V.W. (Comp.), Memoria del 2º Simposio Nacional sobre
554 investigación para el manejo del psílido asiático de los cítricos y el huanglongbing en
555 México. Montecillo, Edo. de México, México, pp. 203–209.

556 SENASICA, 2014. Acciones contra el Huanglongbing y su vector en México, Informe No. 7.
557 Available at: <http://www.senasica.gob.mx/?doc=26771>.

558 SIAP, 2014. Cierre de la producción agrícola por estado. Available at:
559 <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado/>.

560 Stansly, P.A., Arevalo, H.A., Qureshi, J.A., Jones, M.M., Hendricks, K., Roberts, P.D., Roka,
561 F.M., 2014. Vector control and foliar nutrition to maintain economic sustainability of
562 bearing citrus in Florida groves affected by Huanglongbing. Pest Manag. Sci. 70, 415–26.

563 Tena, A., Hoddle, C.D., Hoddle, M.S., 2013. Competition between honeydew producers in an
564 ant–hemipteran interaction may enhance biological control of an invasive pest. Bull.
565 Entomol. Res. 103, 714–723.

566 Thomas, D.B., De León, J.H., 2011. Is the Old World fig *Ficus carica* L. (Moraceae), an
567 alternative host for the Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri* (Kuwayama) (Homoptera:
568 Psyllidae)? Fla. Entomol. 94, 1081–1083.

569 Tiwari, S., Mann, R.S., Rogers, M.E., Stelinski, L.L., 2011. Insecticide resistance in field
570 populations of Asian citrus psyllid in Florida. Pest Manag. Sci. 67, 1258–68.

571 Tsai, J.H., Wang, J., Liu, Y.H., 2002. Seasonal abundance of the Asian citrus psyllid, *Diaphorina*
572 *citri* (Homoptera: Psyllidae) in southern Florida. Fla. Entomol. 85, 446–451

573 Westbrook, C.J., Hall, D.G., Stover, E., Duan, Y.P., Lee, R. F., 2011. Colonization of citrus and
574 citrus-related germplasm by *Diaphorina citri* (Hemiptera; Psyllidae). Hort. Science. 46,
575 997–1005.

576 Wyckhuys, K.A.G., Lu, Y., Morales, H., Vazquez, L.L., Legaspi, J., Eliopoulos, P.A.,
577 Hernández, L.M., 2013. Current status and potential of conservation biological control for
578 agriculture in the developing world. Biol. Control. 65, 152–167.

579 Xu, C.F., Xia, Y.H., Li, K.B., Ke, C., 1988. Further study of the transmission of citrus
580 huanglungbin by a psyllid, *Diaphorina citri* Kuwayama, in: Timmer, L.W., Garnsey,
581 S.M., Navarro, L. (Eds.), Proc. 10th Conference of the International Organization of
582 Citrus Virologists. IOCV. Riverside, pp. 243–248.

583
584
585
586
587
588
589

590 FIGURE CAPTIONS

591

592 Figure 1. New shoot production fluctuation in Persian lime in three orchards in southern
593 Quintana Roo, Mexico.

594

595 Figure 2. Seasonal fluctuation by life stages of *D. citri* in Persian lime in three orchards in
596 southern Quintana Roo, Mexico.

597

598 Figure 3. Seasonal population fluctuation of adult *D. citri* captured with yellow sticky traps per
599 sampling date in three orchards in southern Quintana Roo, Mexico.

600

601 Figure 4. Seasonal fluctuation of *D. citri* adults captured on sticky traps in three orchards of
602 Persian lime in southern Quintana Roo. Females: black bars; males: grey bars.

603

604

605

606

607

608

609

610

611

612

613

614 TABLE CAPTIONS

615

616 Table 1. Locality, latitude and longitude for plots surveyed in orchards of Persian lime in
617 southern Quintana Roo, Mexico.

618

619 Table 2. Overall infestation of *Diaphorina citri* in three groves of Persian lime in southern
620 Quintana Roo, Mexico in 2014.

621

622 Table 3. Main effects GLMM model for shoot abundance in three plots of Persian lime in
623 southern Quintana Roo, Mexico. Deviance analysis.

624

625 Table 4. Main effects GLMM model for abundance of *D. citri* on citrus shoots in three plots in
626 southern Quintana Roo, Mexico. Deviance analysis.

627

628 Table 5. Natural enemies of *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae) in three orchards of Persian
629 lime in southern Quintana Roo, Mexico.

630

631 Table 6. Seasonal abundance of natural enemies of *D. citri* in three orchards of Persian lime in
632 southern Quintana Roo, Mexico. Data from manual captures and sticky traps.

Table 1. Locality, latitude and longitude for plots surveyed in orchards of Persian lime in southern Quintana Roo, Mexico.

Site	Geographical coordinate	Locality	Size (ha)	Type	Landscape characteristics and Management
A	19° 47.799 N, 88° 46.140 W	Santa Gertrudis, José Ma. Morelos Municipality	0.5	Polyculture (Persian lime, mandarine (<i>Citrus reticulata</i>), orange (<i>Citrus sinensis</i>) and Mexican lime (<i>Citrus aurantifolia</i>)).	Adjacent to a remnant of forest, which bordered the south and east of the plot. Part of the forest was removed in April, May, burnt in June, and then converted to a corn plantation in July. Pruning was carried out in March and July.
B	19° 47.827 N, 88° 45.992 W	Santa Gertrudis, José Ma. Morelos Municipality	1	Persian lime interspersed with Avocado	In the center of a citrus growing area, with grasses delimiting the orchard. Pruning was made in march.
C	18° 36.546 N, 88° 26.936 W	Xul-Ha, Othón P. Blanco Municipality	10	Monoculture (Persian Lime)	Surrounded by a remnant of forest. <i>Tamarixia radiata</i> was released 3 months before sampling and a considerable pruning of tree canopy was made in April.

Table 2. Overall infestation of *Diaphorina citri* in three groves of Persian lime in Quintana Roo, Mexico in 2014.

Study sites	Season	Shoot production		Incidence of <i>Diaphorina citri</i>			
		n	Mean \pm SEM	n	(%)	<i>D. citri</i> (eggs, nymphs and adults)/shoot	
						n	Mean \pm SEM
Plot A	“Nortes”	40	7.85 \pm 1.54	160	10	160	0.49 \pm 0.18 a
	Dry	40	4.60 \pm 0.90	160	10	160	0.65 \pm 0.25 b
	Rainy	40	3.18 \pm 1.05	160	9	160	0.75 \pm 0.39 c
Plot B	“Nortes”	40	11.08 \pm 1.77 a	160	59	160	8.59 \pm 1.14 a
	Dry	40	3.13 \pm 0.61 b	160	9	160	1.09 \pm 0.53 b
	Rainy	40	1.86 \pm 0.32 b	160	9	160	1.33 \pm 0.58 b
Plot C	“Nortes”	20	4.30 \pm 0.77 a	80	21	80	2.65 \pm 1.26 a
	Dry	40	7.70 \pm 1.34 b	160	19	160	1.49 \pm 0.44 a
	Rainy	40	1.48 \pm 0.35 c	160	9	160	1.46 \pm 0.69 b

Different letters in a given column mean significant differences in a given plot, orthogonal contrasts, $P < 0.001$.

Table 3. Main effects GLMM model for shoot abundance in three plots in Quintana Roo.

Deviance analysis.

Factor	Plot A			Plot B			Plot C		
	χ^2	d.f.	Significance §	χ^2	d.f.	Significance §	χ^2	d.f.	Significance§
Season	3.65	2	n.s	67.26	2	***	27.65	2	***
Cardinal point	0.44	3	n.s	14.34	3	**	1.20	3	n.s
Tree position	0.58	1	n.s	0.002	1	n.s	0.39	1	n.s
Temperature	5.72	1	*	0.86	1	n.s	57.36	1	***
Relative Humidity	-	-	-	12.37	1	***	0.14	1	n.s
Precipitation	39.97	1	***	-	-	-	-	-	-

§ ***: $P < 0.001$; **: $P < 0.01$; *: $P < 0.05$; n.s. = non significant

Table 4. Main effects GLMM model for abundance of *D. citri* on citrus shoots in three plots in Quintana Roo, Mexico. Deviance analysis.

Factor	Plot A			Plot B			Plot C		
	χ^2	d.f.	Significance §	χ^2	d.f.	Significance §	χ^2	d.f.	Significance §
Season	12.76	2	**	136.01	2	***	46.31	2	***
Cardinal point	1.64	3	n.s	1.64	3	n.s	1.26	3	n.s
Tree position	1.23	1	n.s	5.20	1	*	2.78	1	n.s
Temperature	8.71	1	**	7.51	1	**	14.40	1	***
Relative Humidity	-	-	-	9.31	1	**	3.80	1	n.s
Precipitation	3.17	1	n.s	-	-	-	-	-	-

§ ***: $P < 0.001$; **: $P < 0.01$; *: $P < 0.05$; n.s. = non significant

Table 5. Natural enemies of *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae) in three orchards of Persian lime in southern Quintana Roo, México.

Type of enemy	Order: Family	Genus-Species	Plot A	Plot B	Plot C
	*Neuroptera:	---	*x	*x	x
	Chrysopidae				
Predator	Neuroptera:	<i>Ceraeochrysa</i>	x	x	x
	Chrysopidae	sp.			
	Coleoptera:	<i>Cycloneda</i>		x	
	Coccinellidae	<i>sanguinea</i>			
		<i>Chilocorus</i> sp.			x
	Mantodea:	---		x	
	Mantidae				
	Araneae:	<i>Lyssomanes</i> sp.	x	x	
	Salticidae				
Parasitoid	Hymenoptera:	<i>Tamarxia</i>			x
	Eulophidae	<i>radiata</i>			
Pathogen	Hypocreales:	<i>Isaria</i> sp.		x	
	Clavicipitaceae				

*Suffered Parasitism

Table 6. Seasonal Abundance of natural enemies of *D. citri* in Persian lime in southern Quintana Roo, Mexico. Data from manual captures and sticky traps.

	Plot A			Plot B			Plot C		
	Cold	Dry	Rainny	Cold	Dry	Rainny	Cold	Dry	Rainny
	front			front			front		
<i>Chrysopidae</i>	-	2	2	-	5	2	1	5	2
<i>Ceraeochrysa</i> sp.	3	4	4	2	9	5	13	9	17
<i>Cycloneda sanguinea</i>	-	-	-	1	-	-	-	-	-
<i>Chilocorus</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	1	-
Mantidae	-	-	-	1	-	-	-	-	-
<i>Lyssomanes</i> sp	-	-	1	-	-	1	-	-	-
<i>Tamarixia radiata</i>	-	-	-	-	-	-	-	1	-
<i>Isaria</i> sp.	-	-	-	1	-	-	-	-	-

Figure 1

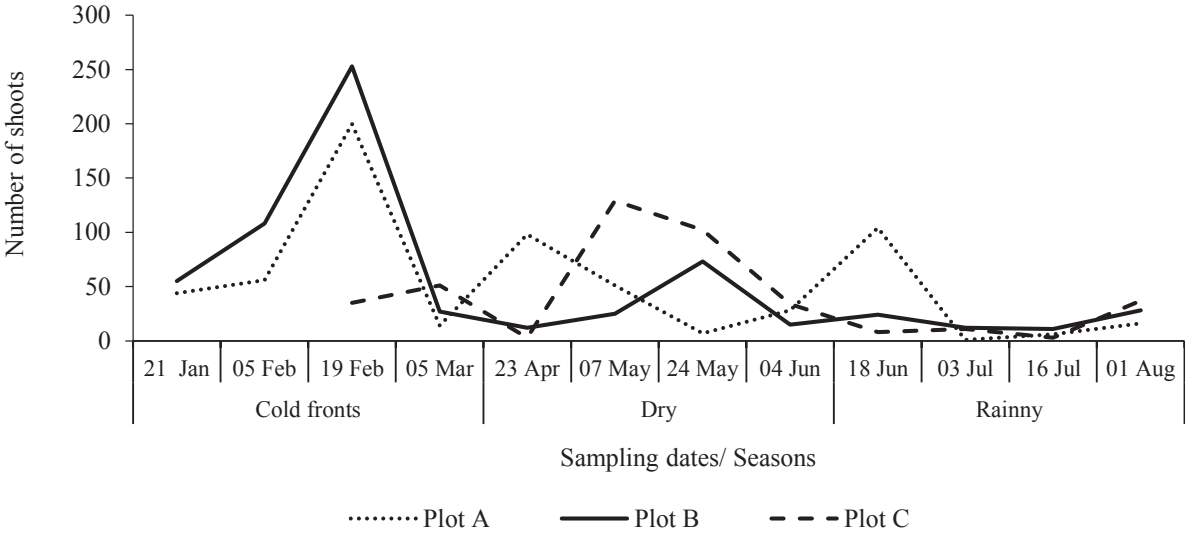


Figure 2

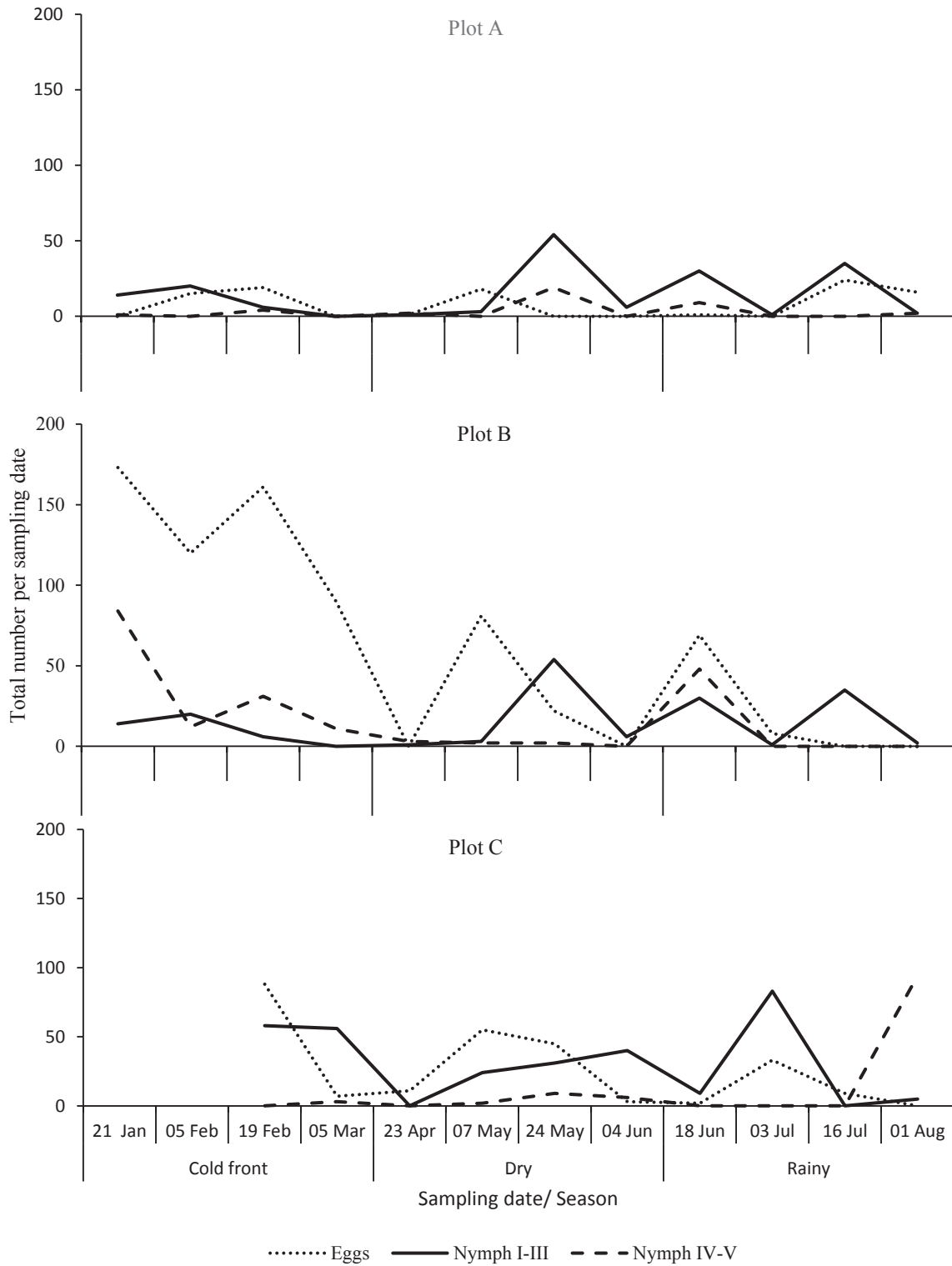


Figure 3

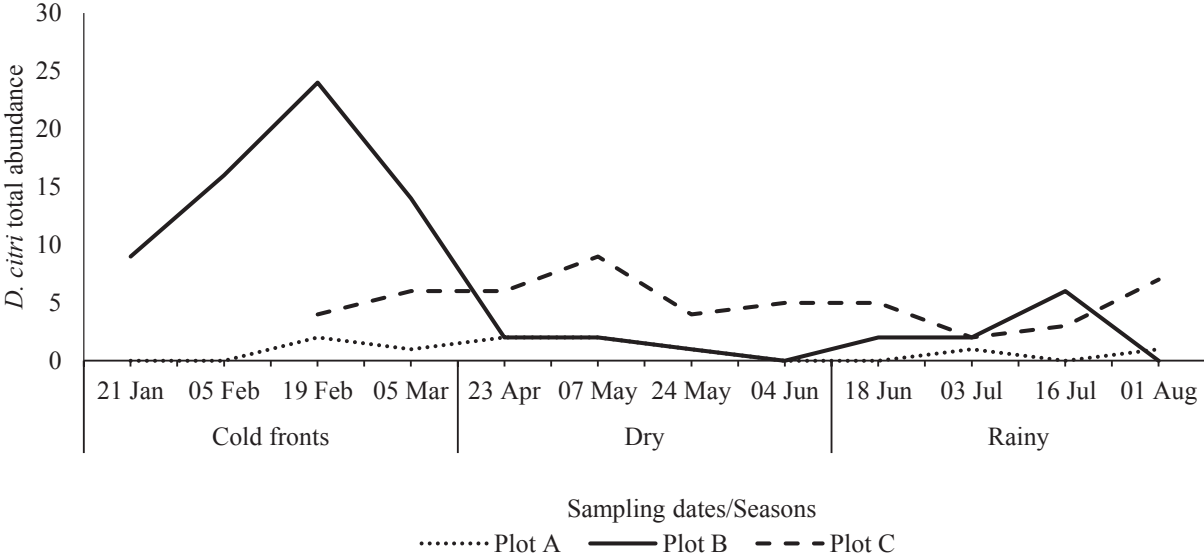


Figure 4

