

Universidad Nacional de La Plata
Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales

Carrera de Magister Scientiae en Protección Vegetal

**Dinámica de población de la
chicharrita de los cítricos, *Diaphorina
citri* Kuwayama (Sternorrhyncha:
Psyllidae) en el nordeste de la
Provincia de Entre Ríos**



Alumno: Juan Pedro R. Bouvet

Director: Gerardo Liljestrom

INTRODUCCIÓN

Los psílidos o chicharritas constituyen un pequeño grupo de hemípteros esternorrincos, de hábito fitófago y con un alto grado de especificidad de hospederos. En comparación con los pulgones, los psílidos son de relativamente escasa importancia económica. Pocos son los casos de ataques a cultivos en zonas templadas y subtropicales, sin embargo hay algunas especies que son consideradas como plagas primarias, existiendo algunos casos registrados en cultivos de cítricos, de peras y de manzanas, donde generalmente su ciclo de vida está sincronizado con el de su hospedero (Burckhardt, 1994a; Burckhardt, 1994b).

Con respecto a los cultivos de cítricos, existen en el mundo 14 especies de psílidos asociadas a los mismos : *Mesohomotoma lutheri* (Enderlein 1918), *Psylla citrícola* Yang & Li 1984, *Psylla citrisuga* Yang & Li 1984, *Psylla murrayi* Mathur 1975, *Trioza citroimpura* Yang & Li 1984, *Trioza erytreae* (del Guercio 1918) y *Trioza litseae* Bordage 1898, *Diaphorina citri* Kuwayama 1908, *Diaphorina amoena* Capener 1970, *Diaphorina auberti* Hollis 1987, *Diaphorina communis* Mather 1975, *Diaphorina murrayi* Kandasamy 1986, *Diaphorina punctulata* (Petty 1924) y *Diaphorina zebrana* Capener 1970. Sólo *Trioza erytreae* y *Diaphorina citri* son de importancia económica por ser vectores de las bacterias que producen la enfermedad de Huanglongbing (HLB) (Halbert & Manjunath, 2004).

Trioza erytreae está restringida al continente Africano, mientras que *D. citri* cuyo primer registro se debe a Costa Lima en el año 1942, está ampliamente distribuida en el continente asiático y americano (Halbert y Nuñez 2004, Hall 2008). En la Argentina, *D. citri* fue

registrada por primera vez por Vaccaro (1994) en la Provincia de Entre Ríos, quien la menciona con el nombre de "Chicharrita de los cítricos", como la denominan los productores de la zona. En su artículo indica que en región se observa desde la década del 80', colectándose los primeros ejemplares en una quinta cítrica en el Departamento Federación. Este autor supone que *D. citri* ingresó al país con material cítrico procedente de Brasil o Uruguay. Actualmente está registrada en las provincias de Misiones, Corrientes, Entre Ríos, Santa Fe, Salta y Jujuy (INTA 2008).

Origen, descripción y ciclo vital de *D. citri*

D. citri fue descrita para los cítricos en Schinchiku, Taiwán en 1907, trabajo que fue publicado en un doble volumen en 1908 (Halbert & Manjunath, 2004). El origen geográfico natural es el sur de Asia, probablemente India (Mead, 1977; Halbert & Manjunath, 2004; Childers & Rogers, 2005). Tsai y Liu (2000) encontraron que el tamaño máximo promedio de las hembras es de 3,3 mm de largo y 1,0 mm de ancho y el de los machos es de 2,7 mm de largo y 0,8 mm de ancho. El cuerpo es de color castaño claro con manchas de color castaño oscuro, las alas son transparentes y sólo las anteriores tienen manchas marrones en la periferia (Mead, 1977; Hall, 2008). Este patrón de manchas junto a la forma de los conos genales permiten identificar a *D. citri* de las otras especies registradas en cítricos y plantas emparentadas (Halbert & Manjunath, 2004):

El ciclo vital de *D. citri* consta del estado de huevo, cinco estadios ninfales y el estado adulto (Fotos 1 y 2). En laboratorio se determinó que la proporción de sexos es 1:1. En condiciones de campo, sin embargo, puede registrarse una mayor proporción de machos o

hembras según la época del año (Aubert, 1987; Liu & Tsai, 2000; Halbert & Manjunath, 2004; Rogers & Stansly, 2006; Mead, 2007; Hall, 2008; Hall et al., 2008).



Foto 1: estadio de desarrollo de *Diaphorina citri*: huevo y estadios ninfales N1, N2, N3, N4 y N5



Foto 2: estadio de desarrollo de *Diaphorina citri*: adulto

Los huevos son alargados con el área basal ancha y aguzada hacia la parte distal. El tamaño medio es de 0,31 mm de longitud y 0,14 mm de ancho. Cuando están recién depositados, los huevos poseen un color amarillo claro y se tornan naranja brillante cuando están próximos a eclosionar (Tsai & Liu, 2000; Halbert & Manjunath, 2004; Childers & Rogers, 2005; Rogers & Stansly, 2006; Mead, 2007).

Las ninfas son aplanadas dorso-ventralmente y con patas cortas (Yamamoto *et al.*, 2001), y pasan por cinco estadíos (Burckhardt, 1994a). Presentan una coloración que usualmente va del amarillo al naranja, aunque en algunos individuos el abdomen es de un color verde azulado. En todos los estadíos los ojos compuestos son de color rojo (Tsai & Liu, 2000; Halbert & Manjunath, 2004; Childers & Rogers, 2005; Hall, 2008). El primer estadio posee un tamaño medio de 0,30 mm de largo y 0,17 de ancho y el cuerpo es de color rosa claro. El segundo estadio mide en promedio 0,45 mm de largo y 0,25 mm de ancho y ya se observan un par de esbozos alares en el tórax. El tercer estadio mide en promedio 0,74 mm de largo y 0,43 mm de ancho, los esbozos alares están bien desarrollados y la segmentación de la antena es visible. El tamaño medio del cuarto estadio es de 1,01 mm de largo y 0,70 mm de ancho; los esbozos alares están bien desarrollados, los esbozos mesotorácicos se extienden hacia el primer tercio de los ojos compuestos y los metatorácicos hasta el tercer segmento abdominal. El quinto estadio mide en promedio 1,60 mm de largo y 1,02 mm de ancho. Los esbozos mesotorácicos llegan hacia el frente de los ojos compuestos y los metatorácicos se extienden hasta el cuarto segmento abdominal (Tsai & Liu, 2000).

Importancia y daño

Tanto las ninfas como los adultos de *D. citri* se alimentan de la sabia de las plantas hospederas, para lo cual utilizan su aparato bucal picador (estilete) que penetra en los tejidos vegetales hasta los vasos floemáticos. Mientras se alimentan, inyectan fitotoxinas que producen considerables distorsiones en las hojas y brotes, provocando un enrollamiento y mellado en las mismas. El efecto de la alimentación de altas densidades de ninfas y/o adultos, reduce la elongación terminal de los brotes y en algunos casos produce la abscisión de sus hojas terminales, impidiendo el crecimiento normal de las plantas (Yamamoto *et al.*, 2001; Halbert & Manjunath, 2004; Michaud, 2004; Michaud & Olsen, 2004; Hall *et al.*, 2007). Por otro lado las ninfas producen grandes cantidades de excreciones azucaradas, que al depositarse en las hojas promueven el crecimiento de hongos negros (fumagina) que pueden limitar la capacidad fotosintética de la planta, con la consecuente reducción de la productividad (Mead, 1977; Yamamoto *et al.*, 2001; Halbert & Manjunath, 2004).

Estos tipos de daños no suelen ser frecuentes y por lo general *D. citri* se presenta endémicamente en bajas densidades, siendo considerada como una plaga secundaria en los cítricos (Vaccaro 1994, Halbert & Manjunath, 2004; Nava *et al.*, 2007). No obstante, en los países donde se registra la enfermedad de Huanglongbing (HLB) o "enfermedad del brote amarillo" la especie cobra gran importancia debido a que es el vector más eficiente de la bacteria que la provoca, por lo que es considerada como la plaga más destructiva y consecuentemente la más importante de todas las plagas de los cítricos (Mead, 1977; Vaccaro, 1994; Chen, 1998; Liu & Tsai, 2000, Tsai *et al.*, 2000; Yamamoto *et al.*, 2001; Tsai *et al.*, 2002; Ahmed *et al.*, 2004; Halbert & Manjunath, 2004; Michaud & Olsen, 2004; González *et al.*,

2005; Rogers, 2006; Hall *et al.*, 2007; Wenninger & Hall, 2007; Hall *et al.*, 2008; Sétamou *et al.*, 2008).

El HLB es la enfermedad más seria de los cultivos de cítricos a nivel mundial, provocando pérdidas en la producción y calidad de la fruta, además las plantas infestadas por esta enfermedad muestran una marcada reducción de la longevidad, ya que sólo viven unos pocos años (Vaccaro, 1994; Liu & Tsai, 2000; Tsai *et al.*, 2000; Tsai & Liu, 2000; Tsai *et al.*, 2002; Nakata, 2006; Rogers, 2006; Hall *et al.*, 2007; Wenninger & Hall, 2007; Sétamou *et al.*, 2008; Hall, 2009). El agente causal es la bacteria *Candidatus Liberobacter sp.*, que es Gram-negativa y está limitada al floema (Chen, 1998; Yamamoto *et al.*, 2001; Hall, 2008), obstruyendo los vasos de las plantas e impidiendo la circulación de la sabia elaborada por las hojas (Costa *et al.*, 2006). Los síntomas suelen aparecer en una sola rama del árbol afectado, en la que se observan los brotes amarillos a los que se refiere el nombre de la enfermedad. Las hojas presentan manchas cloróticas de bordes difusos o moteado difuso y posteriormente amarillean y caen. Las hojas nuevas son de menor tamaño, presentan jaspeado y a veces síntomas similares a deficiencias minerales (zinc y manganeso). Los brotes presentan necrosis progresiva desde el extremo apical. La floración también se ve afectada, ocurriendo a menudo fuera de estación y las flores son pequeñas y con frecuencia estériles, por lo que suelen caer. Los frutos de las ramas afectadas son pequeños, asimétricos y a veces muestran inversión de color, que se inicia en la zona peduncular (Vaccaro, 1994; Tsai & Liu, 2000; Bové *et al.*, 2006).

Tanto los adultos como los estadios ninfales cuarto y quinto de *D. citri* pueden transmitir el patógeno después de un período de latencia corto (de 1 a 25 días). Una vez adquirida la bacteria se multiplica en la

hemolinfa y glándulas salivales del vector (González *et al.*, 2005). La transmisión es a través de las secreciones salivales cuando el psílido se alimenta. Las ninfas son capaces de retener el patógeno cuando pasan al estado adulto y es posible que lo transmitan apenas emergidos (Halbert & Manjunath, 2004).

Aún cuando el HLB no se ha registrado al menos en el noreste de nuestro país, en Brasil se reportó en julio de 2004 y actualmente se lo encuentra en el estado de Paraná, a 200 km de la frontera con Argentina (Halbert & Manjunath, 2004). En los países donde está presente la enfermedad, el manejo de las poblaciones de *D. citri* es el principal medio por el cual los productores de cítricos intentan reducir la tasa de diseminación de la enfermedad (Rogers, 2006).

Hospederos

Para la Argentina *D. citri* tiene gran importancia potencial debido a la tradición citrícola del país, destacándose por su producción de limones, naranjas, mandarinas y pomelos. El clima benigno y la amplia distribución geográfica de los cultivos, permiten abastecer no sólo la demanda interna durante casi todo el año sino también las exportaciones en contra estación a los países del hemisferio norte. La superficie dedicada al cultivo de cítricos es de 147.000 ha, con una producción total que varía alrededor de las 3 millones de toneladas anuales. La principal producción le corresponde al limón con el 48 %, le sigue la naranja con el 29 %, luego la mandarina con el 15 % y el pomelo con el 8 %. Las provincias del Noroeste Argentino (NOA) producen el 64 % de la producción total y las del Noreste Argentino (NEA) el 36 % de la misma. Las principales provincias con citricultura comercial de Argentina, ordenadas de mayor a menor por importancia

en la producción, son: Tucumán, Entre Ríos, Salta, Corrientes, Jujuy, Misiones, Buenos Aires, Catamarca, Formosa, Chaco, Santa Fe, Santiago del Estero y la Rioja. Tucumán es la principal productora de limón, Entre Ríos de naranjas y mandarinas y Salta de pomelos (Zubrzycki, 2004).

Diaphorina citri tiene un restringido rango de hospederos sobre los cuales se alimenta y reproduce, que incluyen especies cítricas y otras de la familia Rutaceae (Tsai & Liu, 2000; Hall, 2008; Sétamou *et al.*, 2008). Si bien se conocen 58 especies de plantas hospederas, diferentes autores coinciden que *D. citri* presenta preferencias positivas hacia el mirto (*Murraya paniculata* (L.) Jack), mandarina (*Citrus reticulata* Blanco), naranja agria (*Citrus aurantium* L.) y naranja dulce (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck). No obstante, se la puede encontrar comúnmente en otras especies como: limón (*Citrus limon* (L.) Burm.), cidra (*Citrus medica* Linné), mandarina King (*Citrus nobilis* Loureiro), mandarina común (*Citrus deliciosa* Tenore), pomelo (*Citrus paradisi* Macfadyen) y lima (*Citrus aurantifolia* Swingle) (Aubert, 1987; Vaccaro, 1994; Fabiani *et al.*, 1996; Sétamou *et al.*, 2008).

Los factores climáticos son críticos para el desarrollo de las plantas. La temperatura del aire, junto con la HR y la radiación, son importantes en determinar la temperatura específica de las células, tejidos y órganos en relación con el tiempo o con su posición; el régimen térmico día-noche, en interacción con la duración del día, la temperatura de las raíces y otros factores ambientales, determinan los procesos del crecimiento. Probablemente la variable climática más importante en la determinación del desarrollo vegetativo es la temperatura (Agustí *et al.*, 2003).

La comprensión del efecto de la temperatura sobre el crecimiento y la productividad de las especies frutales es muy complejo, ya que

interviene en ¿casi? todos los procesos metabólicos y fisiológicos. El rango óptimo para el crecimiento de la mayoría de los frutales se ubica entre los 20° y 30°C. En los cítricos el rango de temperaturas óptimo para el crecimiento se encuentra entre los 23° y 34°C. Además, en los cítricos las bajas temperaturas del período invernal actúan como factor inductivo primario para la floración y la brotación (Sozzi, 2007). Con el descenso térmico en invierno, más o menos profundo, brotan uniformemente en primavera cuando se eleva la temperatura (Agustí *et al.*, 2003).

La humedad es otro factor importante en la producción, aunque en interacción con la temperatura. Igualmente, los cítricos se adaptan bastante bien a los diferentes valores de humedad atmosférica. En el caso de las necesidades hídricas estimadas según sus pérdidas por evapotranspiración, se establece entre los 9000 y los 12000 m³/ha año, lo que equivale a una pluviometría anual entre 900 y 1200 mm (Agustí *et al.*, 2003). Por otro lado, el fotoperíodo tiene poca influencia en las especies frutales tradicionales. Así los cítricos son considerados plantas de días neutros (Sozzi, 2007).

Biología de *Diaphorina citri*

Diaphorina citri es una especie polivoltina, llegando a tener alrededor de 10 generaciones por año en condiciones de campo y 16 en condiciones de laboratorio. El ciclo de vida dura entre 15 y 59 días dependiendo de las condiciones ambientales (Mead, 1977; Aubert, 1987; Chen, 1998; Halbert & Manjunath, 2004). En Taiwán el tiempo que necesita *D. citri* para completar el ciclo de vida en el campo varió entre 53 y 59 días en primavera (temperatura media de 19,6°C), entre 18 y 22 días en verano (T° media de 28°C) y entre 25 a 30 días en

otoño (T° media de 24°C) (Chen, 1998). En laboratorio la duración promedio del desarrollo desde huevo hasta adulto fue de 49,3 días a 15°C y de 14,1 días a 28°C (Tsai & Liu, 2000; Hall, 2008).

En el campo los adultos son frecuentemente encontrados descansando en la porción terminal de las ramas, especialmente debajo de las hojas. Cuando se alimentan introducen las piezas bucales en la hoja y elevan el abdomen formando un ángulo de 45° siendo esta una característica típica de la especie (Vaccaro, 1994; Halbert & Manjunath, 2004). Son insectos muy activos, saltando y volando cortas distancias cuando son molestados (Halbert & Manjunath, 2004; Hall, 2008; Kobori *et al.*, 2008). En lugares con clima templado no presentan diapausa y pasan como adultos el invierno alimentándose de las hojas maduras de las plantas hospederas cuando no hay disponible nuevas hojas, (Halbert & Manjunath, 2004; Michaud, 2004; González *et al.*, 2005; Qureshi *et al.*, 2009).

La longevidad promedio de los adultos es de 60 días (Tsai & Liu, 2000), siendo las hembras más longevas que los machos (Nava *et al.*, 2007). Hall (2008) observó que a 24°C los adultos machos viven entre 21 y 25 días y las hembras viven entre 31 y 32 días, siendo la longevidad máxima 117 días a 15°C .

El ciclo de desarrollo puede iniciarse en cualquier momento del año ya que basta con que las hembras dispongan de plantas hospederas en estado de brotación (Mead, 1977; Aubert, 1987; Burckhardt, 1994a; Chen, 1998; Childers & Rogers, 2005). Las hembras grávidas ponen huevos sólo en tejidos terminales de 2 cm de largo, incluyendo los pliegues de las hojas, pecíolos, yemas auxiliares, arriba y debajo de la superficie de las hojas jóvenes y tallos tiernos de las plantas hospederas. Así quedan protegidos de las inclemencias ambientales. En ausencia de sitios adecuados la oviposición se detiene. Durante el

período de oviposición, que dura entre 30 y 80 días, una hembra ovipone repetidamente llegando a un total acumulado de entre 200 y 800 huevos (Mead, 1977; Aubert, 1987; Burckhardt 1994b; Tsai & Liu, 2000; Halbert & Manjunath, 2004; Childers & Rogers, 2005; Rogers & Stansly, 2006; Hall, 2008; Sétamou *et al.*, 2008), aunque el máximo absoluto registrado fue de 1378 huevos (Tsai & Liu, 2000).

El período de incubación de los huevos a 25°C es de 2-4 días (Tsai & Liu, 2000; Michaud & Olsen, 2004; Childers & Rogers, 2005; Hall, 2008). Nava *et al.* (2007) analizó el posible efecto en la duración del desarrollo embrionario de los huevos de *D. citri* de tres hospederos (limón rangpur, mandarina sunki y mirto) y no encontró diferencias significativas, (el valor promedio general fue de 3,6 días).

Existen varios trabajos que intentaron determinar el umbral inferior del desarrollo del huevo de *D. citri* y la temperatura efectiva acumulada, que muestran ligeras discrepancias. Algunos autores determinaron que la temperatura umbral y los requerimientos térmicos son 13,6°C y 46,93 días/grados, respectivamente (Halbert & Manjunath, 2004; Nakata, 2006; Mead, 2007), otros investigadores encontraron que los valores son 12°C y 52,6 grados/días (Nava *et al.*, 2007), y Yang (1989) determinó que el umbral térmico inferiro fue de 9,18°C.

Luego de la emergencia, las ninfas se mantienen en los brotes y son difíciles de ver por su forma aplanada y por tender a rodear al brote del que se alimentan (Halbert & Manjunath, 2004). Las ninfas del primero y el del segundo estadio se mantienen agregadas y se alimentan dentro de los pliegues de las hojas, ramas terminales y entre las yemas y los tallos tiernos. Tienen poca movilidad y sólo se mueven ante un disturbio o hacinamiento (Tsai & Liu, 2000; Michaud & Olsen, 2004; Childers & Rogers, 2005; Hall, 2008). Las ninfas continuamente

excretan una copiosa cantidad de secreción azucarada como hilos desde su ano junto con una sustancia cerosa de las glándulas perianales, que en condiciones de baja humedad son más evidentes (Tsai & Liu, 2000; Halbert & Manjunath, 2004; Hall, 2008). En gran número, las ninfas al alimentarse de los brotes terminales pueden producir abundante cantidad de excrementos azucarados que evidencian una relación mutualista con ciertas hormigas: éstas se alimentan de las sustancias azucaradas y como contraparte cuidan las colonias de ninfas de los enemigos naturales (Childers & Rogers, 2005).

La duración de los estadios ninfales a 25°C es de 13-14 días (Tsai & Liu, 2000; Nava *et al.*, 2007; Hall, 2008). Nava *et al.* (2007) observaron un efecto del hospedador sobre la velocidad de desarrollo ninfal: fue de 14 días en el limón rangpur, 14,1 días en la murta y 13,5 en la mandarina sunki. Además encontraron que en promedio la duración de los 5 estadios fue de 2,46; 2,14; 2,17; 2,73 y 5,05 días cada uno.

Las temperaturas mayores a 32°C son desfavorables para este estadio del insecto. La temperatura mínima umbral para el desarrollo de las ninfas fue de 13,9°C y los requerimientos térmicos fue de 156,9 grados/días (Nava *et al.*, 2007), la cual difiere de la observada por Nakata (2006) que encontró que el desarrollo cero y la temperatura efectiva acumulada para las ninfas fue de 11,6°C y 197,3 grados/días, respectivamente. En cambio Yang (1989) observó que el desarrollo cero de los estadios ninfales es de 10,4°C.

Los patrones de la emergencia de los machos y hembras son notablemente similares, sin evidencia de protandria o protoginia. Ambos sexos alcanzan la madurez reproductiva a los 2-3 días después de la eclosión. La oviposición por lo general empieza 1 día después del

apareamiento y a temperaturas menores a 16°C y mayores a 32°C dejan de reproducirse. El apareamiento es observado casi exclusivamente sobre los brotes de nuevas hojas durante las horas de luz del día, sin tener un pico obvio en la actividad diaria del apareamiento (Vaccaro, 1994; Halbert & Manjunath, 2004; Mead, 2007; Wenninger & Hall, 2007; Hall, 2008).

El rango de temperatura óptimo para el crecimiento poblacional de *D. citri* es entre 24-28°C (Liu & Tsai, 2000, Fung y Chen 2006, Hall, 2008, Hall et al., 2008). Siendo la temperatura efectiva acumulada de 250 grados/días (Halbert & Manjunath, 2004; Nakata, 2006; Nava et al., 2007).

Dinámica poblacional

Los adultos de *D. citri* son encontrados todo el año sobre árboles de cítricos o de otras plantas hospederas (Burckhardt, 1994b; Yamamoto, 2006). Las fluctuaciones poblacionales están íntimamente relacionadas con el ritmo, cantidad y calidad nutricional de brotaciones porque los huevos son colocados exclusivamente en los brotes (Burckhardt, 1994b; Tsai et al., 2000; Hall, 2008; Hall et al., 2008). Hall et al. (2008) y Qureshi et al. (2009) encontraron correlaciones significativas entre el número medio de huevos, ninfas y adultos de *D. citri* por brote y el porcentaje de brotes infestados, lo que indicaría que la disponibilidad de brotes puede ser un factor limitante en las poblaciones de los psílicos. Esto resulta en picos poblacionales que coinciden con los períodos de crecimiento vegetativo y brotación de los cítricos durante primavera y verano, pero pueden ocurrir en cualquier momento del año dependiendo de las condiciones ambientales y de la

disponibilidad de brotes jóvenes (Mead, 1977; Tsai *et al.*, 2002; Ahmed *et al.*, 2004; Costa *et al.*, 2006; Hall, 2006; Yamamoto, 2006; Hall, 2008; Hall *et al.*, 2008; Tsagkarakis & Rogers, 2008).

En Puerto Rico (Isabela, Corozál y Gurabo) todos los estadíos de *D. citri* se encontraron presentes a través del año, siempre que existiera pequeñas brotaciones. Sin embargo, las poblaciones de psílicos mostraron un incremento junto con las mayores densidades de brotes durante la primavera (Pluke *et al.*, 2008). En India, Burckhardt (1994b) observó que las poblaciones de *D. citri* son bajas en la estación seca y altas a principio de la estación lluviosa cuando se concentra las brotaciones. A diferencia de Regmi y Lama (1988) que en Pokhara observaron que la población de *D. citri* alcanza su máxima abundancia antes de los vientos monsonicos, y durante la temporada seca y muy caliente.

En general, las diferencias entre las poblaciones de los psílicos de las distintas localidades se relacionaron con los patrones y la abundancia de brotación estacional que varían en los cítricos según la región, variedad, edad y salud de los árboles (Hall & Albrigo, 2007; Sétamou *et al.*, 2008; Qureshi *et al.*, 2009), que a su vez están influenciados por el clima, la edad de la planta, las variedades y las prácticas culturales (Hall & Albrigo, 2007; Qureshi *et al.*, 2009).

En los cítricos, la mayor producción de follaje ocurre durante la primavera y en menor medida durante el verano (Pluke *et al.*, 2008). Dentro del árbol, en el lado sur de la copa, la brotación es más vigorosa y compacta, a diferencia del lado norte. Esto puede deberse a la diferente dirección y exposición de intensidad de luz del sol, (Sétamou *et al.*, 2008). Así mismo Costa *et al.* (2006) observaron un efecto significativo de posición de la población de los psílicos en las plantas adultas de cítricos, con una mayor concentración de ninfas en el lado

suroeste de las plantas y en los tercios superiores. En cambio en las plantaciones nuevas este autor no observó este efecto. Por su parte Sétamou *et al.* (2008), observaron que en pomelo, las ninfas fueron más abundantes en los brotes del cuadrante sureste, pero no se encontraron diferencias significativas para el número medio de psílicos adultos por brote entre los cuatro cuadrantes (González *et al.*, 2005, Sétamou *et al.*, 2008). Los mismos investigadores, en otras variedades cítricas no encontraron diferencias significativas en la densidad media de población del psílido entre los cuatro cuadrantes, lo que coincide con las observaciones realizadas por Fernández y Miranda (2005) en Cuba, donde la población de *D. citri* mostró preferencia por las ramas jóvenes no así por punto cardinal, ni por la ubicación en las ramas.

Respecto al patrón de dispersión, los huevos y las ninfas se encuentran agregados, en cambio el patrón de los adultos es aleatorio (Sétamou *et al.*, 2008). Esto puede deberse a que los huevos y las ninfas se ubican preferentemente en los brotes y hojas jóvenes, mientras que los adultos, a pesar de ubicarse en este tipo de hoja un mayor porcentaje de tiempo, no difirieron estadísticamente de los hallados en hojas maduras (Fernández & Miranda, 2005). Por lo general son las hembras las que se ubican en los brotes jóvenes, por su fuerte actividad de oviposición (González *et al.*, 2005).

Wang *et al.* (1996) aplicaron el índice de Grado Relativo de Agregación (RDA) para medir el número de adultos en el campo, el cual es mayor durante los períodos de brotación cuando los adultos se agrupan en los nuevos brotes a oviponer. Pero el índice RDA más alto se obtiene cuando existe emergencia de adultos, después baja cuando los adultos se dispersan.

Por otro lado, Tsai *et al.* (2000) no detectaron cambios de distribución densidad en las poblaciones de *D. citri*.

Efecto de los factores ambientales

Viento

La dispersión de *D. citri* dentro de una quinta suele ser bastante baja. En un lote plantado con 60 plantas nuevas, los psílidos tardaron dos meses en dispersarse a todo el lote (Chen, 1998). Muchos individuos no se movían largas distancias a menos que fueran forzados a desplazarse por una perturbación. Generalmente la dirección del movimiento fue siguiendo la dirección del viento (Kobori et al., 2008).

Radiación

Observaciones realizadas por Sétamou et al. (2008) sugieren que la actividad de vuelo y el comportamiento de selección de hospederos de los adultos está regulado por la luz y el ritmo circadiano, encontrando que el número de adultos de *D. citri* capturados en las trampas amarillas pegajosas fue de 3 a 4 veces más alto durante el día que la noche. Hall (2008) coincide con estas observaciones añadiendo que la cópula, la oviposición y otras actividades, tales como la alimentación, también están restringidas a las horas de luz.

Humedad y precipitaciones

El efecto de la humedad relativa (HR) sobre la supervivencia no es muy claro ya que existen discrepancias entre distintos autores. Según Hall (2008) la supervivencia se ve favorecida por el incremento de la HR, aunque tiene efectos negativos cuando es muy baja o alta, observándose que la producción de huevos es menor a HR menores de 40%. Halbert y Manjunath (2004) afirman que las poblaciones de *D. citri* no son tolerantes a humedades cerca del punto de saturación, ya que promueven la proliferación de hongos, a los cuales son muy susceptibles los estadios ninfales, sin embargo, la alta humedad

presente en Florida (EEUU) no afecta a las altas poblaciones que se encuentran en verano en algunos establecimientos citrícolas. Por otro lado, McFarly y Hoy (2001) encontraron alta supervivencia de adultos de *D. citri* a baja HR (entre 7 y 33%).

Aunque es difícil evaluar la influencia de la lluvia sobre la supervivencia de los estadios inmaduros del psílido, observaciones realizadas antes y después de una lluvia, sugieren que pocas ninfas fueron desprendidas (Nakata, 2006; Hall, 2008). Hall *et al.* (2008) tampoco encontraron correlaciones entre la lluvia y el número medio de huevos, ninfas y adultos. En cambio Regmi y Lama (1988) encontraron que si bien las lluvias fuertes pueden eliminar los huevos y las ninfas, las poblaciones de adultos decrecen aunque éstos pueden protegerse debajo de las hojas.

Temperatura

La temperatura juega un rol muy importante en las tasas de desarrollo, supervivencia, reproducción y longevidad de *D. citri* (Liu & Tsai, 2000, Hamada 2005, Costa *et al.* 2006). Las temperaturas altas y bajas son perjudiciales a las poblaciones: temperaturas menores a 10 °C y mayores a 33 °C no permiten que completen el desarrollo (Yang, 1989; Tsai *et al.*, 2002; Nakata, 2006; Nava *et al.*, 2007; Hall, 2008). En concordancia, Liu y Tsai (2000) encontraron que temperaturas mayores a 28 °C causan un significativo decaimiento en la tasa de desarrollo y supervivencia de los estadios ninfales. Por otro lado, bajas temperaturas afectan negativamente la fecundidad y el número promedio de huevos ovipuestos por hembra (Liu & Tsai, 2000). En cambio la longevidad media de las hembras se incrementa con la disminución de la temperatura (Liu & Tsai, 2000; Halbert & Manjunath, 2004; Mead, 2007).

El rango de temperatura más favorable en el campo es de 22-29°C. Con temperaturas menores a 20°C las poblaciones declinan significativamente (Chen, 1998). Si bien los adultos de *D. citri* pueden sobrevivir por debajo de los 0°C. (Nakata, 2006), temperaturas de -3,3°C causan un 94 a 96% de mortalidad (Hall, 2008). La temperatura letal para las ninfas es de -3°C por 1 hora y para los adultos -10°C (Chen, 1998).

Estudios realizados por Ashihara (2004), indican que dentro de las condiciones de Kuchinotsu con temperaturas medias de -3,3°C, sólo el 4% de la población sobrevivió en murta y el 6% en mandarina. En Florida, donde ocasionalmente suceden temperaturas bajo cero (descienden hasta -6,5°C), Hall (2008) llevó a cabo un estudio con adultos de *D. citri* mantenidos en cajas ubicadas a la intemperie durante el invierno y observó que pueden aclimatarse el frío y que los individuos que sobrevivieron pueden seguir reproduciéndose. Pero las poblaciones se redujeron enormemente, concluyendo que probablemente son tolerantes al frío sólo por un relativamente corto período de tiempo.

Existen diversos estudios a campo que encuentran que la temperatura del aire, tanto la mínima como la máxima, se correlaciona positivamente con la densidad de adultos, ninfas y huevos de *D. citri* (Ahmed *et al.*, 2004; Hall, 2008; Hall *et al.*, 2008).

Liu y Tsai (2000) encontraron que la tasa de incremento (r_m) es un buen indicador del efecto de la temperatura más favorable sobre el crecimiento poblacional, ya que refleja un efecto global de la temperatura en el desarrollo, la supervivencia y las características reproductivas de la población. Estos autores determinaron que las

poblaciones criadas entre 25°C y 28°C tienen una alta tasa de incremento debido a la alta tasa de desarrollo, alta supervivencia de los estadios inmaduros y alta fecundidad. En cambio, las poblaciones criadas entre 15°C y 20°C tienen menor tasa de incremento, esta reducción puede deberse a la extensión en el tiempo de desarrollo de los estadios inmaduros y a un largo período reproductivo, extendiendo el tiempo generacional (Liu & Tsai, 2000).

Control Biológico

Los enemigos naturales se consideran que juegan un papel importante en la regulación de las fluctuaciones poblacionales de las plagas en el campo (Tsai *et al.*, 2002). La actividad del complejo de enemigos naturales afecta a todos los estadios de desarrollo de la población de *D. citri*, de forma tal que los depredadores generalistas no específicos limitan fundamentalmente los huevos y los estadios ninfales N1 y N2, los parasitoides a los estadios ninfales N3, N4 y N5, y los hongos entomopatógenos afectan tanto a ninfas como a los adultos (Halbert & Manjunath, 2004; González *et al.*, 2005).

Dentro de los predadores generalistas registrados en Florida se reporta un gran número de artrópodos que se alimentan de ninfas de *D. citri* desarrollándose exitosamente. Entre ellos están incluidos las crisopas *Ceraeochrysa* sp. y *Chrysoperla rufilabris* Burmeister (Neuroptera: Chrysopidae), la araña *Hibana velox* (Becker) (Araneae) y sírfidos del género *Allograpta* (Diptera: Syrphidae), también varias especies de vaquitas (Coleoptera: Coccinellidae): especies del género *Scymnus*, *Curinus coerulens* Mulsant, *Exochomus childreni* Mulsant, *Harmonia axyridis* Pallas, *Olla v-nigrum* Mulsant, *Cycloneda sanguinea* Linnaeus, y *Coelophora inaequalis* (Fabricius) (Halbert & Manjunath,

2004; Michaud, 2004; INTA, 2008). Estos autores consideran que los predadores afectan de manera significativa la población de ninfas, siendo un factor de mortalidad clave. En China se mencionan los coccinélidos *Cheilomenes quadriplagiata* Swartz, *Coeleophora biplagiata* Swartz, *Leis axyridis* Pallas, *Synharmonia octomaculata* (Fabricius) y los crisópidos *Chrysopa boninensis* Okamoto y *Chrysopa septempunctata* Wesmael (Aubert, 1987). En Taiwán se encuentran *Chrysopa boninensis* Okamoto y el coccinélido *Menochilus sexmaculatus* Fabricius (Chen, 1998). En Cuba se citan como más frecuentes los coccinélidos *Cycloneda sanguinea* (L.), *Chilocorus cacti* (Linnaeus) y *Exochomus cubensis* Dimn. y *Scymnus distinctus* Casey, crisópidos como *Chrysopa* sp. y el sírfido *Ocyptamus* sp. (González *et al.*, 2005). En Brasil dentro de los predadores están los coccinélidos: *Cycloneda sanguinea* L., *Hippodamia convergens* Guérin-Ménéville y *Harmonia axyridis* P., las dos últimas introducidas para control de otras plagas. También moscas sírfidas, *Pseudodorus clavatus* (Fabricius) y *Toxomerus dispar* Fabricius, además de varias especies de crisópidos (Gravena, 2006). En la Provincia de Corrientes en Argentina se han registrado predadores coccinélidos como: *Olla v-nigrum* Mulsant, *Cycloneda sanguinea* (L.), y *Eriopes connexa* (Germar), una especie de sírfido, *Pseudodorus clavatus* (Fabricius) y dos especies de crisópidos: *Chrysopodes lineafrons* Adams y Penny y *Leucochrysa gemina* Navás que pueden atacar a *D. citri* (INTA, 2008).

Los hongos entomopatógenos pueden ser un factor de mortalidad muy importante de *D. citri*. La mortalidad de las ninfas puede alcanzar entre 60-70% en lugares donde la humedad relativa diaria excede el 87,9% (Halbert & Manjunath, 2004). Entre las especies registradas en Florida se pueden mencionar a *Hirsutella citriformis* Speare, *Cladosporium* sp. nr. *Oxysporum* Berk. y Curtis y *Capnodium citri* Mont.

(Aubert, 1987, Halbert & Manjunath, 2004). En Cuba se encuentra *Hirsutella citriformis* Speare (González, 2003), en Brasil se menciona a *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin (Gravena 2006) y en Indonesia y Japón a *Paecilomyces fumosoroseus*. En ninguno de los casos se citan el control de *D. citri* mediante pulverizaciones con estos hongos entomopatógenos (INTA, 2008).

Entre los parasitoides registrados, en 1999 fueron importados a Florida dos especies, *Tamarixia radiata* (Waterston) (Hymenoptera: Eulophidae) que es un ectoparásito proveniente de Taiwán y Vietnam y *Diaphorencyrtus aligarhensis* (Shafee, Alam y Agarwal) (Hymenoptera: Encyrtidae) endoparásito proveniente de Taiwán. Ambos parasitoides fueron liberados en Florida, pero aparentemente sólo *T. radiata* se estableció (Mead, 1977; McFarly & Hoy, 2001; Halbert & Manjunath, 2004).

Tamarixia radiata tiene la ventaja de producir dos generaciones por cada generación del psílido, ya que se desarrolla en 9 días a 25 °C, y en 8,5 días a 30°C (INTA, 2008). Vive entre 12 y 24 días y prefieren oviponer en los estadios ninfales tardíos (N3, N4 y N5), pero presenta una preferencia por el estadio N5 de su hospedero (McFarly & Hoy, 2001; González *et al.*, 2005; Gómez Torres *et al.*, 2006). Una hembra de *T. radiata* puede colocar hasta 300 huevos a una razón de un huevo por ninfa de *D. citri* a 25-30°C, el cual es depositado entre el tórax y el abdomen de la ninfa. La larva se alimenta de ella hasta matarla (Pluke *et al.*, 2008; INTA, 2008). Además del parasitismo de ninfas de *D. citri*, las hembras de *T. radiata* matan otras por medio de picaduras alimenticias (Michaud, 2004). Combinando estos comportamientos, alimentación y ovoposición, una hembra puede destruir 500 ninfas en toda su vida (Qureshi *et al.*, 2009).

Si bien *T. radiata* fue introducido y se estableció en Florida, hasta el presente el efecto sobre las poblaciones de psílicos fue escaso, ya que la mortalidad registrada en el campo fue de alrededor del 1% (Halbert & Manjunath, 2004; Rogers, 2006). Además es poco abundante en la época del año en que la población de la plaga aumenta a una tasa rápida (Rogers, 2006; Hall *et al.*, 2008). Durante un estudio realizado en Florida por Tsai *et al.* (2002) se encontró un bajísimo porcentaje de parasitismo, y sólo unos pocos ejemplares de coccinélidos predadores en las plantas, por lo cual se concluyó que los enemigos naturales no son un factor importante que afecte a las poblaciones del psílido.

Contrariamente a los autores mencionados más arriba, Pluke *et al.* (2008) postulan que la incapacidad de las poblaciones del psílido de continuar aumentando en respuesta al incremento de los brotes sugiere que *T. radiata* puede jugar un papel importante en la limitación de *D. citri*. El parasitoide estuvo presente todo el año menos en noviembre, cuando las poblaciones del psílido bajaron (Pluke *et al.*, 2008). De manera coincidente, otras introducciones exitosas se mencionan en las Isla Reunión (Etienne & Aubert, 1980) con 60-70% de parasitismo, en la Isla Mauricio (Quilici, 1986) y en Taiwán (Chiu & Chien, 1989). En Brasil se programó la introducción de *T. radiata* desde Florida pero se observó la ocurrencia natural del parasitoide en octubre de 2004. En este país el parasitismo natural varió entre 27,5 a 80% (Halbert & Manjunath, 2004; Gómez Torres *et al.*, 2006; INTA, 2008). También en la Argentina este parasitoide fue registrado sin haber mediado una introducción intencional y programada: en febrero de 2005 fue encontrado en la EEA del INTA Concordia parasitando ninfas de *D. citri*. Posteriormente fue localizada en quintas cítricas de la zona de Mocoretá, Corrientes (Vaccaro & Bouvet, 2005).

En muchos casos, el control químico que se realiza en plantaciones de cítricos para el control de plagas principales (moscas de la fruta, cochinillas, moscas blancas, etc.), afecta también negativamente a los enemigos naturales (Halbert & Manjunath, 2004). Por lo cual, aunque los esfuerzos por erradicar *D. citri* con enemigos naturales no sean efectivos, el control biológico clásico podría contribuir a controlar sus poblaciones (McFarland & Hoy, 2001).

Cuando se aborda el estudio de la dinámica de una población, deben considerarse previamente varias características biológicas y ecológicas para lograr una mejor comprensión acerca de los cambios que se producen en la densidad a través del tiempo (Fernández & Miranda, 2005).

Si bien existen antecedentes de los factores que pueden impactar en la dinámica de las poblaciones de *D. citri* en países como EEUU, Brasil, India, China, Cuba entre otros, en Argentina existen pocos estudios referidos a la biología de este insecto. Esto se debe principalmente a que *D. citri* es considerada una plaga secundaria y no se registra la enfermedad de HLB.

OBJETIVO GENERAL

- Estudiar aspectos relevantes de la dinámica poblacional de la chicharrita, *Diaphorina citri*.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Analizar las variaciones numéricas de la chicharrita de los cítricos, *Diaphorina citri*, en términos de las condiciones climáticas (temperatura, humedad relativa, precipitación, velocidad del viento y heliofanía) y la calidad y cantidad del recurso de oviposición (brotación).
2. Analizar el efecto de la temperatura sobre la fecundidad, longevidad del adulto, velocidad de desarrollo y supervivencia preimaginal de *Diaphorina citri*, comparando los registros de campo con referencias publicadas.
3. Analizar el efecto del recurso (cantidad y calidad de brotes) sobre la tasa de incremento de adultos de *Diaphorina citri*.
4. Analizar la posible existencia de una denso-dependencia retrasada, típica de una interacción huésped-parasitoide entre *Diaphorina citri* y el parasitoide *Tamarixia radiata*.

HIPOTESIS

- Bajo condiciones climáticas adecuadas (temperatura, humedad relativa, precipitación, velocidad del viento y heliofanía) la dinámica poblacional de *Diaphorina citri* es afectada por la cantidad y calidad de los brotes que son los recursos donde se hacen las oviposiciones.
- La tasa de incremento potencial de *Diaphorina citri* es sustancialmente mayor a la tasa de incremento real debido al accionar de enemigos naturales.
- El parasitoide específico *Tamarixia radiata* que está establecido en la zona de estudio, exhibirá una interacción con *Diaphorina citri* denso-dependiente retrasada.

MATERIALES Y MÉTODOS

El siguiente trabajo se realizará con información obtenida de un muestreo llevado a cabo durante 3 años sucesivos en una quinta cítrica, en el marco del Proyecto Nacional Específico de INTA: Manejo Integrado de Plagas y Enfermedades en Frutales (PNFRU2184).

Área de estudio

El presente estudio se realizó en el Establecimiento San Vicente, ubicado en la localidad de Colonia La Argentina, Departamento Federación (31°06'14,1"S - 058°01'01,1"W), donde se seleccionaron dos lotes de Naranja (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) variedad Valencia Late, uno de 1.17 ha (codificado como lote 3) y el otro de 1.42 ha (codificado como lote 5). Las plantas están distanciadas a 7 x 3.5 mts y la densidad de plantas es de 408 plantas/ha, encontrándose por lo tanto una cantidad total de 478 plantas en el lote 3 y 578 plantas en el lote 4.

Los lotes tienen sistema de riego y son manejados de forma tradicional, con aplicaciones de fungicidas e insecticidas en primavera-verano. Los insecticidas se utilizaban para el control del minador de las hojas de los cítricos en brotación (el principio activo es la abamectina y la dosis aplicada es la mitad de la recomendada en el marbete), y aceites para el control de cochinillas (aplicados a principios de verano). La aplicación se realiza en base a un monitoreo previo, por lo cual varía entre los años.

Monitoreo de la chicharrita de los cítricos y su parasitoide

El período de muestreo se extendió desde el 18 de abril de 2006 hasta el 22 de abril del 2009. Como el ciclo de actividad del insecto transcurre entre marzo de un año hasta marzo del año siguiente, el muestreo abarcó tres ciclos de actividad sucesivos.

La unidad de muestreo fue la "trampa cromotrópica" (Felippe *et al.*, 2006; Ferreira Filho, 2005; Guajará *et al.*, 2004, Halbert & Manjunath, 2004; Hall *et al.*, 2007; Hall, 2009; Yamamoto *et al.*, 2008) (Foto 1). Es una tarjeta plástica amarilla con adhesivo en ambas caras, con un área útil de captura de 120 cm² (10 x 12 cm) (Ferreira Filho, 2005).

La cantidad de muestras en cada lote fue cinco (n=5), en otras tantas plantas de naranjas. Las mismas se ubicaron en forma de cruz dentro del lote, cubriendo los bordes y el centro del lote (Foto 2). En la copa de la planta, la trampa se ubicó sobre la periferia a una altura entre 1.50 y 1.70 mts del suelo y en el lado surdeste de la planta (Foto 3) (Felippe *et al.*, 2006).



Foto 3: trampa cromotrópica para trampeo de la chicharrita de los cítricos, *Diaphorina citri*



Foto 4: ubicación de las trampas dentro de los lotes N° 3 y N° 5 de naranja Valencia Late en el Establecimiento San Vicente, Colonia La Argentina, Federación



Foto n° 5: Ubicación de la trampa en del árbol de cítrico

En cada lote, cada trampa se identificó por medio de un número según la planta y el lugar en la misma. Además con un GPS se registró sus coordenadas geográficas. Esta información puede ser observada en la siguiente tabla:

Tabla n°1: datos sobre trampas cromotrópicas instaladas en dos lotes de naranja Valencia Late en el Establecimiento San Vicente

Establecimiento	Nº Trampa	Lote	Variedad	Año de plantación	Fila	Planta	Orientación	Coordenadas geográficas
San Vicente	1	3	Naranja Valencia Late	1991	6	38	(E-O) (N-S)	S 31°06'17,3" W 058°01'03,2"
	2				5	22	(E-O) (N-S)	S 31°06'15,5" W 058°01'03,6"
	3				5	2	(E-O) (N-S)	S 31°06'14,2" W 058°01'04,2"
	10				14	5	(E-O) (N-S)	S 31°06'16,3" W 058°01'01,9"
	11				1	27	(E-O) (N-S)	S 31°06'15,6" W 058°01'04,7"
	6	5	Naranja Valencia Late	1992	15	25	(E-O) (N-S)	S 31°06'15,7" W 058°01'08,8"
	7				8	42	(E-O) (N-S)	S 31°06'18,3" W 058°01'10,5"
	8				8	3	(E-O) (N-S)	S 31°06'13,8" W 058°01'10,5"
	9				8	21	(E-O) (N-S)	S 31°06'15,7" W 058°01'10,7"
	12				1	13	(E-O) (N-S)	S 31°06'15,6" W 058°01'12,1"

La frecuencia de muestreo fue quincenal. Al cabo de cada quincena las trampas se retiraban y se sustituían por nuevas trampas. Las trampas retiradas se rotulaban y embalaban con film plástico transparente para no dañar los insectos capturados y facilitar su identificación y registro en el laboratorio. Las trampas se llevaron al laboratorio de la Sección Entomología de la EEA Concordia del INTA donde, bajo lupa binocular, se registró el número total de insectos

capturados en cada trampa. Respecto de los ejemplares de *D. citri* se discriminó el estado de desarrollo (prácticamente todos los ejemplares capturados fueron adultos) y el sexo de los adultos. Respecto de los ejemplares del parasitoide específico *T. radiata* se discriminó el sexo de los adultos capturados.

Datos climáticos

La información sobre las condiciones meteorológicas fueron provistas por la Estación Meteorológica de la Estación Experimental Agropecuaria Concordia del INTA (31°22'24.39"S - 58° 7'1.63"W). Los factores que se tuvieron en cuenta en los análisis fueron datos diarios de temperaturas media, máxima y mínima (en °C), precipitaciones (en mm), humedad Relativa (en %), heliofanía (horas de sol) y velocidad del viento (km/h). Los datos utilizados para los análisis resultan del promedio de los factores durante cada quincena a lo largo del período en que estuvieron expuestas las trampas.

Datos fenológicos

La información de la fenología fue provista por FRUTIC, proyecto en el cual participan la Asociación de Citricultores de Concordia, el INTA - EEA Concordia y la Asociación Cultural para el Desarrollo Integral (ACDI), que provee de información estratégica para la gestión citrícola en base a un monitoreo periódico ambiental y fenológico del cultivo y de sus principales plagas. La denominación de los distintos estadios fenológicos siguió el criterio de Garrán *et al.* (2005). Los datos que fueron utilizados provienen de una quinta ubicada en el departamento

Concordia (31°22'46.73"S - 58° 7'39.84"W) y se considera que presentan la misma fenología que en los lotes donde se muestreó *D. citri*.

Se tomaron en cuenta sólo los estadios fenológicos que, por antecedentes bibliográficos estarían influenciando la dinámica de población de *D. citri* ya que podrían convertirse en recursos escasos durante ciertos períodos: brotes iniciales (B1) y brotes largándose con hojas muy pequeñas (B2) que son los únicos utilizados por *D. citri* como sustrato para la oviposición y como de alimento de las ninfas pequeñas.

La magnitud del recurso representado por los brotes tiernos de cítricos (únicos donde se realiza la oviposición y es el alimento de ninfas pequeñas) en la quincena t-ésimase expresó en términos de la proporción de brotes en los estados fenológicos B1+B2, simbolizándose: $P(B1+B2), t$.

Densidad poblacional y la tasa de incremento de *D. citri*

En cada fecha, la densidad de *D. citri* se expresó como el número de individuos/trampa, y el análisis de las variaciones de densidad se realizó a la escala espacial del árbol.

En cada lote y en la muestra t-ésima, el número promedio de individuos/trampa se simbolizó $N(t)$, y se calculó:

$$N(t) = (\sum n(j,t)) / N$$

donde $n(j, t)$ representa el número de individuos/trampa en el árbol i -ésimo y N el número de árboles con trampas (en este caso, $N=5$).

La tasa de incremento bruta durante el intervalo entre dos muestras sucesivas, t y $t+1$, $TI(t)$, se calculó como: $TI(t) = N(t+1)/N(t)$, donde $N(t)$, y $N(t+1)$ representan la densidad de adultos de *D. citri* en las muestras t y $t+1$, respectivamente y $\Delta t=1$. La tasa de incremento así calculada considera implícitamente distintos procesos demográficos: la fecundidad de las hembras adultas, la supervivencia de las formas preimaginales y su velocidad de desarrollo (serán detectados en las trampas sólo como adultos), la proporción de los adultos que estaban presentes en la muestra t -ésima y llegan vivos a la siguiente, así como posibles movimientos de dispersión de adultos entre árboles.

Análisis de los datos

a) Variaciones de densidad de *D. citri*

En cada lote, posibles diferencias en la densidad de *D. citri* entre árboles y entre años se analizará mediante un ANOVA de 2 vías con medidas repetidas. Complementariamente, la significancia de las posibles diferencias en el número promedio de insectos/trampa en cada uno de los tres períodos (2006-07 hasta 2008-09) se realizó mediante un ANOVA de una vía con medidas repetidas y un test de Tuckey entre pares de periodos de actividad.

b) Posibles efectos de factores climáticos

Se realizó un análisis de correlación lineal (coeficiente de correlación r de Pearson) entre la densidad promedio de *D. citri* en cada quincena y cada una de los siguientes registros: temperaturas media,

máxima y mínima, precipitaciones, humedad relativa, heliofanía y velocidad del viento, y. Durante los picos de densidad poblacional se comparon los valores de los factores mencionados con los óptimos registrados en la literatura.

Respecto del recurso, durante el período del llamado “veranito de San Juan” que podría provocar una brotación temprana en junio, se analizó la significancia de posibles diferencias de temperatura entre años. Para ello se comparon las temperaturas mínima, media y máxima media registradas durante el 15 de junio y el 15 de julio de cada año mediante un ANOVA de una vía. Si existiera un relación directa entre los años más cálidos y $P(B1+B2), t$ durante el “veranito de San Juan”, se espera que el coeficiente de correlación entre ambas variables se significativamente mayor que cero.

c) Datos fenológico

Se correlacionó $P(B1+B2), t$ y $TI(t)$. Si existiera un relación directa entre ambas variables, se espera que el coeficiente de correlación sea significativamente mayor que cero.

d) Interacción *D. citri* – *T. radiata*

A escala del árbol y del lote y en la semana t -ésima, la densidad del parasitoide *T. radiata*, $P(t)$, se expresará en términos del número promedio de adultos/trampa. Se graficarán los valores de densidad de *D. citri*, $N(t)$ y del parasitoide, $P(t)$, a lo largo del ciclo de actividad a fin de visualizar el desfase característico debido a la respuesta numérica retrasada del parasitoide (Begon *et al.*, 2006). El mismo se analizará mediante la construcción de un diagrama de fase y el enrollamiento cronológico de los puntos representados por el par ordenado $(N(t), P(t))$.

e) Modelo de dinámica poblacional de *D. citri*

Un primer modelo (llamado "básico") fue construido para sintetizar sólo la información sobre la biología y ecología de *D. citri* aportada tanto por la literatura como la generada en este trabajo, y usarlo para analizar aspectos básicos aunque relevantes de su dinámica poblacional. Entre estos aspectos pueden citarse:

1) Efecto de la densidad inicial de adultos de *D. citri* sobre la densidad de la población local en el pico de brotación (mediados de agosto hasta fines de septiembre),

2) Efecto de una brotación temprana del árbol de naranja sobre la densidad de la población local en el pico de brotación, y

3) Efecto de la temperatura durante la brotación temprana sobre la densidad de la población local en el pico de brotación.

Un segundo modelo (llamado "con manejo") incorporó el empleo de agroquímicos en el monte de cítricos para el control del "minador de hojas de los cítricos" *Phyllocnistes citrella* Stainton (Lepidoptera: Gracillariidae: Phyllocnitinae).

El modelo "basico"

El modelo se construyó en base a información publicada y datos del presente estudio utilizando planillas de cálculo Microsoft Excel.

Es un modelo discreto de la forma: $A(t+1) = A(t) \cdot PS(t) \cdot F(t) \cdot S(t)$, donde $A(t)$ y $A(t+1)$ representan, respectivamente, la densidad de adultos en las muestras (t) y $(t+1)$ (la densidad expresada como número de individuos por árbol), $PS(t)$ representa la proporción de sexos en la muestra t -ésima, $F(t)$ representa la fecundidad en el intervalo $(t, t+1)$, y $S(t)$ la supervivencia pre-imaginal durante el mismo. El modelo representa la dinámica de una población local de un árbol promedio y permite estimar la densidad de adultos en la muestra

t-ésima, sin considerar la dispersión de adultos ni la posible reducción de la supervivencia debido al accionar de enemigos naturales. En consecuencia, la tasa de incremento (variación del número de adultos durante un intervalo entre dos muestras sucesivas) calculada por el modelo sería mayor a la observada en campo.

1) Proporción de sexos

La proporción de sexos $PS(t)$ fue considerada constante durante todo el período e igual a 0,5 (Aubert, 1987, Hall, 2008, Hall et al., 2008, Halbert & Manjunath 2004, Liu & Tsai 2000, Mead, 2007, Rogers & Stansly 2006).

2) Fecundidad

La fecundidad $F(t)$ se consideró que fue afectada por la temperatura y la competencia entre adultos por brotes tiernos donde oviponer.

Respecto del efecto de la temperatura sobre la fecundidad, Liu & Tsai (2000) registraron en base a experimentos controlados, el número de huevos depositados por una hembra durante toda su vida a una temperatura determinada. En este trabajo, los valores presentados en la mencionada publicación, se graficaron y ajustaron satisfactoriamente ($R^2= 0,91$) mediante la siguiente ecuación de regresión polinómica: $F(t)= -0,3449 t^3 + 18,08 t^2 - 251,88 t + 1052,7$ (Fig. 1). A fin de aplicar esta ecuación al presente estudio, la variable independiente, x , correspondió a la temperatura promedio en el intervalo, $T(t)$, calculada en base a registros diarios aportados por la estación meteorológica de la EEA-INTA Concordia. Para adecuar el valor de fecundidad a la escala temporal utilizada en este trabajo (quincena), cada valor de $F(t)$ se multiplicó por el coeficiente $D(t)/L(t)$, donde $D(t)$ representa la duración del intervalo y en casi todo el estudio fue igual a 15 días) y $L(t)$ la

longevidad del adulto de *D. citri*. Este coeficiente toma valores en el intervalo $[0, 1]$ y expresa qué proporción de la duración de la vida del adulto representa $D(t)$. Por otra parte, resultados experimentales aportados por Liu & Tsai (2000) mostraron que la longevidad del adulto varió a diferentes temperaturas. Para considerar este efecto, en este trabajo se ajustaron los valores presentados en la referencia citada mediante la siguiente ecuación de regresión: $L(t)=196,44 \text{ EXP}(-0,0612 t)$, $R^2 = 0,95$ (Fig. 2). Como antes, la variable independiente x correspondió a la temperatura promedio en el intervalo, $T(t)$.

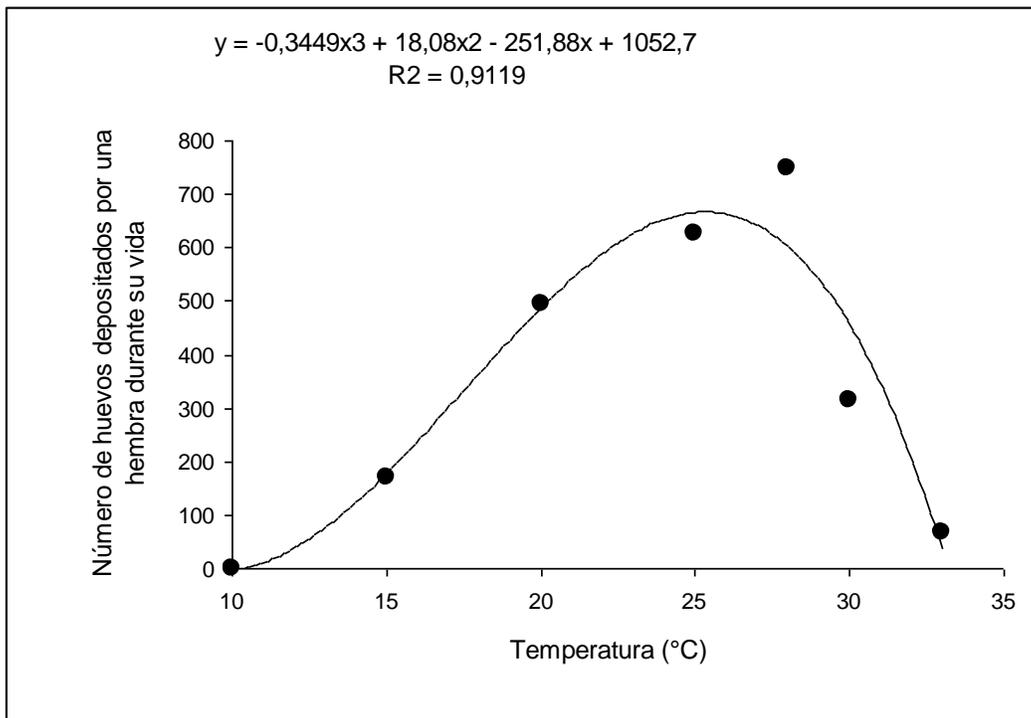


Figura nº 1: Relación entre la fecundidad y la temperatura (tomado de Liu & Stai, 2000)

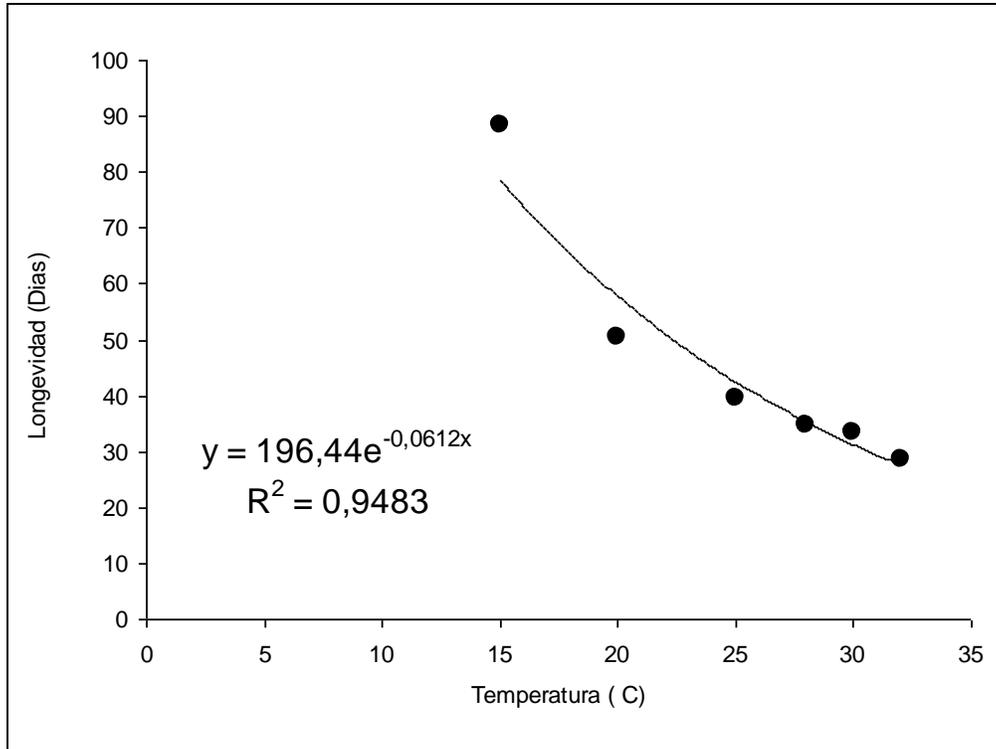


Figura n°2: Relación entre la longevidad del adulto y la temperatura (tomado de Liu & Stai, 2000)

Respecto de la competencia entre adultos por brotes tiernos donde oviponer, simbolizada $f(A(t))$, se consideró una función de la densidad de brotes tiernos relativa a la densidad de adultos, y se estimó: $f(A(t)) = [1000 P(B1+B2), t]/A(t)$, donde $[1000 P(B1+B2), t]$ representa el número total de brotes en los estados fenológicos B1 y B2 en el árbol presentes en el intervalo. Este número se calculó en base al número total promedio de brotes (que fue considerado constante e igual a 1000 según metodología de Jessen, 1955) y la proporción de brotes en estados fenológicos B1 y B2 en el intervalo, $P(B1+B2), t$, aportados por (FRUTIC). El criterio para valorar este factor se basó en que el único recurso que tiene una hembra grávida de *D. citri* donde depositar sus huevos son los brotes en estado fenológico B1 y B2 (Aubert, 1987, Burckhardt 1994, Childers & Rogers 2005, Halbert & Manjunath 2004, Hall, 2008, Mead, 1977, Rogers & Stansly 2006, Sétamou et al., 2008,

Tsai & Liu 2000), básicamente los brotes de la mitad superior del árbol (observación personal), y que la posible competencia y/o interferencia entre hembras adultas de *D. citri* por sitios donde oviponer, afectará la fecundidad potencial. La función $f(A(t))$ puede tomar valores en el intervalo $[0, \infty]$ pero, si: $f(A(t)) > 1$, entonces: $f(A(t)) = 1$, (es decir, no existiría una interacción negativa entre hembras) y por ende no se corrige el valor de fecundidad).

En consecuencia, la fecundidad $F(t)$ se representó:

$$F(t)=[-0,3449 t^3+18,08 t^2-251,88 t+1052,7]*\{D(t)/[196,44EXP(-0,0612 t)]\}*[f(A(t))].$$

3) Supervivencia pre-imaginal

La supervivencia pre-imaginal durante el intervalo, $S(t)$, se consideró que fue afectada sólo por la temperatura ya que en la mayor parte de la literatura analizada no se menciona un efecto relevante de los enemigos naturales (Michaud, 2002; Pluke *et al.*, 2005). Además, se bien existiría un asible efecto de competencia intraespecífica (Hodkinson, 1974) no se encontraron relaciones funcionales en la literatura, y el número máximo de ninfas que serían capaces de desarrollarse en un brote se consideró igual al máximo registrado por Hall et al. (2008) que fue de 319 (Hall et al., 2008). Respecto de la competencia interespecífica, se mencionan a diversos defoliadores como factores relevantes (Paiva, 2009), pero al no ser importantes o estar ausentes en el área de estudio, tampoco fue considerada.

Respecto del efecto de la temperatura sobre la supervivencia ninfal, experiencias de laboratorio desarrolladas por Liu & Stai (2000) y por Nava (2007) mostraron que, en el rango de temperaturas de este estudio, casi no existirían variaciones en la misma y las pendientes de

las ecuaciones lineales ajustadas por regresión fueron no significativas a un nivel del 95% de probabilidad. En efecto, los datos de Liu & Tsai (2000) se ajustaron por la ecuación lineal: $y = 1,091x + 47,192$ ($r^2 = 0,69$; $F(1, 3) = 6,59$, $P = 0,08$). Los datos de Nava (2007) se ajustaron por la ecuación lineal: $y = 0,1623x + 63,398$ ($r^2 = 0,14$; $F(1, 4) = 0,66$, $P = 0,46$). Por lo tanto se consideró que el efecto fue independiente de las temperaturas y su valor constante (0.70) fue el calculado en base a ambos experimentos (Fig. 3). Por otra parte no se encontraron correlaciones significativas entre las lluvias y el número medio de ninfas (ni de huevos) por brote (Hall *et al.*, 2008).

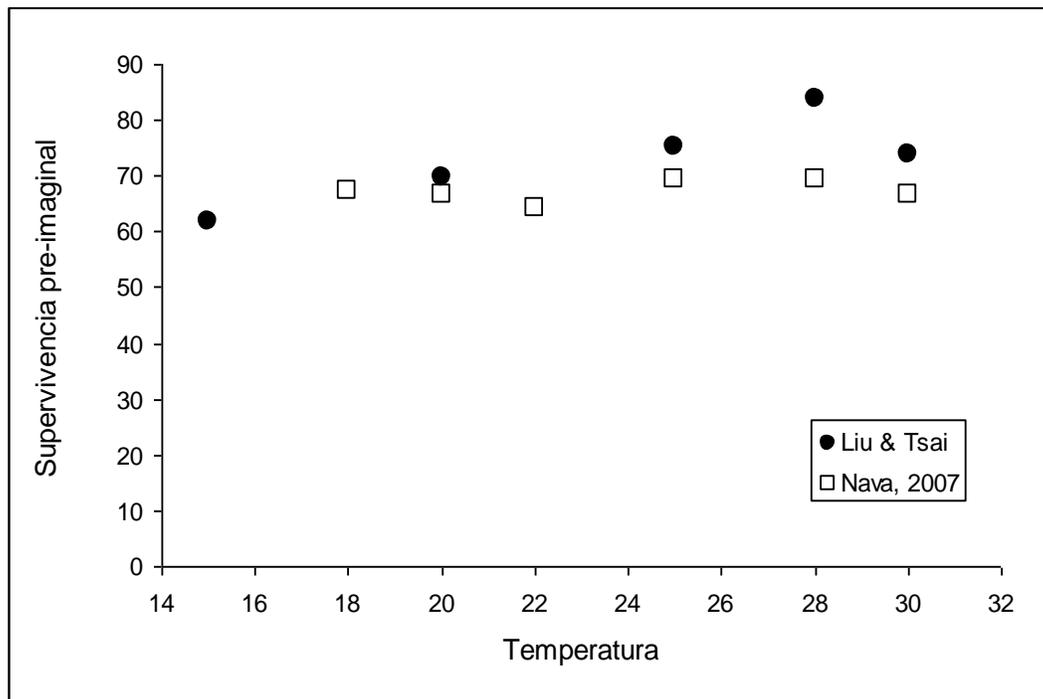


Figura nº 3: Relación entre la supervivencia preimaginal y la temperatura (tomado de Liu & Tsai, 2000 y Nava, 2007)

La incorporación al estado adulto del número calculado de huevos que fueron depositados el intervalo t -ésimo ocurrirá luego de transcurrido el desarrollo pre-imaginal, cuya duración es función de la temperatura. La duración d del desarrollo preimaginal de *D. citri* se

calculó en base a la temperatura media durante cada intervalo y haciendo la sumatoria de los grados-día acumulados hasta completar los requerimientos térmicos aportados por la literatura: 250 °C-días. La expresión formal fue: $\mathbf{d} = \sum(T(t)-T_U)\cdot\Delta t$, donde $T(t)$ representa la temperatura media registrada durante el intervalo t -ésimo, T_U la temperatura umbral, considerada igual a 10°C (Hall, 2008, Nakata, 2006; Nava *et al.*, 2007; Tsai *et al.*, 2002; Yang, 1989) y Δt la duración de cada intervalo. La sumatoria se extiende desde la muestra t -ésima hasta aquella en la que $\mathbf{d} = 250$ °C/días (Halbert & Manjunath 2004, Nakata, 2006, Nava *et al.*, 2007). En consecuencia, en la muestra $(t+\mathbf{d})$ -ésima, los individuos sobrevivientes al desarrollo preimaginal serán adultos que se sumarán a los otros adultos existentes en dicho intervalo. Debido a que los intervalos son aproximadamente quincenales, el valor de \mathbf{d} no siempre coincidió con el valor 250, sino que a veces, $\mathbf{d}<250$ y $\mathbf{d}+1>250$. La emergencia de adultos siempre correspondió a la muestra en la que el valor fue ≥ 250 . Luego, los huevos depositados en la muestra t -ésima se incorporarán al estado adulto en la muestra $(t+d)$ -ésima.

El modelo "con manejo"

En esta versión del modelo anterior, se incorpora el efecto del manejo con agroquímicos para el control del "barrenador del brote" *Phyllocnistis citrella*, que afectaría negativamente la supervivencia de *D. citri*.

En el área de estudio se efectuaron aplicaciones de Abamectina al 1 ‰ más aceite mineral, básicamente durante la brotación principal de los cítricos, para el control del "barrenador del brote" *P. citrella*.

Experimentos de laboratorio realizados con el mencionado principio activo y a la concentración indicada sobre la supervivencia de ninfas y adultos de *D. citri* fue la siguiente: la supervivencia ninfal: fue

reducida significativamente a 0,12 y la supervivencia adulta a 0,87 respecto de la supervivencia de los testigos (Srinivasan *et al.*, 2008). Además, el poder residual dura aproximadamente 15 días (AIANER, 2010), valor semejante al intervalo entre dos muestras sucesivas. Las fechas en que se realizaron las fumigaciones fueron aportadas por la Estación Agrometeorológica de la EEA Concordia del INTA.

Se menciona además que el aceite mineral no tuvo efectos significativos sobre *D. citri* (Hall *et al.*, 2008).

Luego, el efecto de las mencionadas fumigaciones simplemente se introdujo en el modelo "básico" mediante dos coeficientes que afectan la supervivencia de ninfas, $a(t)$, y adultos, $b(t)$, sólo durante el intervalo q -ésimo en que se aplicó el agroquímico.

Simbólicamente:

$$\rightarrow a(t) = 0,12 \text{ (si } t=q\text{), y : } a(t) = 1 \text{ (si } t \neq q\text{)}$$

$$\rightarrow b(t) = 0,87 \text{ (si } t=q\text{), y : } b(t) = 1 \text{ (si } t \neq q\text{)}$$

En consecuencia, el modelo "con manejo" es de la forma:

$$\mathbf{A(t+1) = [A(t).b(t)].PS(t).F(t).S(t).a(t)}$$

donde $a(t)$ y $b(t)$ representan el efecto de las fumigaciones sobre la supervivencia de ninfas y adultos de *D. citri*, respectivamente, y el significado del resto de los símbolos fue definido en el modelo "básico" (Tabla 1).

Tabla 1. Estimación de parámetros de campo/laboratorio o sus ecuaciones, correspondientes al modelo de dinámica poblacional de *D. citri*.

Parámetro	Símbolo	Valor o ecuación	Unidades	Referencia
Proporción de hembras adultas: Nro de hembras adultas/Nro total de adultos	PS(t)	PS(t)= 0,5	Proporción	Halbert & Manjunath, 2004
Fecundidad en el intervalo entre 2 muestras sucesivas (quincena)	F(t)	F(t)= f [T(t)].[15/L(t)]. f(A(t))	Huevos/hembra	Este estudio
Efecto de la temperatura sobre la fecundidad realizada durante la vida adulta	f [T(t)]	f [T(t)]= -0,3449 (t) ³ + 18,08 (t) ² -51,88(t) + 1052,7	Huevos/hembra	Liu & Tsai, 2000 Este estudio
Factor de escala. Expresa qué proporción de la vida adulta corresponde a una quincena	15 / L[T(t)]	L(t) = 196,44*EXP[-0,0612*(t)]	Proporción	Este estudio
Oferta relativa de brotes tiernos: Nro de brotes tiernos/árbol en relación al Nro de adultos/árbol	f(A(t))	f(A(t))=[1000 P _(B1+B2, t)]/A(t) Si f(A(t)) > 1, F(A(t))=1	Proporción	Este estudio
Supervivencia preimaginal	S(t)	0,70	Proporción	Liu & Tsai, 2000 Nava, 2007
Duración del desarrollo preimaginal	d	d = Σ(T(t)-TU).Δt	quincenas	Nava, 2007
Supervivencia preimaginal por efecto de Abamectina al 1/oo (actúa sólo durante el intervalo en que se fumigó).	a(t)	a(t) = 0.12 (si t=q) a(t) = 1 (si t≠q)	Proporción	Srinivasan et al., 2008
Supervivencia imaginal por efecto de Abamectina al 1/oo (actúa sólo durante el intervalo en que se fumigó).	b(t)	b(t) = 0.87 (si t=q) b(t) = 1 (si t≠q)	Proporción	Srinivasan et al., 2008

Los datos de campo (Número de adultos/trampa/quincena) se considera que son indicadores de la densidad media de la población

local, cuya precisión posiblemente variará en las diferentes muestras debido a factores tales como el viento, actividad de los individuos y/o la dispersión de adultos desde árboles vecinos (Chen, 1998; Kobori *et al.*, 2008). Por otra parte, el modelo no tiene en cuenta la dispersión de adultos ni el accionar explícito de enemigos naturales aunque su presencia haya sido constatada (diversos depredadores, tales como coccinélidos y crisópidos capaces de alimentarse de *D. citri* (INTA, 2008) y un parasitoide específico (Vaccaro & Bouvet, 2005).

Por último, el ajuste de la fecundidad y longevidad en adultos y supervivencia ninfal de *D. citri* en función a la temperatura, realizado en base a datos publicados y mediante técnicas de regresión, en este modelo las funciones correspondientes no se extrapolan más allá del rango de temperaturas a las cuales se ajustaron.

Para validar el modelo, y dadas las distintas unidades en que se expresan los adultos de *D. citri*: Nº de individuos/trampa (datos observados) y Nº de individuos/árbol (datos calculados) se calculó la correlación entre ambas series de valores (74 datos en cada serie). Se excluyen los primeros 3-4 valores de datos observados al inicio de cada período, ya que la densidad de adultos en estos momentos está básicamente influenciada por mecanismos de comportamiento y/o dispersión de individuos, no considerados en el modelo. Dado que los datos observados no son enteramente independientes del modelo, esta validación es considerada sólo una aproximación.

RESULTADOS

a) Curvas poblacionales parciales de *D. citri*. Variación de densidad relativa de adultos

En el período que fue realizado el muestreo, en los lotes de Naranja Valencia Late, fueron capturados 10.102 ejemplares de *D. citri* de los cuales 77 % corresponden al Lote nº 3 y 23 % al Lote nº 5.

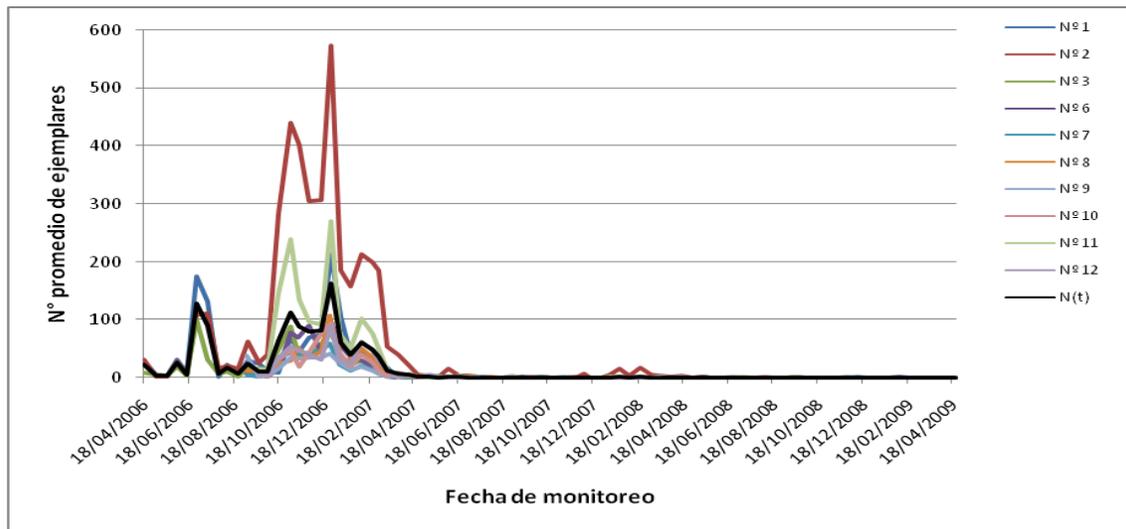


Figura 1: Densidad de *D. citri* en las diferentes trampas y densidad promedio $N(t)$

En la figura 1 se muestra el número de adultos de *D. citri* capturados por quincena en cada una de las 10 trampas, así como el número promedio de *D. citri* capturado, $N(t)$. Si bien el número capturado fue diferente en las 10 trampas, se evidencia un claro patrón: un pico hacia junio del primer año, una secuencia de tres picos separados hacia octubre, diciembre (pico máximo) y febrero, respectivamente, del primer año, seguidos de un muy bajo número capturado hasta el fin del muestreo. La elevada correlación positiva (el valor del índice varió entre $r=0,74$ hasta $r= 0,97$), entre la densidad relativa de pares de trampas (Tabla 1) confirma la semejanza mencionada en el patrón de variación de la densidad relativa de *D. citri*.

Tabla 1: Coeficiente de correlación de Pearson entre el número capturado de adultos de *D. citri* trampa⁻¹.quincena⁻¹ de pares de trampas.

	Trampa Nº 1	Trampa Nº 2	Trampa Nº 3	Trampa Nº 6	Trampa Nº 7	Trampa Nº 8	Trampa Nº 9	Trampa Nº 10	Trampa Nº 11	Trampa Nº 12
Trampa Nº 1										
Trampa Nº 2	0,74 < 0,001									
Trampa Nº 3	0,87 < 0,001	0,84 < 0,001								
Trampa Nº 6	0,89 < 0,001	0,93 < 0,001	0,90 < 0,001							
Trampa Nº 7	0,85 < 0,001	0,97 < 0,001	0,95 < 0,001	0,94 < 0,001						
Trampa Nº 8	0,93 < 0,001	0,93 < 0,001	0,85 < 0,001	0,88 < 0,001	0,90 < 0,001					
Trampa Nº 9	0,87 < 0,001	0,90 < 0,001	0,90 < 0,001	0,90 < 0,001	0,91 < 0,001	0,85 < 0,001				
Trampa Nº 10	0,92 < 0,001	0,91 < 0,001	0,93 < 0,001	0,88 < 0,001	0,94 < 0,001	0,92 < 0,001	0,93 < 0,001			
Trampa Nº 11	0,85 < 0,001	0,97 < 0,001	0,96 < 0,001	0,90 < 0,001	0,94 < 0,001	0,90 < 0,001	0,91 < 0,001	0,89 < 0,001		
Trampa Nº 12	0,87 < 0,001	0,95 < 0,001	0,89 < 0,001	0,88 < 0,001	0,89 < 0,001	0,96 < 0,001	0,90 < 0,001	0,90 < 0,001	0,94 < 0,001	

La trampa donde se capturó el mayor número de este insecto fue la nº 2 (3.925 ejemplares) que representó 39 % del total, y le siguen en orden decreciente de capturas, las trampas nº 11 y nº 1 que equivalen al 14 % y 12 % del total, respectivamente. En un ANOVA realizado en base a la cantidad de insectos capturados por cada trampa, se encontraron diferencias significativas entre las trampas ($F= 7,06$, $g.l= 9$, $P= < 0.0001$), y el test de Tukey indicó que la diferencia ocurrió entre la trampa nº 2 y las 9 restantes.

Tabla 2: Test de Tuckey entre *D. citri* capturadas por trampa en los 3 años de muestreo

Grupo	Trampa	N	Media	Varianza
A	1	81	15,4	1421,5
B	2	81	48,5	12189,6
A	3	81	9,2	406,8
A	6	71	8,2	479,7
A	7	71	5,1	163,8
A	8	71	7,1	313,2
A	9	71	4,6	111,0
A	10	70	6,9	316,1
A	11	70	20,1	2736,8
A	12	70	7,5	313,9

Al discriminar por año, en 2006-2007 se capturó el 98,4 % de todos los ejemplares, en 2007-2008 se capturó 1,5 % del total y en 2008-2009 solamente el 0,1 %, encontrándose diferencias significativas entre el período 1 y los restantes, no habiendo diferencias entre estos dos últimos períodos ($F= 28,64$, $g.l= 2$, $P= < 0.0001$), (Tabla 3).

El número inicial de *D. citri* en cada período también fue muy distinto: 22,3 ejemplares (2006-2007), 1,2 ejemplares (2007-2008) y 0,1 ejemplar (2008-2009).

Tabla 3: Test de Tuckey entre el número de *D. citri* capturados en los 3 períodos de muestreo

Grupo	Período	N	Media	Varianza
B	2006-2007	27	45,19	96,40
A	2007-2008	27	0,59	92,06
A	2008-2009	27	0,05	163,74

b) Factores climáticos: Temperatura

En la Figura 2 se muestran los registros de temperatura quincenales que coinciden con las fechas de muestreo.

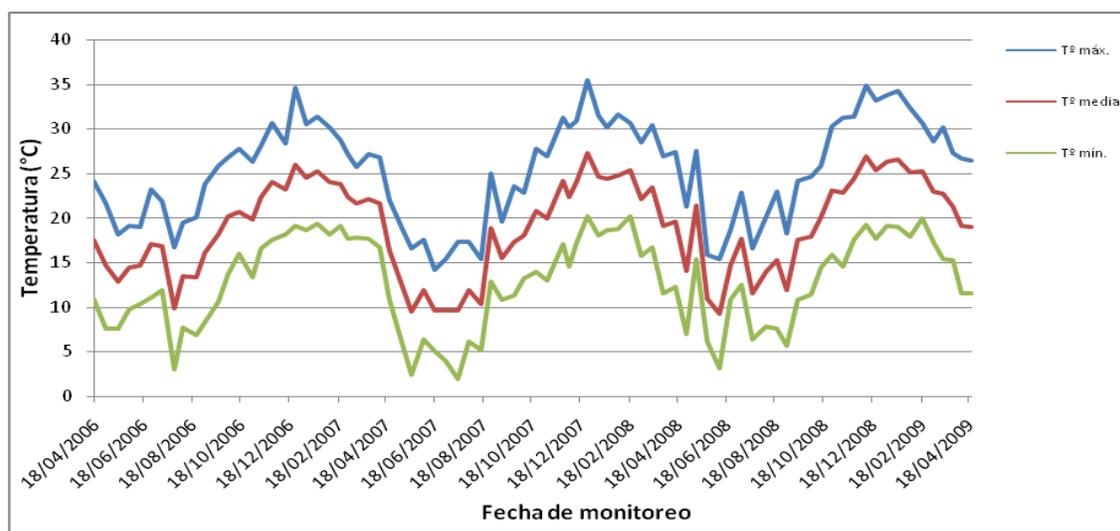


Figura 2: Promedio de Temperaturas mínimas, medias y máximas en los períodos de muestreo desde 18/04/2006 al 18/04/2009

En las Figuras 3, 4 y 5 se muestran en mayor detalle los registros de temperatura máxima, media y mínima de cada año por separado junto a los límites de tolerancia publicados: las temperaturas menores a 10°C y mayores a 33°C no permiten el completo desarrollo de *D. citri* (Yang 1989, Tsai *et al.* 2002, Nakata 2006, Nava *et al.* 2007, Hall 2008).

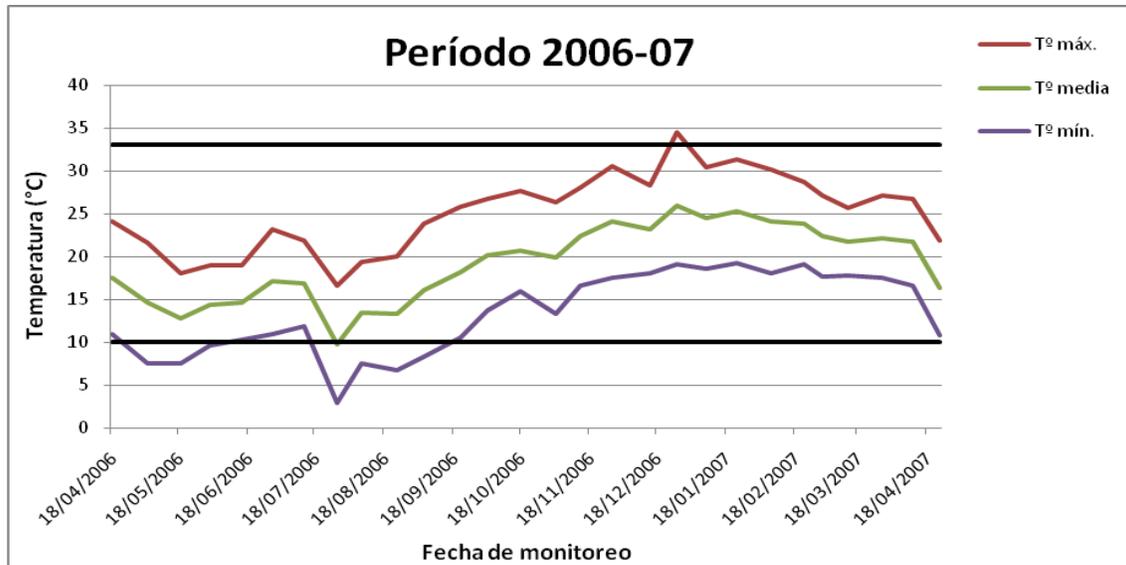


Figura 3: Límites térmicos de desarrollo de *D. citri* con promedio de temperaturas mínimas, medias y máximas y densidad promedio en el período 2006-07

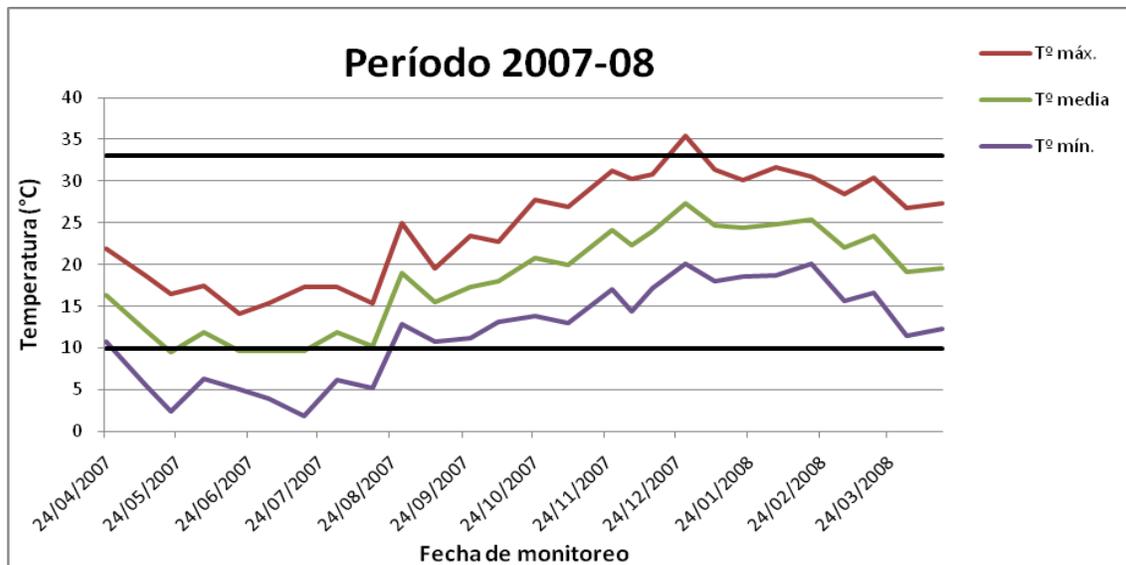


Figura 4: Límites térmicos de desarrollo de *D. citri* con promedio de Temperaturas mínimas, medias y máximas y densidad promedio en el período 2007-08

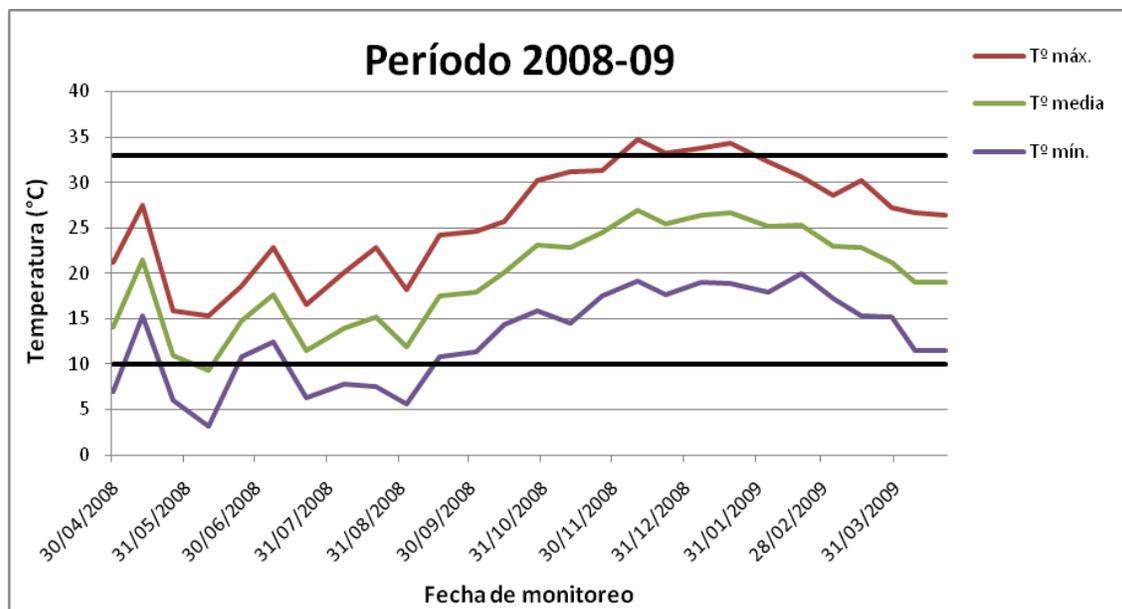


Figura 5: Límites térmicos de desarrollo de *D. citri* con promedio de Temperaturas mínimas, medias y máximas y densidad promedio en el período 2008-09

Durante el intervalo desde mediados de abril a fines de julio el mayor contraste se observó en 2007-08 con mayor frecuencia, duración e intensidad de temperaturas bajas: los registros de temperatura mínima fueron siempre inferiores al límite inferior de 10°C y la temperatura media fue menor o igual a dicho límite en gran parte del intervalo. En el extremo opuesto, en el intervalo correspondiente al período 2006-07, los registros fueron más cálidos ya que la temperatura mínima fue inferior o igual al límite inferior de tolerancia sólo en parte del intervalo y la temperatura media fue siempre superior a dicho límite. Por último, el período 2008-09 fue en cierta medida intermedio, ya que si bien la temperatura mínima fue inferior o igual al límite inferior de tolerancia sólo en parte del intervalo, la temperatura media mostró valores inferiores al límite de 10°C en la mitad del mismo (Figura 5).

Complementariamente, la temperatura media diaria mostró diferencias significativas entre el invierno del período 2007-08 y los inviernos de los períodos 2006-07 y 2008-09 ($F= 7,17$, $g.l= 2$, $P= < 0.0001$) (Tabla 4).

Tabla 4: Test de Tuckey entre las temperaturas medias promedio en los 3 períodos de muestreo

Grupo	Período	N	Media	Varianza
A	2006-07	93	14,68	19,47
B	2007-08	93	12,20	29,37
A	2008-09	93	13,97	14,74

En el intervalo entre mediados de agosto hasta mediados de abril no hubo diferentes relevantes entre los tres períodos de captura (Figuras 3, 4 y 5).

Debido a que en el período 2006-07 existió un marcado pico de población entre mediados de junio y fines de julio (ver Figura 1), se realizó un análisis más detallado durante el intervalo correspondiente al llamado "veranito de San Juan" ya que podría tener incidencia en la densidad de *D. citri* encontradas en la brotación principal de primavera. En la Figura 6 se muestra la temperatura media de los tres intervalos del "veranitos de San Juan", considerado como el período que va desde el 15 de junio al 15 de julio.

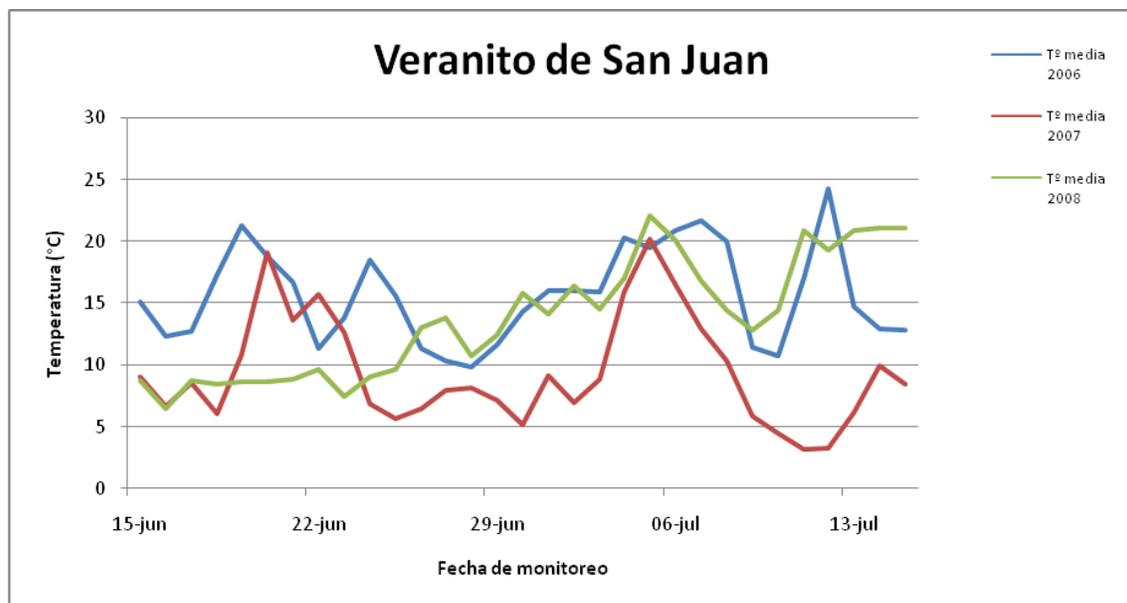


Figura 6: Temperaturas media en los "veranitos de San Juan", que abarcan del 15 de junio al 15 de julio de los períodos 2006-07, 2007-08 y 2008-09

Para comprobar la significancia de las diferencias en el “veranito de San Juan” entre los tres años de trampeo, se comparó la temperatura promedio mediante un ANOVA de una vía. Las diferencias fueron significativas ($F= 16,27$, g.l.= 2, $P= < 0.0001$), y el test de Tuckey sugiere que no existen diferencias significativas entre los períodos 2006-07 y 2008-09, pero si entre estos períodos y el 2007-08.

Tabla 5: Test de Tuckey entre temperatura media de los “veranitos de San Juan” de los tres años de muestreo

Grupo	Media	Varianza	N	Año
A	20,63	15,07	31	1
B	14,37	19,63	31	2
A	18,54	23,08	31	3

Si se restringe el intervalo a la primera quincena, el ANOVA correspondiente sugiere que existen diferencias significativas ($F= 14,88$, g.l.= 1, $P= < 0.001$): en el período 2006-07 la temperatura media promedio fue $14,4^{\circ}\text{C}$, en cambio en el período 2008-09 la temperatura media fue $9,4^{\circ}\text{C}$.

Si se grafica la temperatura promedio y la correspondiente densidad relativa del psílido en la primer quincena del “veranito de San Juan” de los tres períodos se observa que existe una correspondencia entre los datos (Figuras 7, 8 y 9), corroborado por un coeficiente de correlación significativo ($r = 0,60$; $P = 0,04$).

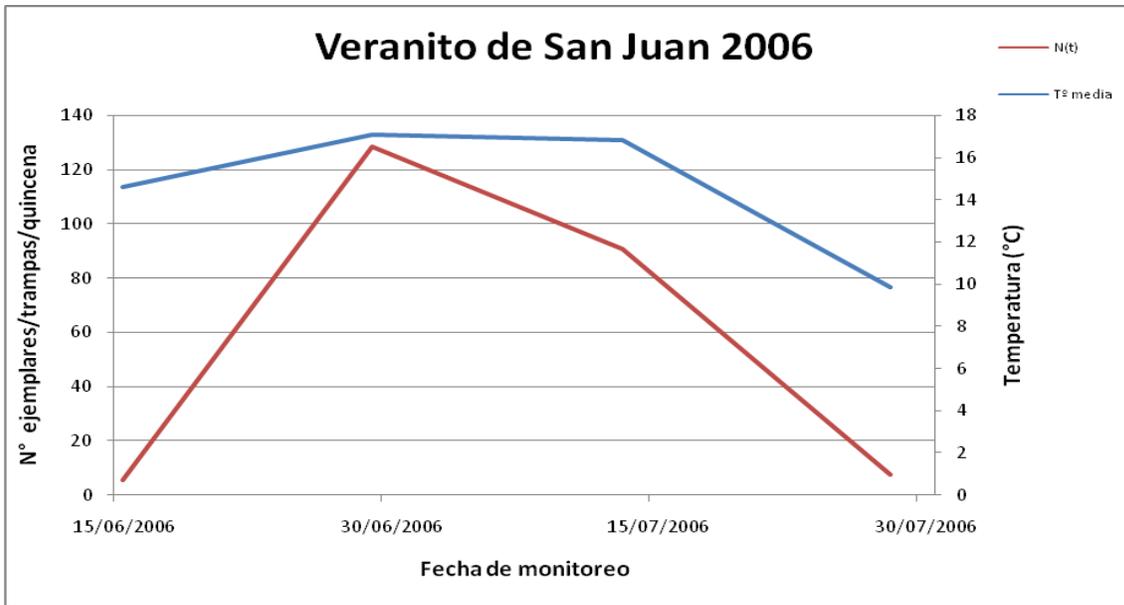


Figura 7: Temperatura media promedio y densidad de *D. citri*, $N(t)$, en "veranito de San Juan" año 2006

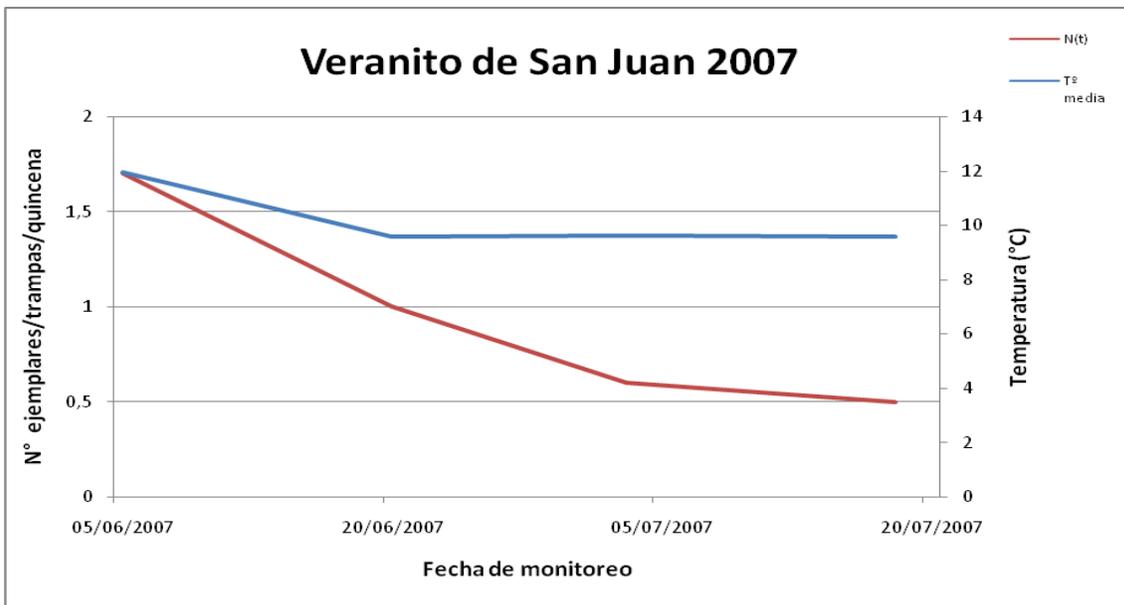


Figura 8: Temperatura media promedio y densidad de *D. citri*, $N(t)$, en "veranito de San Juan" año 2007

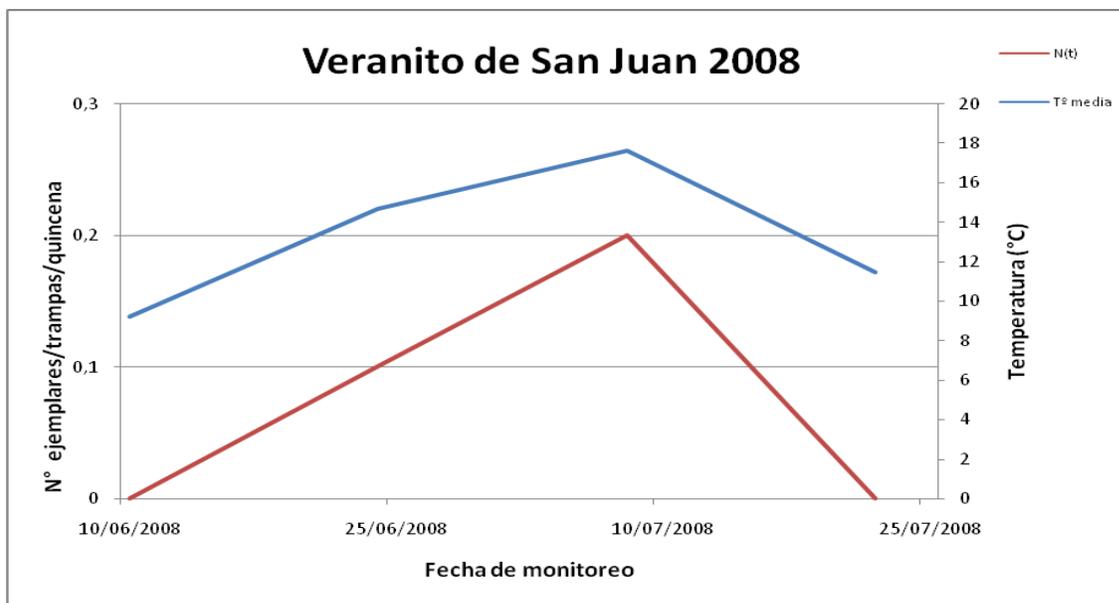


Figura 9: Temperatura media promedio y densidad de *D. citri*, $N(t)$, en "veranito de San Juan" año 2008

Dado que el incremento poblacional del psílido depende no sólo de una condición (temperatura) sino también de recursos (brotes), en las Figuras 10, 11 y 12 se muestran los registros promedios de temperatura media y el porcentaje medio de brotación a lo largo de la primera quincena del "veranito de San Juan". Al agrupar los tres períodos, la correlación entre temperatura y porcentaje medio de brotación no fue significativa ($r = 0,43$; $P = 0,17$).

Si se consideran los tres años separadamente, se observa que en el primer período (2006-07) la brotación comenzó a mediados-fines de junio y persistió hasta el final del intervalo (18 julio) (Figura 10). En el segundo período (2007-08) no hubo brotación invernal (Figura 11), y en el tercer período (2008-09) comenzó a principios de julio (Figura 12).

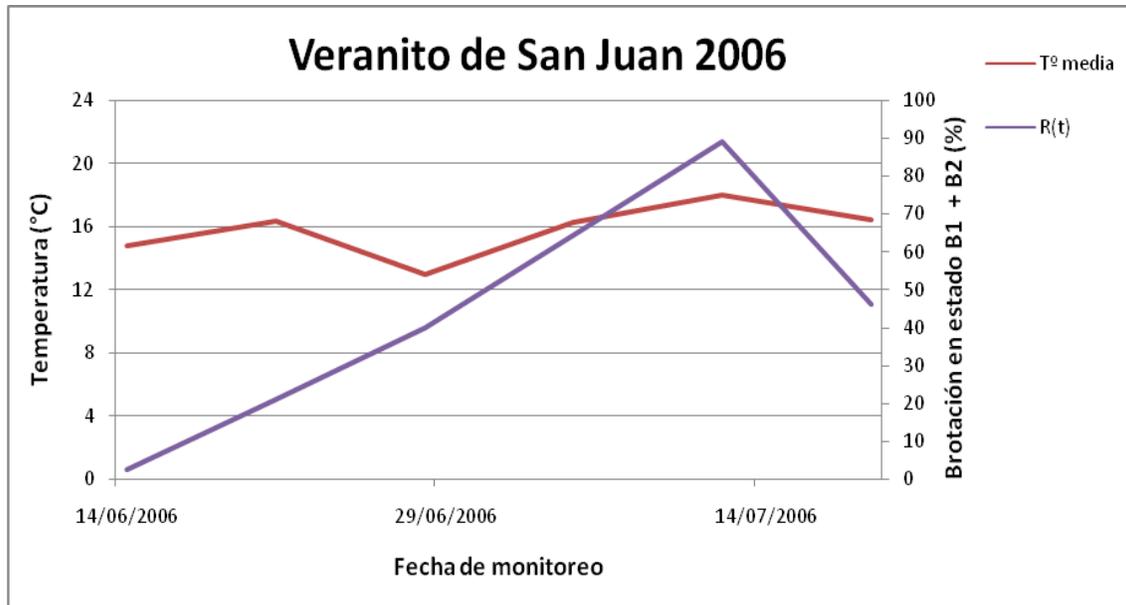


Figura 10: Temperatura media promedio y porcentaje de brotes, $R(t)$, en "veranito de San Juan" año 2006 Ver de modificar la escala de la izquierda (entre 8 y 24 grados)

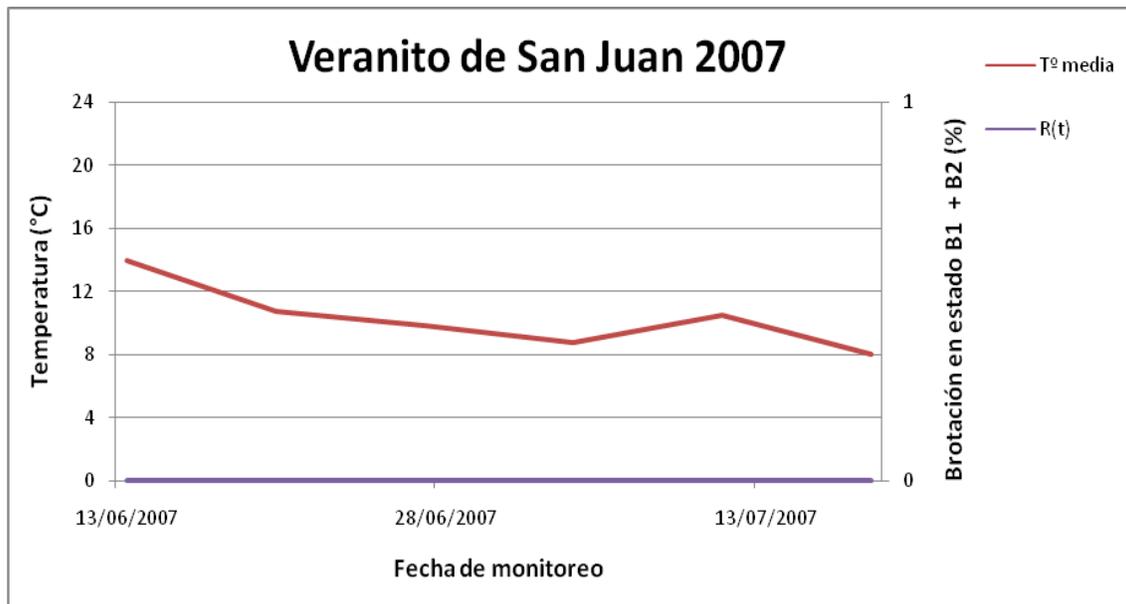


Figura 11: Temperatura media promedio y porcentaje de brotes, $R(t)$, en "veranito de San Juan" año 2007

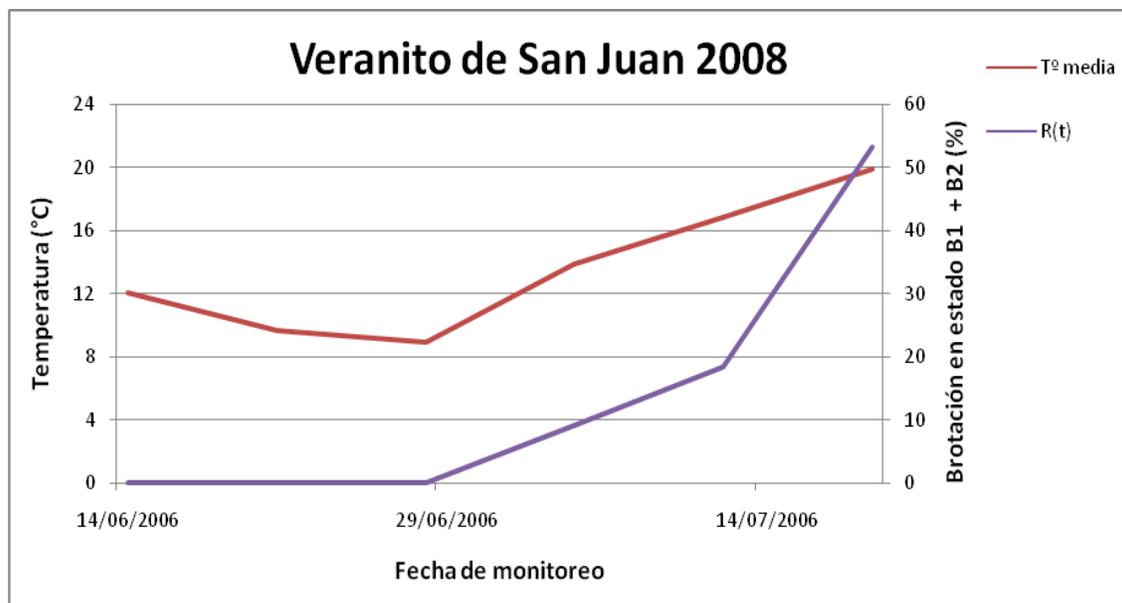


Figura 12: Temperatura media promedio y porcentaje de brotes, $R(t)$, en "veranito de San Juan" año 2008

Factores climáticos: Humedad relativa (HR) y Precipitación

La HR mostró una tendencia declinante durante el período de estudio, y la misma se representó por la ecuación lineal: $Y = 85,398 - 0,0118 X$ ($P = 0,000004$; $n = 81$; $R^2 = 0,2387$) (Figura 13). En cada uno de los tres períodos, el valor promedio de HR fue; 82,2 % en 2006-07, 80,1% en 2007-08 y 74,3% en el período 2008-09.

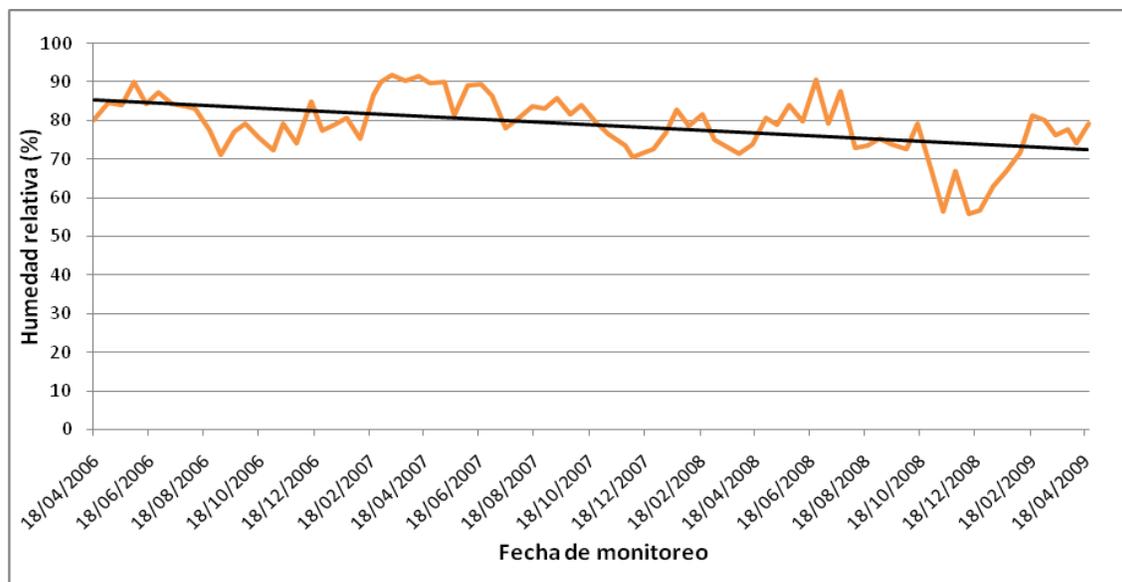


Figura 13: Promedio de la Humedad Relativa en los períodos de muestreo desde 18/04/2006 al 18/04/2009

En consonancia con la HR, las precipitaciones disminuyeron durante el período de muestreo, representada por la ecuación lineal: $Y = 1350,7 - 0,0332 X$ ($P = 0,0473$; $n = 81$; $R^2 = 0,0484$). En 2006-2007 la cantidad acumulada de lluvia fue de 1836,7 mm, en 2007-2008 fue de 994,7 mm, en cambio en 2008-2009 fue de 794,4 mm (Figura 14).

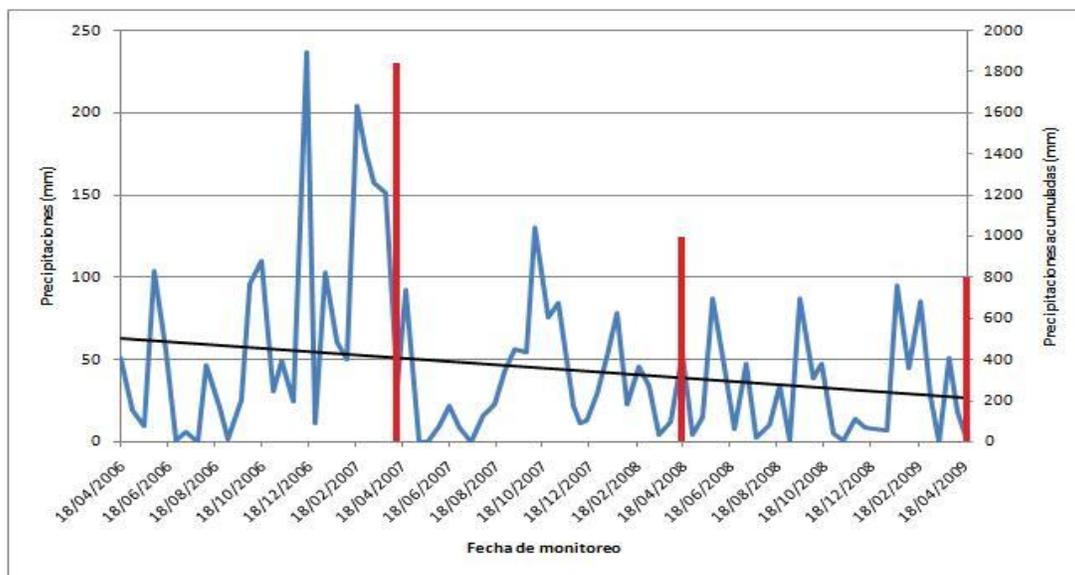


Figura 14: Precipitación en los períodos de muestreo desde 18/04/2006 al 18/04/2009. Las barras indican la lluvia acumulada por período

Cuando se grafica la densidad relativa de adultos de *D. citri*, $N(t)$, conjuntamente con las precipitaciones consideradas torrenciales (> 40 mm/ evento de lluvia) se observa una disminución de la densidad relativa de adultos inmediatamente después a un evento de lluvia torrencial (Figura 15).

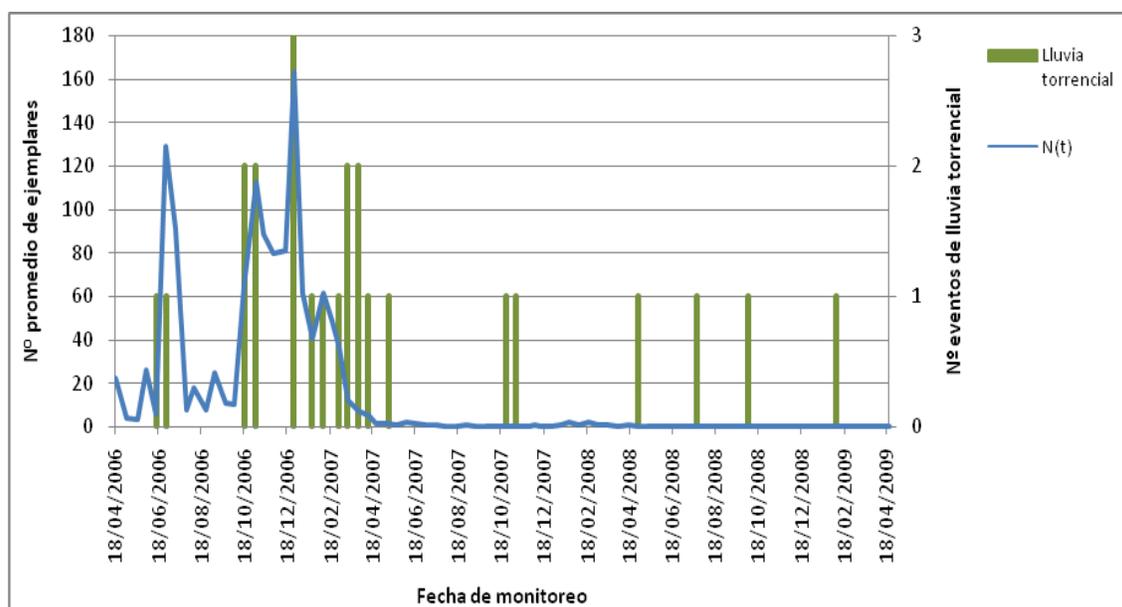


Figura 15: Densidad de *D. citri* y eventos de lluvias torrenciales en el período de monitoreo

Factores climáticos: Heliofanía y Velocidad del viento

La duración de las horas de sol (Heliofanía) en el período de muestreo varía según el año (Figura 16), en el período 2006-07 se observa que el máximo ocurrió a fines de diciembre, en cambio en el período 2007-08 sucedió a mediados de diciembre. En el período 2008-09 fue a mediados de noviembre y diciembre. Coincidentemente con lo observado con las precipitaciones, el promedio anual de las horas de sol aumentó en los años sucesivos.

Esta tendencia al aumento de la heliofanía dentro del período de muestreo, puede explicarse por la ecuación lineal:

$$Y = - 70,707 + 0,002x \text{ (} P = 0,0034; n= 81; R^2 = 0,1044\text{)}.$$

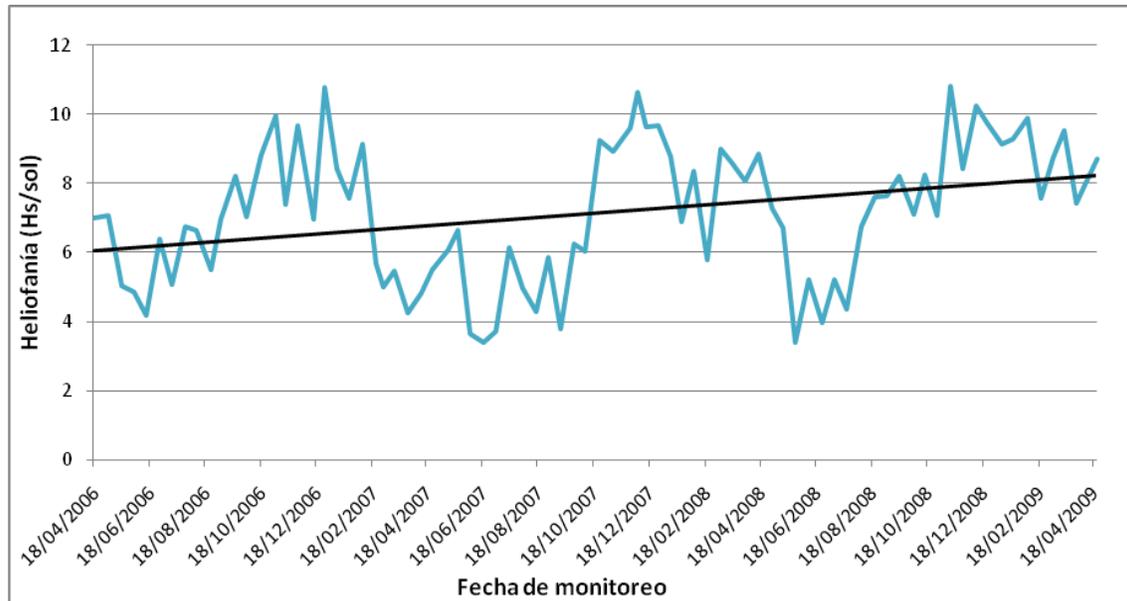


Figura 16: Promedio de Heliofanía en los períodos de muestreo desde 18/04/2006 al 18/04/2009

La velocidad del viento en los períodos 1 y 3 se concentran entre los 3 a 6 km/h, llegando a sus máximos entre los meses de septiembre y diciembre. A diferencia del período 2 que las máximas velocidades ocurren entre junio y agosto, mostrando también una caída abrupta de la velocidad en septiembre.

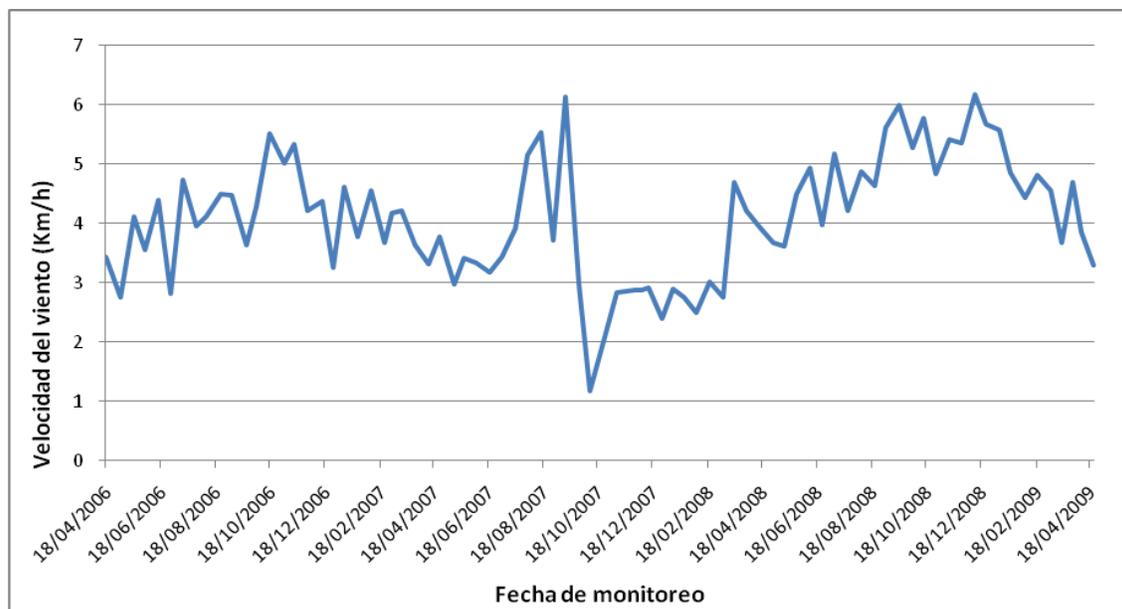


Figura 17: Promedio de Velocidad del viento en los períodos de muestreo desde 18/04/2006 al 18/04/2009

Tiempo de desarrollo y supervivencia de *D. citri*

Según los datos de temperatura tomados en la región, los límites térmicos, los valores de supervivencia y de tiempo de desarrollo de laboratorio de *D. citri* (Nava *et al.*, 2007), se construyó la figura 18 donde se observa la supervivencia teórica de la plaga en la zona:

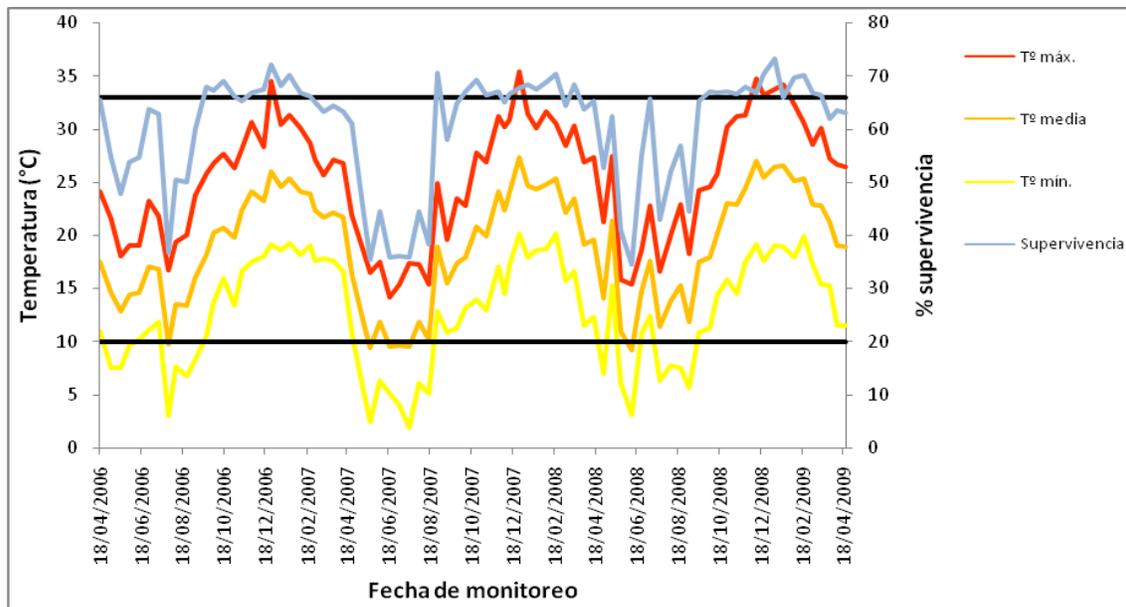


Figura 18: Temperatura máxima, media y mínima promedio, límites de tolerancia térmica y supervivencia de *D. citri*

En la figura anterior se puede observar que la temperatura que ocurre en la región, podría estar limitando a supervivencia entre valores de 35 y 72 %.

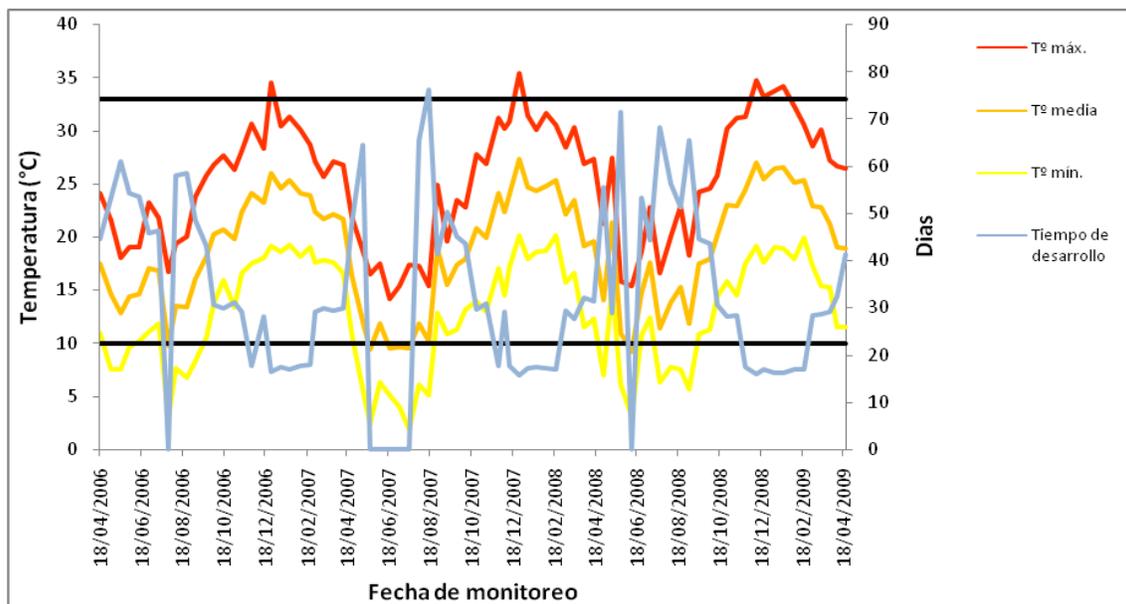


Figura 19: Temperatura máxima, media y mínima promedio, límites de tolerancia térmica y tiempo de desarrollo de *D. citri*

En la figura 19 se grafica el tiempo de desarrollo teórico que tendría *D. citri* en la región, basado del trabajo de Nava *et al* (2007) y en los registros de temperatura y se encuentra que en el período 2007-08 debido a las bajas temperaturas, desde el 22 de mayo al 18 de julio, *D. citri* detuvo su desarrollo.

Los valores de supervivencia poseen una alta correlación positiva con la temperatura, siendo mayor con la temperatura media. En cambio, el tiempo de desarrollo está correlacionado negativamente con la temperatura, siendo el mayor valor absoluto aquel correlacionado con la temperatura máxima (Tabla 6).

Tabla 6: Valores de correlación de Pearson y significancia entre temperaturas máximas, medias y mínimas promedio y tiempo de desarrollo y supervivencia de *D. citri*.

	T° máx.	T° media	T° mín.
Tiempo de desarrollo	-0,43	-0,40	-0,37
	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Supervivencia	0,88	0,90	0,88
	< 0,001	< 0,001	< 0,001

Longevidad y Fecundidad

También la longevidad y fecundidad de *D. citri* se ve afectada por la temperatura. En base a datos bibliográficos (Liu & Tsai, 2000) tomados en laboratorio y a las temperaturas registradas en la región se elaboraron las siguientes figuras:

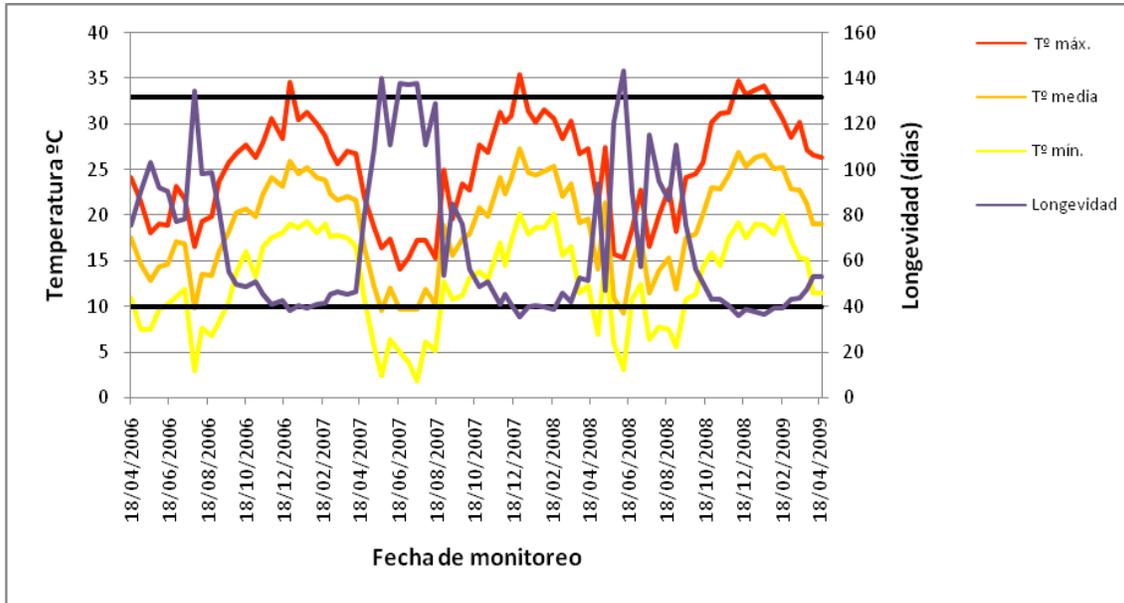


Figura 20: Temperatura máxima, media y mínima promedio, límites de tolerancia térmica y longevidad de *D. citri*

Según la figura anterior, *D. citri* podría vivir entre 35 y 143 días. Por otro lado, las hembras podrían llegar a ovipositar hasta 730 huevos bajo las temperaturas que ocurren en la zona (Figura 21).

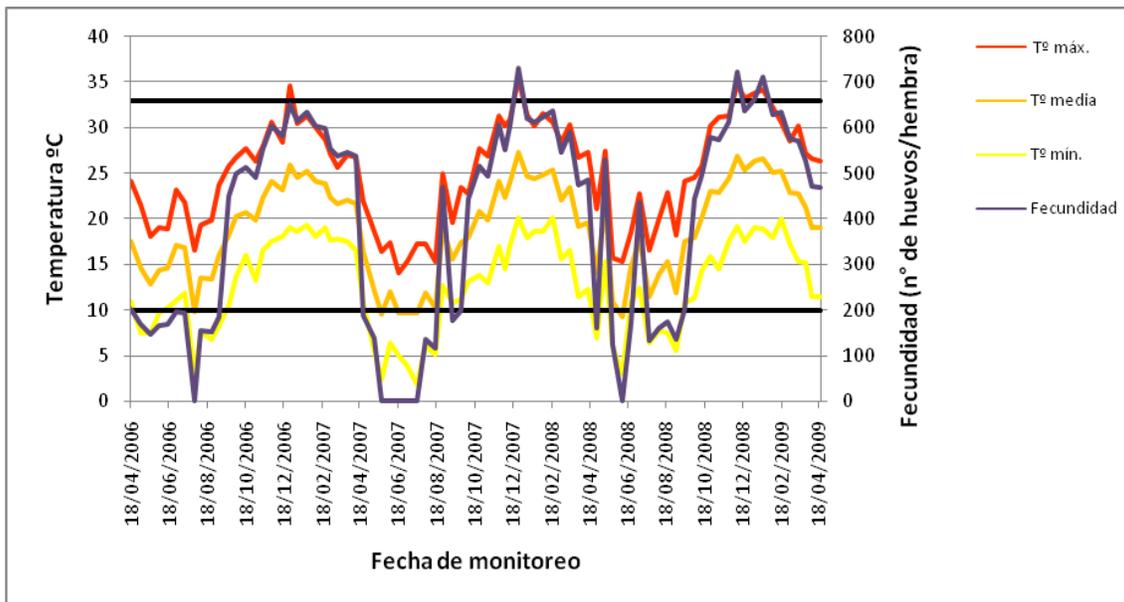


Figura 21: Temperatura máxima, media y mínima promedio, límites de tolerancia térmica y fecundidad de *D. citri*

Un análisis de correlación entre estos valores indica una alta significancia negativa entre las temperaturas promedio y la longevidad y una alta correlación negativa significativa entre las temperaturas y la fecundidad, siendo el valor más alto aquel relacionado con la temperatura media (Tabla 7).

Tabla 7: Valores de correlación de Pearson y significancia entre temperaturas máximas, medias y mínimas promedio y longevidad y fecundidad de *D. citri*.

	T° máx.	T° media	T° mín.
Longevidad	-0,94 < 0,001	-0,96 < 0,001	-0,94 < 0,001
Fecundidad	0,95 < 0,001	0,97 < 0,001	0,95 < 0,001

Ciclo de vida y generaciones anuales

Tomando como punto de partida la fecha de inicio de las brotaciones en cada período, las temperaturas medias y el umbral mínimo de desarrollo (10 °C), se calcularon los requerimientos térmicos (expresados en grados-día efectivos acumulados) para el desarrollo de *D. citri* desde el inicio de brotación de cada período hasta el fin del mismo.

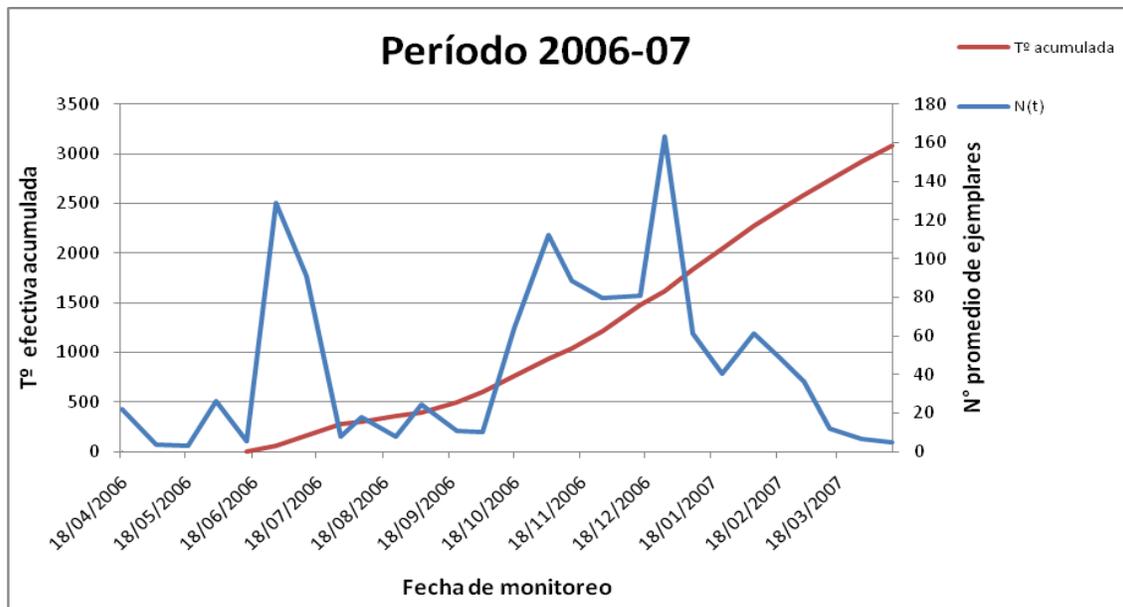


Figura 22: Requerimientos térmicos (expresados en grados-día efectivos acumulados) y densidad de *D. citri* en el período 2006-07

Debido a que la brotación en el período 2006-07 comenzó a mediados de junio de 2006, la cantidad de grados acumulados fue de 3078,65 grados en 301 días (Figura 22).

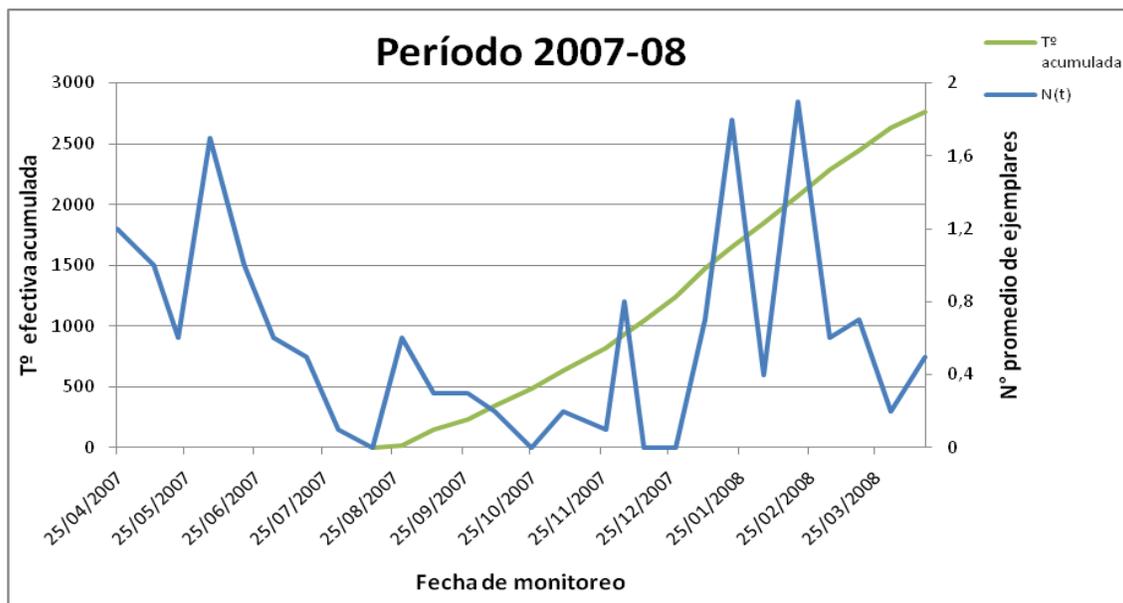


Figura 23: Requerimientos térmicos (expresados en grados-día efectivos acumulados) y densidad de *D. citri* en el período 2007-08

En el período 2007-08 las brotaciones comenzaron a mediados de agosto de 2007, por lo cual, se acumularon un total de 2759,4 grados en 244 días (Figura 23).

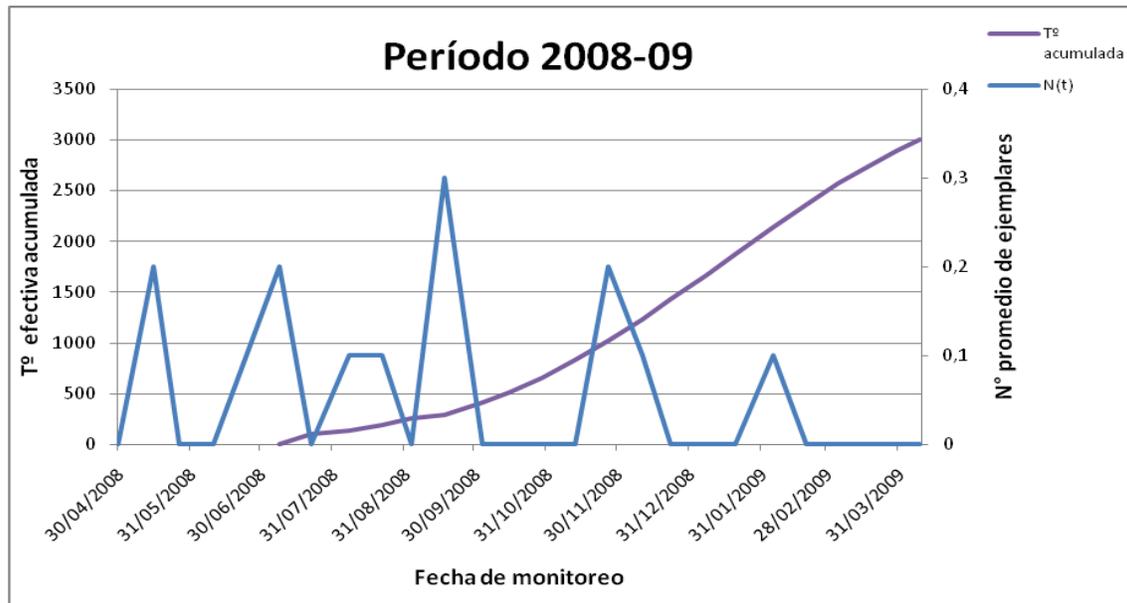


Figura 24: Requerimientos térmicos (expresados en grados-día efectivos acumulados) y densidad de *D. citri* en el período 2008-09

La cantidad de grados acumulados en el período 2008-09 fue de 3000,7 en 275 días, comenzando a principios de julio la brotación (Figura 24).

Teniendo en cuenta que *D. citri* es policíclica y que su reproducción depende de la disponibilidad de brotes, según la cantidad de temperatura acumulada podría llegar a cumplir un mínimo de 12 ciclos en los períodos 2006-07 y 2008-09, y un mínimo de 11 ciclos en el período 2007-08 (Tabla 8).

Tabla 8: Temperatura acumulada, días totales de acumulación de temperatura, número de ciclos de vida, tiempos generacionales y densidad promedio de *D. citri* en los 3 períodos de estudio.

Período	T° acumulada	Días totales	Nº de ciclos mínimo	Tiempo generacional mínimo	Tiempo generacion al máximo	Tiempo generacional promedio	N(t) promedio
2006-2007	3078,65	301	12	15	59	24	50,64
2007-2008	2759,4	244	11	14	46	22	0,49
2008-2009	3000,7	275	12	15	67	23	0,05

Además en la tabla anterior se puede observar que el tiempo generacional promedio en el primer período es de 24 días, cumpliéndose en 15 días en el mes de enero de 2007 y 59 días en septiembre de 2006. En el segundo período, el tiempo generacional promedio es de 22 días, siendo el mínimo de 14 días en enero de 2008 y el máximo 46 días en septiembre de 2007. En el último período analizado, el tiempo generacional promedio es de 23 días y al igual que los períodos anteriores, el ciclo más corto sería en enero de 2009 con 15 días y el más largo en septiembre 2008 con 67 días.

c) Efectos de la fenología

Debido a que la fenología del hospedero influye sobre el desarrollo de *D. citri* (Burckhardt 1994, Tsai *et al.* 2000, Hall 2008, Hall *et al.* 2008), se grafica en la figura 26 los estados fenológicos B1 y B2 sumados a través de los tres períodos, tomando las fechas como días julianos.

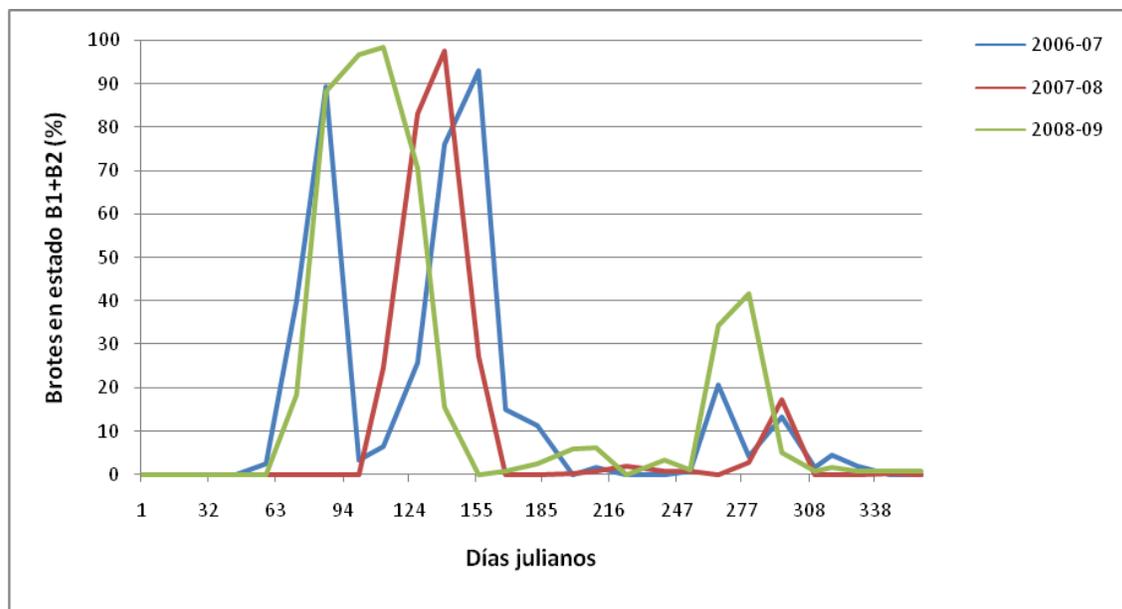


Figura 26: Ritmo de formación de brotes en estados fenológicos B1+B2 en relación al tiempo (días acumulados)

En el período 2006-07 se diferencian claramente tres picos de brotación, el primero de los mismos ocurrió en el invierno, coincidiendo con el veranito de San Juan (desde el mediados de junio a fines de julio), el segundo ocurre a principios de primavera (desde principios de agosto a mediados de noviembre) y el tercero, de menor magnitud, se registró en el verano, pudiendo insinuarse dos "sub-picos" uno en el mes de enero y otro en el mes de febrero. En el período 2007-08 sólo se registraron dos picos: un primer pico de mayor magnitud y duración que se extiende desde inicios del mes de julio a mediados del mes de septiembre, coincidiendo con el segundo pico del período 2006-07, y el segundo pico de menor magnitud se registró también en verano, a fines del mes de enero. Respecto al período 3 (2008-09), se observan también dos picos de brotación, uno de mayor magnitud que coincide con el veranito de San Juan y se extiende hasta principios del mes de septiembre, superponiéndose totalmente con el primero y parcialmente con el segundo pico del período 2006-07. El segundo pico de menor magnitud ocurrió también en verano, a principios del mes de febrero.

Como la brotación de los cítricos está influenciada principalmente por las temperaturas, en la figura 27 se puede observar los picos de brotación en los tres períodos de muestreo junto con las temperaturas registradas en la región.

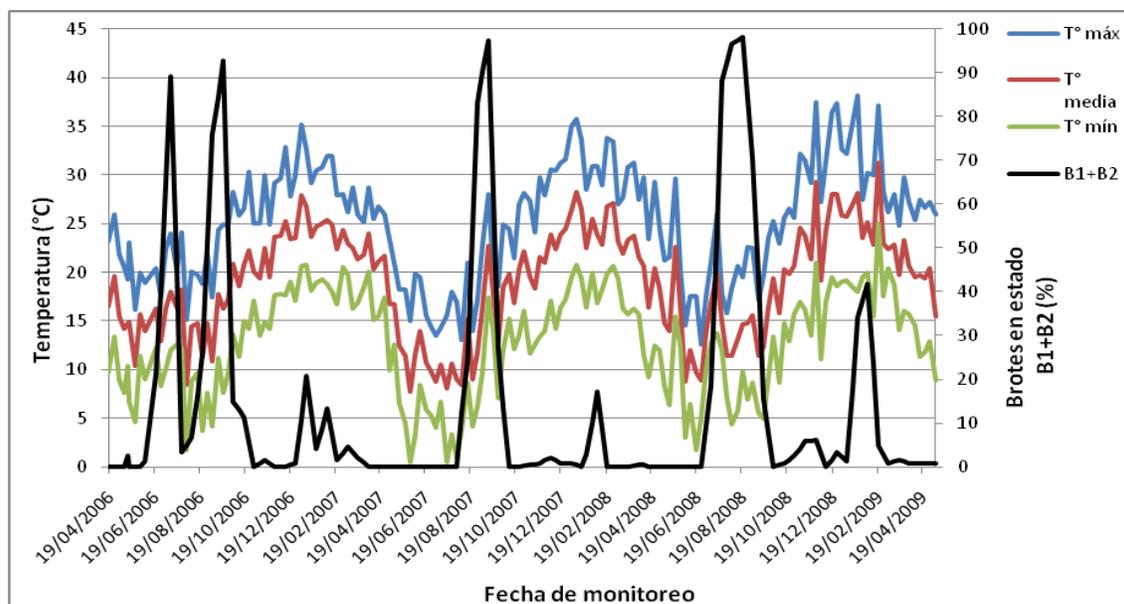


Figura 27: Temperatura máxima, media y mínima promedio y brotes en estado B1 y B2 sumados.

En las figuras 28, 29 y 30 se grafican los estados de brotación B1 y B2 sumados, que son los estados fenológicos donde *D. citri* ovipone y también el promedio de ejemplares capturados en las trampas adhesivas.

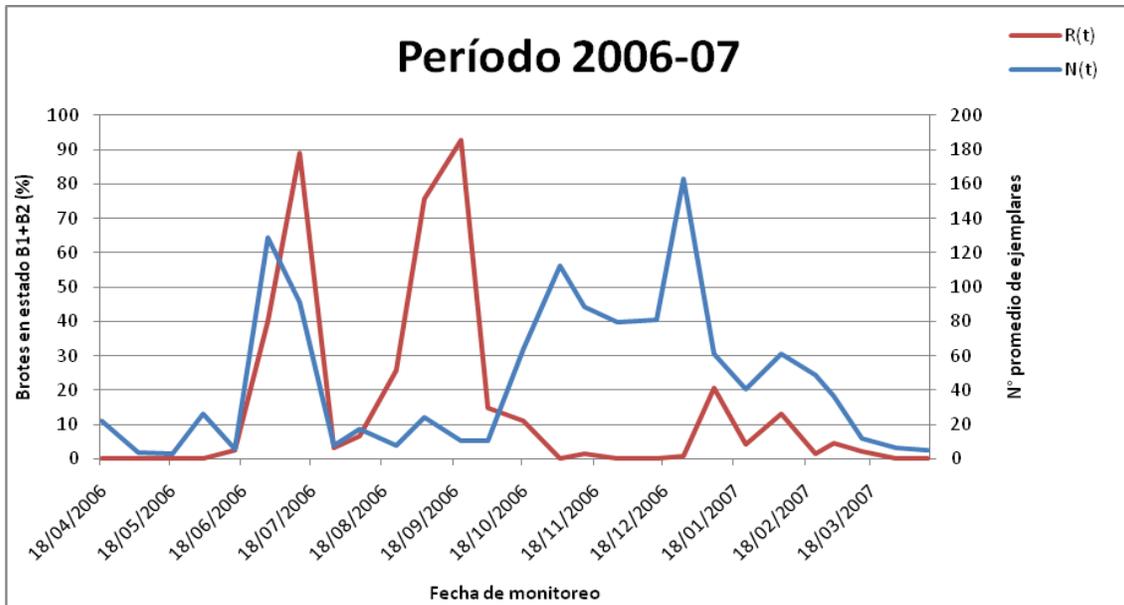


Figura 28: Ritmo de brotación de los estados B1 + B2, R(t), y densidad de *D. citri* en trampas en el período 2006-07, N(t).

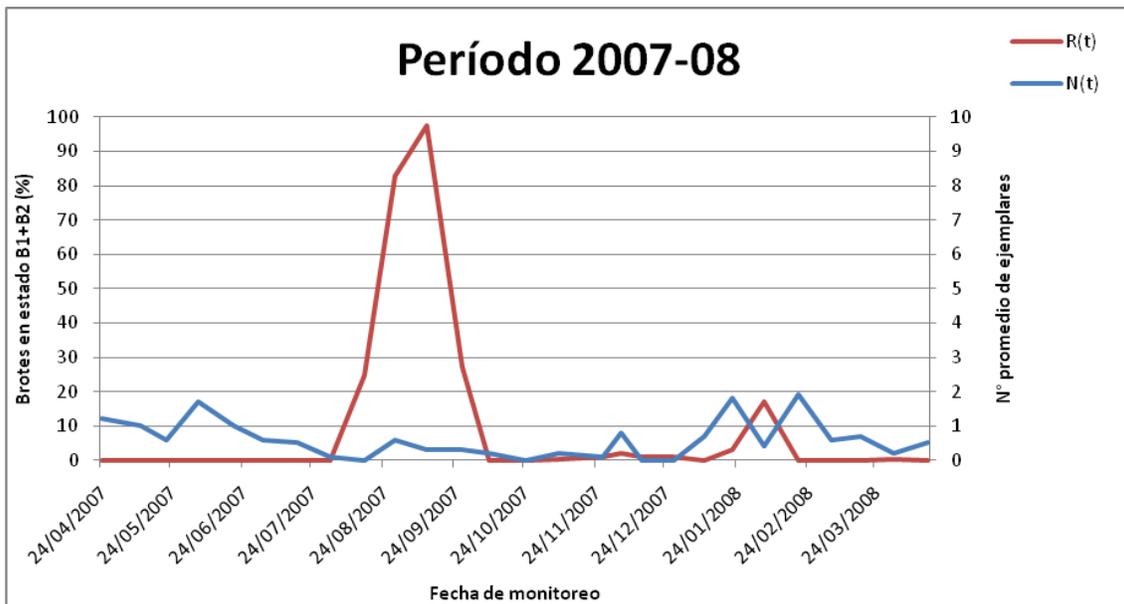


Figura 29: Ritmo de brotación de los estados B1 + B2, R(t), y densidad de *D. citri* en trampas en el período 2007-08, N(t).

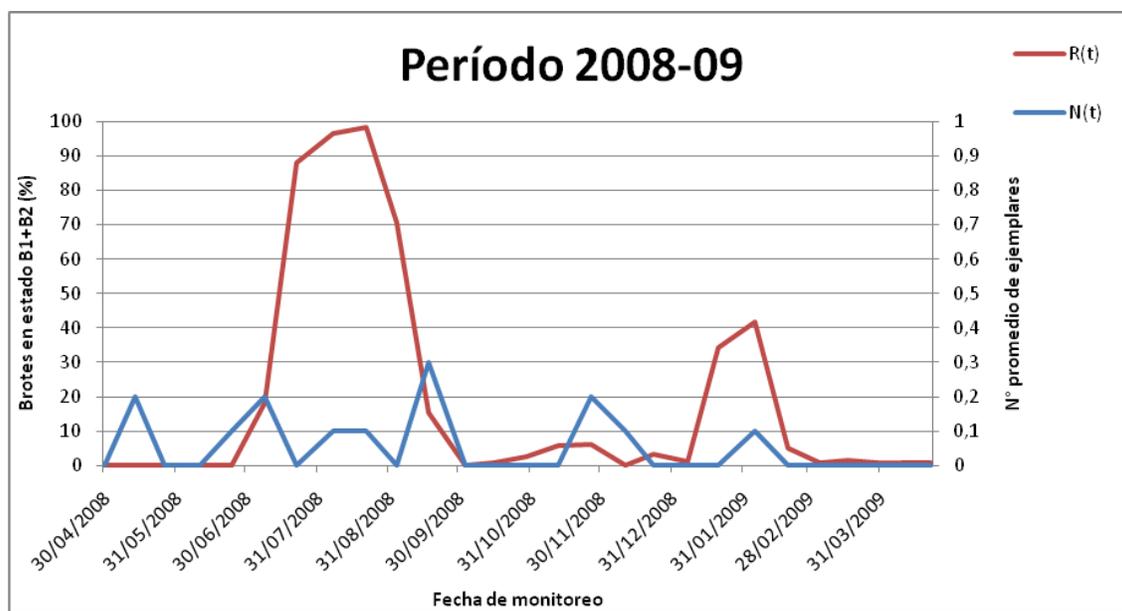


Figura 30: Ritmo de brotación de los estados B1 + B2, R(t), y densidad de *D. citri* en trampas en el período 2008-09, N(t).

En las figuras anteriores se observa que los picos de brotación de la naranja Valencia Late y de actividad de *D. citri* no se corresponden. ($r=0,09$; $P=0,76$).

d) Manejo de plagas en el cultivo de naranja Valencia Late

Los brotes de los cítricos también son susceptibles al ataque de otras plagas como el complejo de pulgones y el minador de las hojas, entre otras, para lo cual se realizan pulverizaciones con insecticidas. En el establecimiento donde se realizó el monitoreo se realizaron en la brotación de verano control químico (abamectina) sobre el minador de las hojas, que habría afectado negativamente a *D. citri*.

En la figura 31 se encuentran graficadas las brotaciones de la naranja Valencia Late y los momentos de aplicación del producto químico, que coincide con las brotaciones de verano.

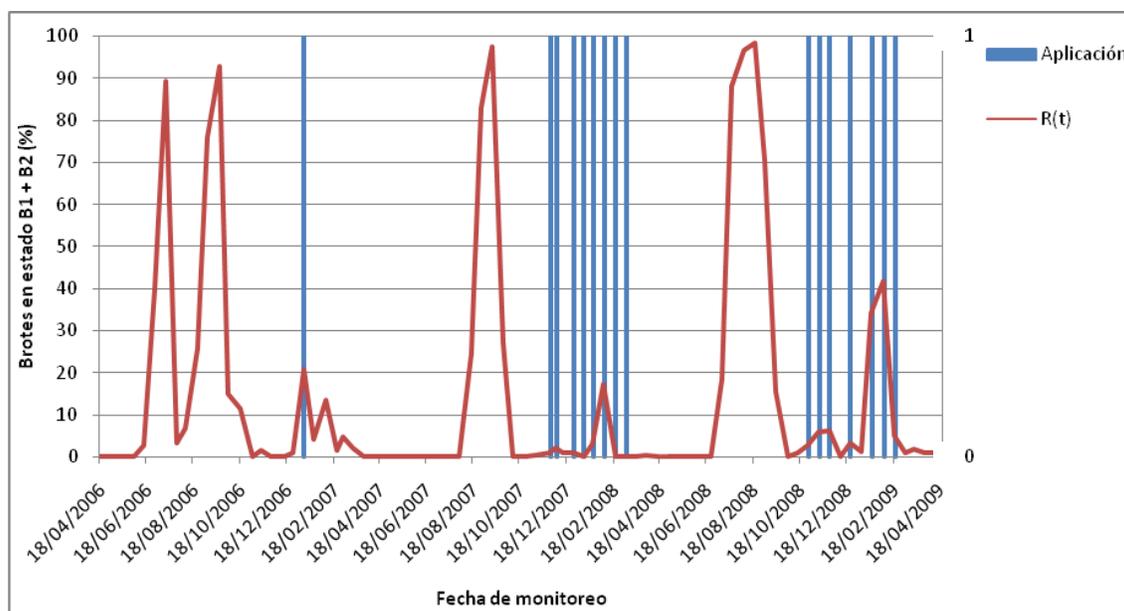


Figura 31: Ritmo de formación de brotes en estados fenológicos B1+B2 y fechas de aplicación de insecticida (abamectina) para el control de minador de las hojas

e) Interacción *Diaphorina citri* – *Tamarixia radiata*

Dentro de los períodos de monitoreo, se contabilizaron las capturas de *T. radiata* en las trampas adhesivas, registrándose una baja densidad de este parasitoide.

En el período 2006-07 (Figura 32), se observa el registro máximo de abundancia del parasitoide, siendo registrados 42 ejemplares a mediados de diciembre de 2006.

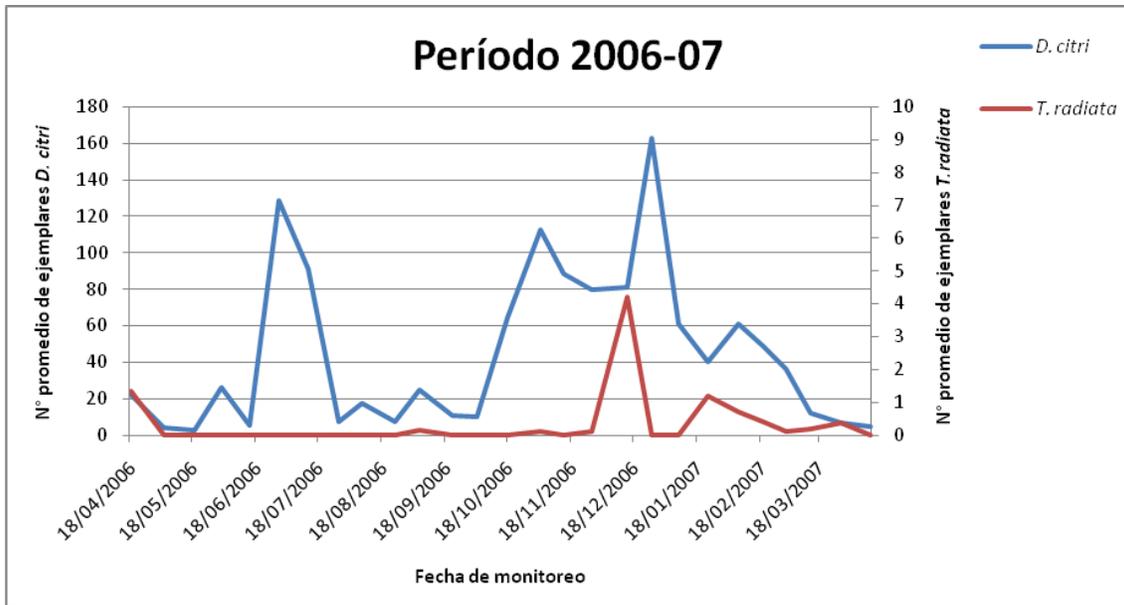


Figura 32: Densidad promedio de *D. citri* y *T. radiata* en trampas adhesivas en el período 2006-07

En el período 2007-08 (Figura 33), la abundancia de *T. radiata* se reduce notablemente, registrándose 1 ejemplar a fines de mayo y 2 ejemplares a fines de diciembre de 2007.



Figura 33: Densidad promedio de *D. citri* y *T. radiata* en trampas adhesivas en el período 2007-08

No se registran ejemplares de *T. radiata* en el último período de monitoreo (Figura 34).

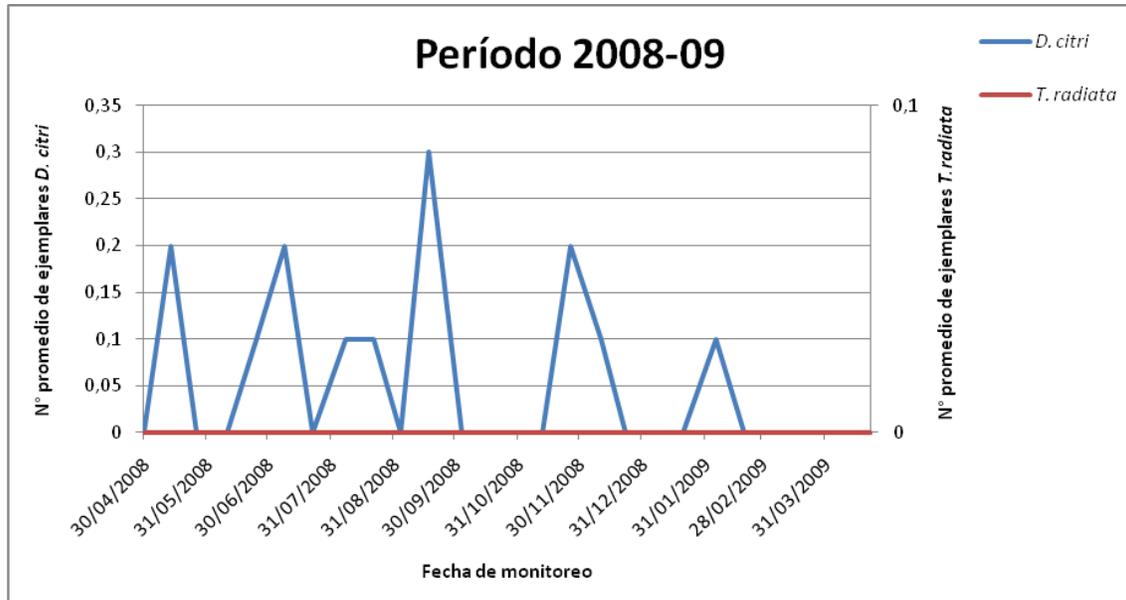


Figura 34: Densidad promedio de *D. citri* y *T. radiata* en trampas adhesivas en el período 2008-09

La tendencia de las poblaciones de *T. radiata* en los años de monitoreo muestra una disminución de las mismas, lo cual coincide con los registros poblacionales de *D. citri*.

f) Modelo de dinámica poblacional de *D. citri*

El modelo "básico"

Entre los períodos estudiados, además de las diferencias en la existencia de una brotación temprana coincidente con el "veranito de San Juan" (ver Figuras 26 y 27), hubo una importante diferencia en la densidad inicial de adultos post-invernantes tal como se registró en las trampas de captura (ver Figuras 32, 33 y 34). Para evidenciar estas diferencias, en la Figura 35 se representa la densidad relativa

acumulada durante las primeras 4 muestras de cada periodo en la misma escala. En el período 2006-07 (13,8 adultos/trampa) fue casi 14 veces mayor que en el período 2007-08 (1,1 adultos/trampa) y 138 veces mayor que en el período 2008-09 (0,1 adultos/trampa).

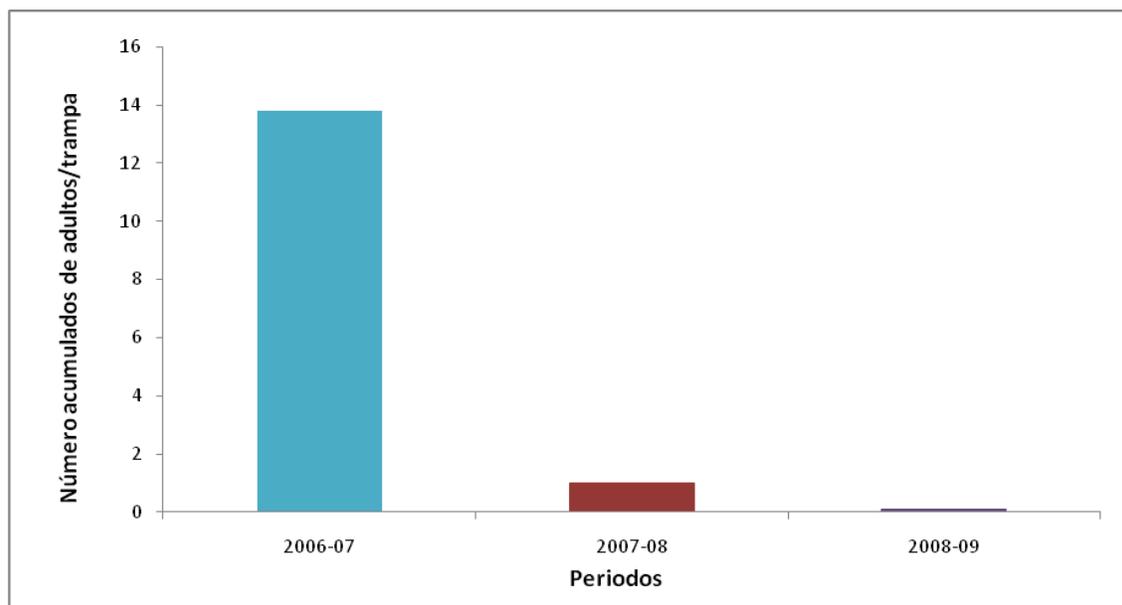


Figura 35: Densidad de adultos/trampa/quinena acumulada durante las primeras 4 muestras de cada período

Al graficar el número calculado de huevos/árbol/quincena para cada período y en las mismas escalas, se observa que en 2006-07 hubo un período de posturas entre los días 60 y 90 con un pico apenas perceptible hacia el día juliano 70, seguido por un segundo período de posturas entre los días 100 y 199 con pico bien evidente hacia el día 150. Hubo luego un tercer período multimodal de posturas entre los días 200 y 350 con un pico mayor hacia el día 270 (Figura 36). En el periodo 2007-08 el primer período de oviposiciones estuvo ausente, registrándose de manera apenas perceptible el segundo período, y sólo estuvo bien evidente el tercer período de oviposiciones entre los días con un pico hacia el día juliano 310 (Figura 37). En el período 2008-09 los dos primeros períodos de oviposiciones fueron apenas perceptibles. Fue bien evidente el tercer

período con un pico marcado de oviposiciones hacia el día juliano 300 (Figura 38).

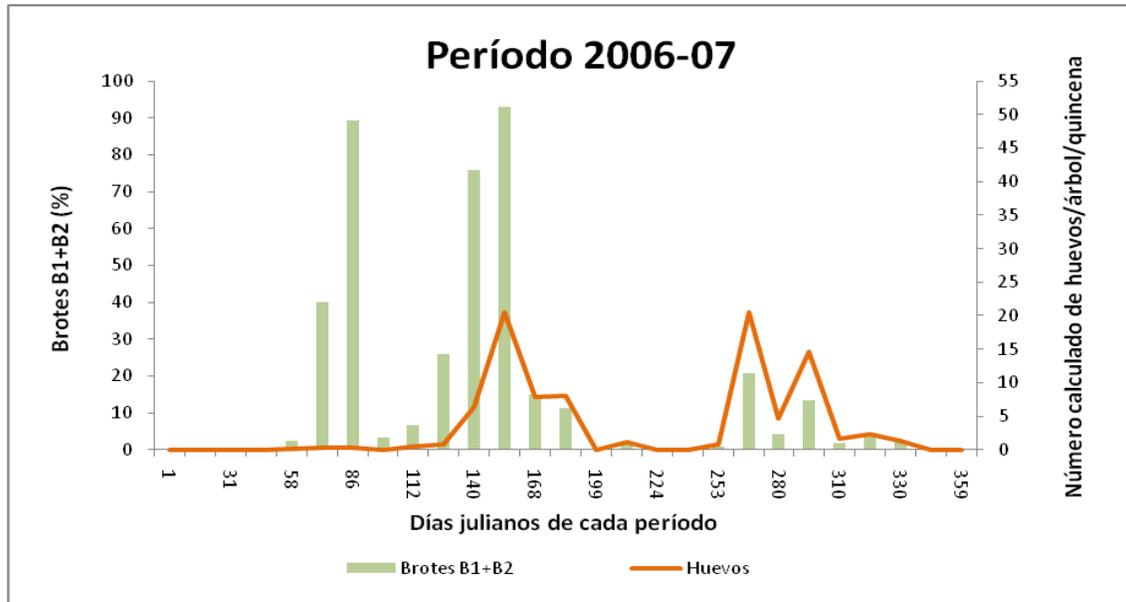


Figura 36: Número de huevos de *D. citri* por árbol por quincena calculado con el modelo básico y brotes B1 +B2 en el período 2006-07

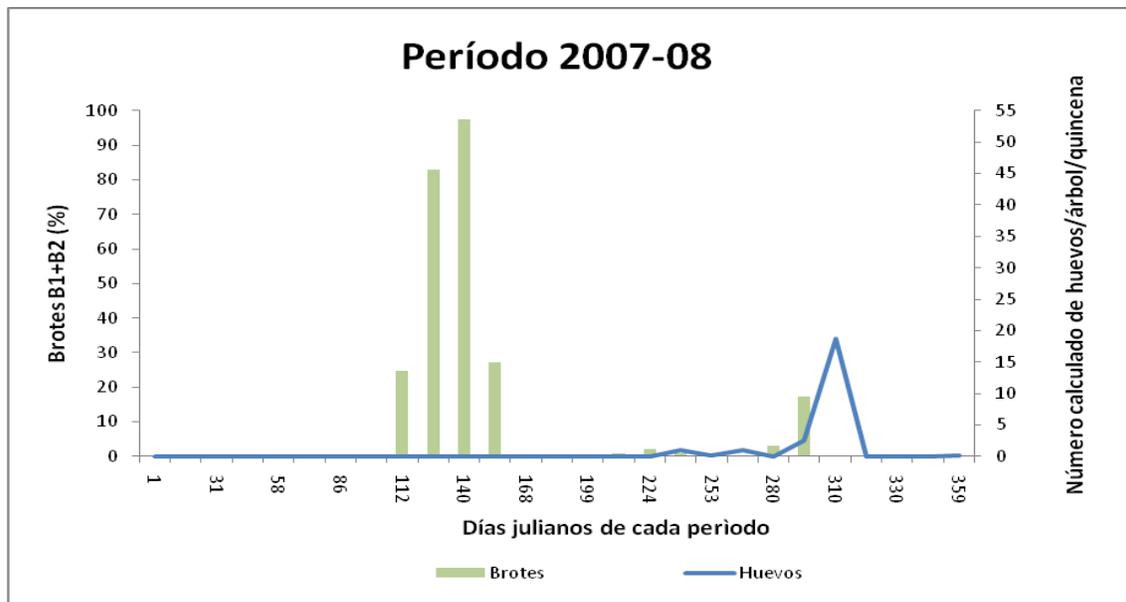


Figura 37: Número de huevos de *D. citri* por árbol por quincena calculado con el modelo básico y brotes B1 +B2 en el período 2007-08

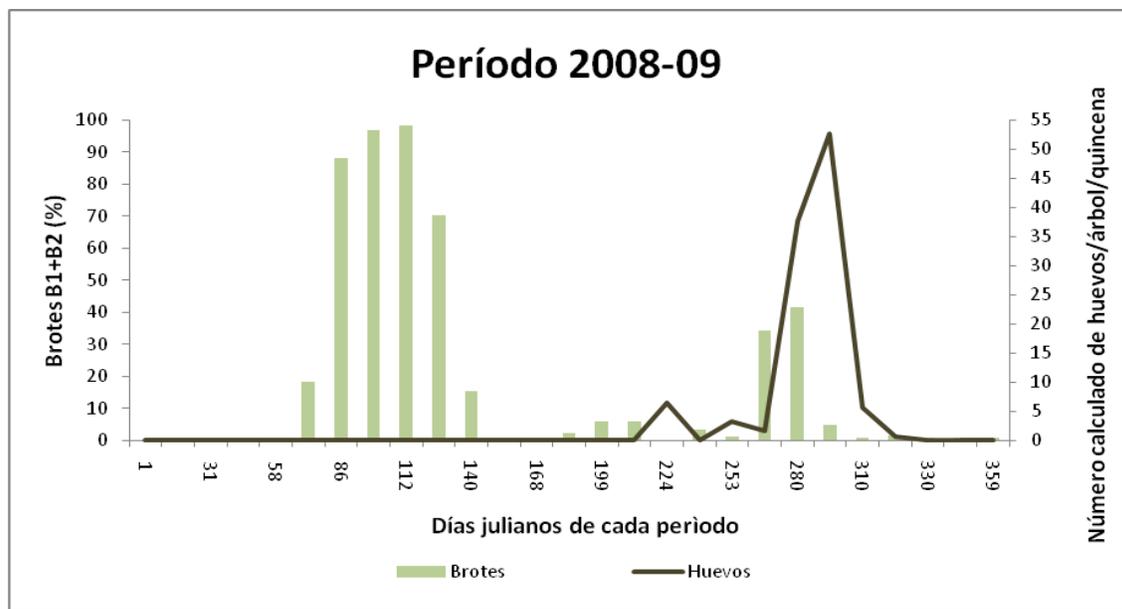


Figura 38: Número de huevos de *D. citri* por árbol por quincena calculado con el modelo básico y brotes B1 +B2 en el período 2008-09

En la Figura 39 se muestra el número calculado de adultos de *D. citri*/árbol/quincena y el porcentaje de brotes tiernos (estados B1+B2) para los tres períodos consecutivos, ahora representados en un mismo gráfico. Los máximos valores en cada período coinciden con el pico de brotación de primavera-verano debido en el retraso de la respuesta numérica de la población de insectos.

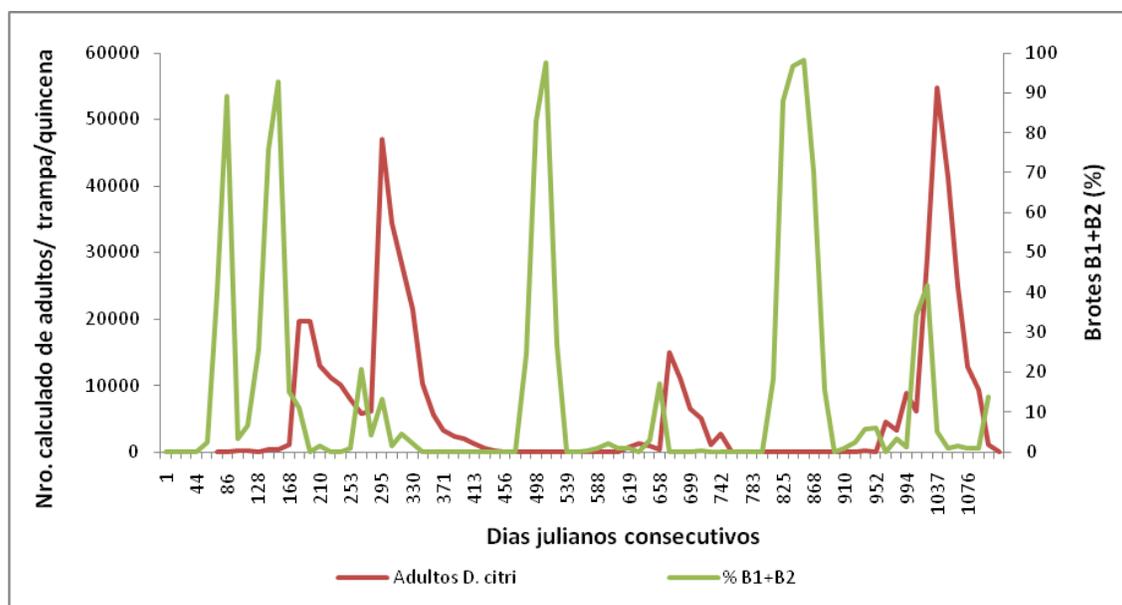


Figura 39: Número de adultos de *D. citri* por árbol por quincena calculado con el modelo básico y brotes B1 +B2 en el período de monitoreo

El modelo "con abamectina"

Al incorporar el efecto de las aplicaciones de insecticidas (ver Figura 31) sobre la supervivencia de ninfas y adultos, el modelo permitió calcular la densidad de adultos de *D. citri*/árbol/quincena, tal como se grafica en la Figura 40. A fin de comparar con anterior se usó la misma escala para expresar la densidad de adultos calculados. Se evidencia el efecto de las aplicaciones sobre la densidad de adultos de *D. citri*, sobre todo en los períodos 2007-08 y 2008-09 en que fueron más frecuentes (ver Figura 31). En el período 2006-07, el pico se redujo 69,5% ya que pasó de 46.962,6 a 14.334,8 adultos/árbol/quincena. En el período 2007-08 el pico disminuyó 89,5%, desde 14.889,9 a 1562,9 adultos/árbol/quincena, mientras que en el período 2008-09 la reducción fue 89,1% puesto que se redujo desde 54.744,8 a 5.953,8 adultos/árbol/quincena (Figuras 40 y 41).

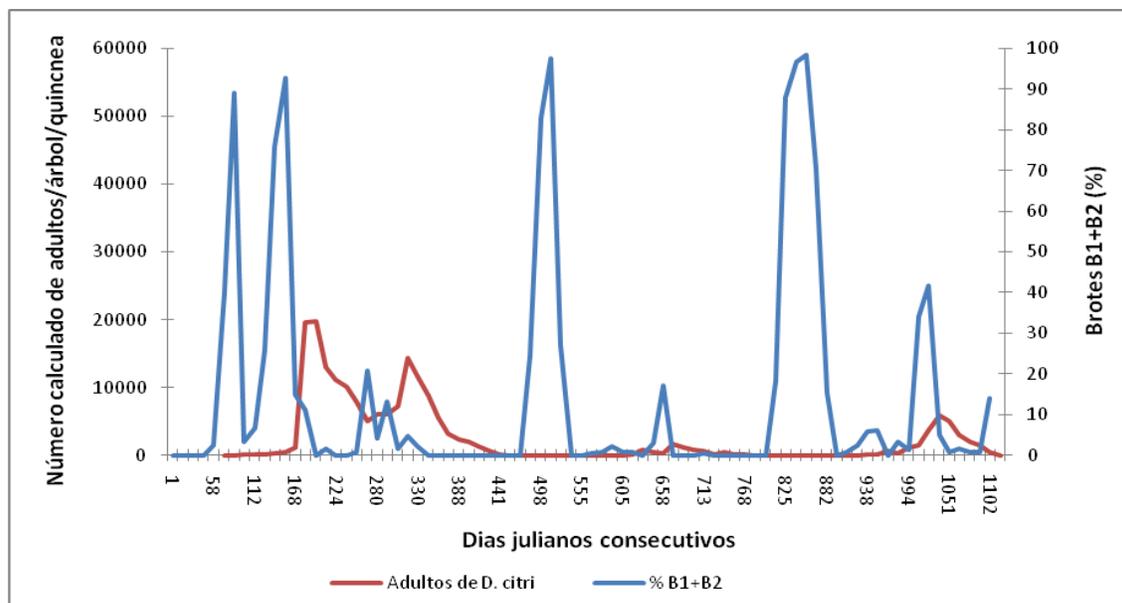


Figura 40: Número de adultos de *D. citri* por árbol por quincena calculado con el modelo con abamectina y brotes B1 +B2 en el período de monitoreo

La densidad absoluta calculada de adultos de *D. citri* (expresada como número de adultos/árbol/quincena) se comparó con la densidad relativa observada de adultos (expresada como número de adultos/trampa/quincena) considerada un indicador real de la densidad media (Figura 41). En la Figura se eliminaron los primeros valores de densidad observados en cada período, ya que están influenciados sólo por el comportamiento y dispersión de adultos, mecanismos no contemplados en el modelo.

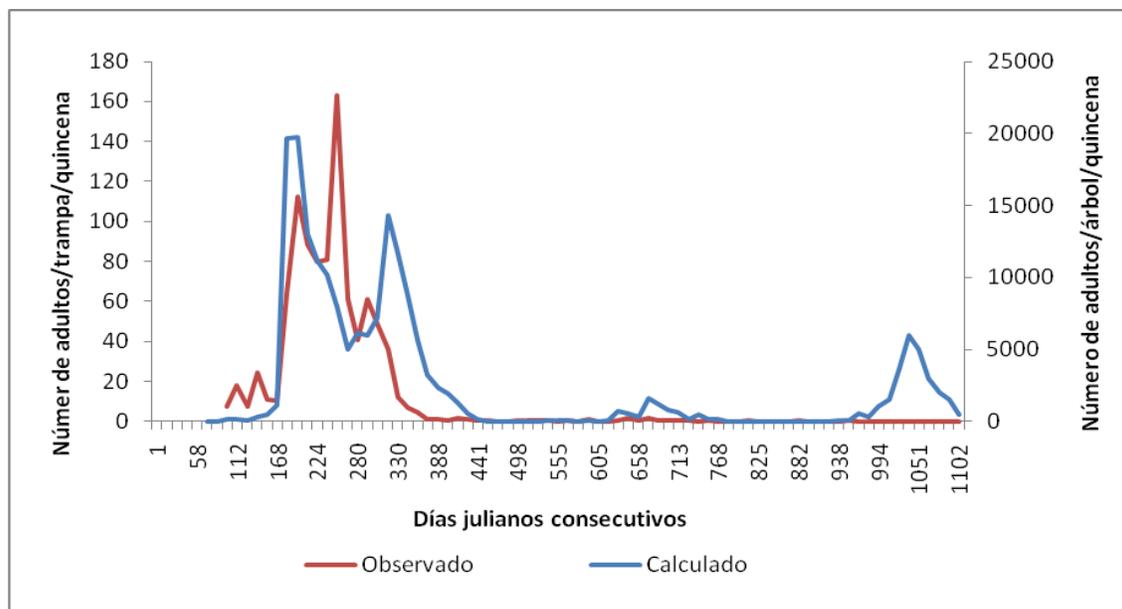


Figura 41: Número de adultos de *D. citri* por árbol por quincena calculado con el modelo con abamectiva y número de adultos de *D. citri* por árbol por quincena observado en las trmapas en el período de muestreo

Al comparar ambas distribuciones, el coeficiente de correlación de Pearson fue significativamente mayor que cero ($R=0,736$, $t_{(72 \text{ gl})}=9,217$, $P<0,0001$) y relativamente elevado, lo cual indica una asociación aceptable (Figura 42) entre el número observado de adultos de *D. citri* en las trampas y el número de adultos de *D. citri* calculado por árbol con el modelo con abamectina.

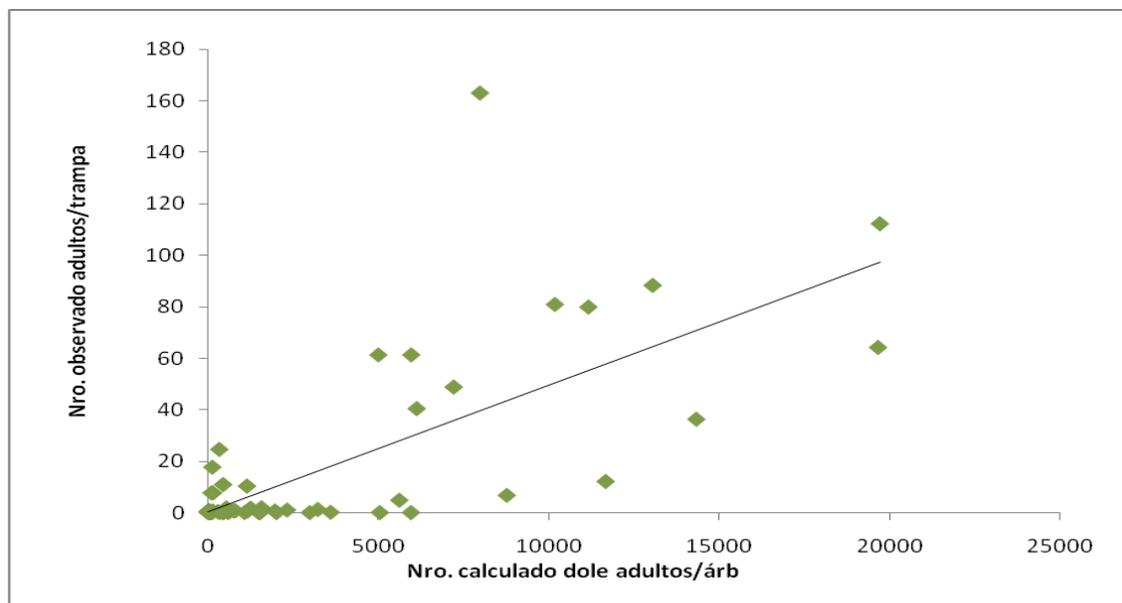


Figura 42: Regresión entre número de adultos de *D. citri* calculado por árbol y número de adultos de *D. citri* observado por trampa

DISCUSIÓN

La chicharrita de los cítricos, *Diaphorina citri*, se encuentra registrada en nuestro país desde hace más de dos décadas, pero por producir daños ocasionales se la considera una plaga secundaria (Vaccaro, 1994). Se desconoce hasta la actualidad el comportamiento de este insecto en condiciones de campo en la región nordeste de la provincia de Entre Ríos.

Debido a que es un eficiente vector de la enfermedad de Huanglongbing (HLB), que afecta a las plantas cítricas, en los países donde está registrada dicha patología este insecto toma gran importancia, considerándose como la plaga más destructiva, siendo prioritaria en los planes de manejo. En estos países, el control de la

misma se inicia una semana antes de llevar la planta al campo y se extiende por toda la vida útil del cultivo. Así mismo, en las plantaciones jóvenes el control debe ser realizado durante todo el año, ya que el período de brotación se extiende más que en las plantas adultas (Tsai *et al.*, 2002; Ahmed *et al.*, 2004; Halbert & Manjunath, 2004; Sétamou *et al.*, 2008b).

El conocimiento de aspectos relevantes de la biología de *D. citri*, permite entender mejor la relación entre un insecto y el ambiente que lo rodea y es de gran utilidad a la hora de diseñar un programa de muestreo eficiente para la estimación poblacional y para interpretar aspectos relevantes de la dinámica poblacional y diseñar estrategias de manejo (Tsai *et al.*, 2000; Tsai & Liu, 2000; Liu & Tsai, 2000; Sétamou *et al.*, 2008).

Curvas poblacionales parciales de *D. citri*. Variación de densidad relativa de adultos

En este estudio, la estimación de la densidad relativa de adultos de *D. citri* se realizó mediante el registro del número de adultos capturado en trampas amarillas pegajosas. Sétamou *et al.* (2008a) y Hall (2008) encontraron que este tipo de trampas es el más eficiente para la captura de adultos de *D. citri* capturados plantaciones de cítricos.

Si bien las fluctuaciones de densidad relativa de adultos entre árboles fue variable, una evaluación preliminar de los gráficos, realizada visualmente, concluyó que eran razonablemente similares pudiendo determinarse en consecuencia un patrón de variación. Confirmando esta evaluación preliminar, los coeficientes de correlación fueron positivos y

elevados (Tabla 1). En consecuencia, la densidad relativa promedio se considera representativa de cada lote.

Los árboles individuales que exhibieron una mayor densidad relativa de psílicos, representarían una población local que partió de una mayor densidad inicial y/o una mayor tasa de incremento. Se considera menos plausible explicarlo en base a una inmigración más o menos continua desde árboles vecinos. En concordancia, Chen (1998); Halbert & Manjunath (2004); Yueping *et al.* (2006) ; Kobori *et al.* (2008), y Aurambout *et al.* (2009), mencionan que la dispersión de los adultos de *D. citri* suele ser rara y baja, ya que son poco voladores y saltan cortas distancias ante un disturbio, generalmente siguiendo la dirección del viento.

Respecto a la variación temporal de la densidad relativa de *D. citri* durante este estudio (Tabla 2), existieron diferencias marcadas tanto entre años (en 2006-07 fue mucho mayor y con más picos que en los restantes) como en un mismo año (muy evidente en dicho período). Como fue constatado por varios autores, un factor relevante a la hora de explicar estas variaciones es la temperatura: condiciona tanto la velocidad de desarrollo y supervivencia del psílido como la reproducción, al estimular la brotación del cítrico. Los brotes tiernos (estadios B1 y B2) constituyen el único lugar donde los adultos depositan los huevos y es el recurso alimenticio de ninfas pequeñas (Atwal *et al.*, 1968; Chen, 1998; Halbert & Manjunath, 2004; Fung & Chen, 2006; Hall *et al.*, 2008; Hall, 2008; Liu & Tsai, 2000).

Consideraciones concordantes fueron realizadas por Atwal *et al.* (1968), quienes muestrearon poblaciones locales del psílido en primavera: en un año dado, notaron que a pesar de haber registrado

una densidad relativa muy alta, el invierno que siguió fue muy frío (frecuentes temperaturas inferiores a cero grados centígrados) y la densidad en la primavera siguiente fue baja. En contraste, el primer invierno, previo a la primavera con alta densidad fue más benigno ya que la temperatura mínima fue de 2,5°C. Los autores atribuyeron la baja densidad en la segunda primavera a una alta mortalidad invernal.

Respecto de la presencia de brotes tiernos, en cultivos cítricos de Brasil, Puerto Rico, Pakistán, Taiwán y Estados Unidos se registraron dos claros picos poblacionales de *D. citri*, coincidentes con otros tantos períodos de brotación: uno en primavera y otro en verano (Wang *et al.*, 1996; Yamamoto *et al.*, 2001; Ahmed *et al.*, 2004; Pluke *et al.*, 2008). En China, Yueping *et al.* (2006) registraron tres claros picos del psílido que coincidieron con las brotaciones de primavera, verano y otoño. Estos autores observaron que en inviernos benignos, los cítricos producen una brotación temprana que permite una oviposición también temprana del psílido, con el consiguiente incremento en el número de picos anuales.

En nuestro caso, el pico poblacional registrado en junio del 2006 (y el sugerido por el modelo en 2008) podrían explicarse por lo mencionado por Yueping *et al.* (2006): ellos observaron que en inviernos cálidos, las plantas producen una brotación que permite la oviposición temprana del psílid y la respuesta numérica se evidencia por un incremento en el número de picos marcados anuales.

Factores climáticos: Temperatura

La temperatura afecta las tasas de desarrollo, supervivencia, reproducción y longevidad de *D. citri*. Si bien este psílido es

relativamente resistente a condiciones ambientales extremas, prefiere bajas altitudes con climas cálidos (Aubert, 1987; Burckhardt, 1994; Costa et al., 2006).

Las temperaturas óptimas para el desarrollo de *D. citri* se sitúan entre 25-28°C (Halbert & Manjunath, 2004; Fung & Chen, 2006; Hall et al., 2008; Hall, 2008), aunque el rango de temperatura favorable para el psílido es de 22-29°C (Chen, 1998). Fung & Chen (2006) encontraron que los adultos de *D. citri* a menos de 16°C y a más de 32°C dejan de reproducirse, y temperaturas menores a 10°C o mayores a 33°C no permiten que se complete el desarrollo (Yang, 1989; Tsai et al., 2002; Nakata, 2006; Nava et al., 2007; Hall, 2008). En el rango de temperaturas favorables, Liu & Tsai (2000) observaron que la tasa de desarrollo aumenta linealmente con la temperatura, pero cuando sobrepasa los 28°C, empieza a decaer.

En el campo, cuando las temperaturas son menores a 20°C, los individuos reducen su actividad y reproducción y las poblaciones declinan (Chen, 1998). Respecto de las temperaturas muy bajas, se ha observado que pueden hibernar (Halbert & Manjunath, 2004), y aunque la mortalidad invernal suele ser elevada, los individuos que sobreviven son capaces de reproducirse (Mead, 1977; Yueping et al., 2006; Hall, 2008). Ashihara (2004) observó que en Kuchinotsu (Japón) en un invierno con temperatura media de -3,3°C, sólo el 4% de la población sobrevivió.

En este estudio los registros de temperatura mínima media entre los meses abril y julio del período 2006-07 fueron mayores al límite térmico inferior de 10°C, y coincidentemente se registró una brotación temprana y una relativamente alta captura de adultos de *D. citri* con un pico de población entre los meses de junio y julio, período que se denomina vulgarmente "Veranito de San Juan" (Figura 1). Los

subsiguientes elevados picos de densidad en primavera-verano serían consecuencia de la respuesta numérica de la población. En el período 2007-08 los registros de temperatura mínima media entre abril y julio fueron siempre inferiores al límite inferior de 10°C (Figura 4), hubo ausencia de brotación temprana y una muy baja densidad relativa de adultos de *D. citri*. Al analizar los datos de temperatura media con la abundancia de *D. citri* y los flujos de brotación en el “veranito de San Juan”, se encuentra una alta correspondencia entre la población del psílido con las dos variables, lo cual se corresponde con lo mencionado por Paiva (2009), quien concluye que los dos principales factores ecológicos que parecen influenciar el desarrollo de *D. citri* en cítricos en EEUU, son los flujos de brotación y la temperatura.

Sin embargo en el tercer período (2008-09), la temperatura mínima media entre los meses abril y julio fue también mayor al límite térmico inferior de 10°C en gran parte del período, hubo brotación temprana, pero a diferencia a lo esperado (ver más abajo), la densidad relativa de adultos del psílido fue muy baja. Una explicación plausible se basa en una elevada mortalidad provocada por la reiterada y numerosa aplicación de pesticidas (contra otra plaga), que no existieron en el primer período.

Factores climáticos: Humedad relativa y Precipitación

Una moderadamente alta humedad relativa (HR) favorece la supervivencia de *D. citri*, aunque tiene efectos negativos cuando es muy baja o muy alta (Catling, 1970; Tsai *et al.*, 2002; Yueping *et al.*, 2006; Yang *et al.*, 2006; Hall, 2008; Paiva, 2009). En Florida, Halbert y Manjunath (2004) observan que humedades cerca del punto de

saturación afectan a los psílicos, ya que promueven la proliferación de hongos a los cuales son muy susceptibles los estadios ninfales. En consonancia, Ahmed *et al.* (2004) en Pakistán encuentran una correlación negativa entre la humedad relativa y la abundancia de *D. citri*.

En la región del nordeste de la Provincia de Entre Ríos, durante los períodos de muestreo se observó que la humedad relativa se mantuvo entre 90% y 50%, con una leve tendencia declinante (Figura 13), por lo que se consideró no sería un factor relevante en la dinámica poblacional de *D. citri*.

Respecto de las precipitaciones se menciona que su efecto es algo ambiguo. Por un lado, favorecen la brotación del cítrico brindándole recursos al psílido (Aubert, 1987; Paiva, 2009), pero por el otro inducen el incremento de la HR y en particular las precipitaciones fuertes podrían eliminar los huevos y las ninfas. Los adultos, en cambio, no se verían tan afectados ya que podrían protegerse mejor debajo de las hojas (Regmi & Lama, 1988; Tsai *et al.*, 2002; Michaud, 2004; Qureshi *et al.*, 2009).

En este estudio, al igual que la HR, las precipitaciones disminuyeron durante el período de muestreo (Figura 14). Esta tendencia puede atribuirse al fenómeno de "La Niña". Por otro lado, cuando se analizan los la densidad relativa de adultos de *D. citri*, con las precipitaciones consideradas torrenciales, se observó una reducción de la densidad relativa inmediatamente después (Figura 15), lo que coincide con lo observado por Tsai *et al.* (2002) en Florida, Ahmed *et al.* (2004) en Pakistán y Atwal *et al.* (1968) en India, quienes encontraron correlaciones negativas entre la precipitaciones fuertes y la densidad del insecto.

Factores climáticos: heliofanía y viento

Sétamou *et al.* (2008a) y Hall (2008) sugieren que las horas de luz regulan la actividad de vuelo, el comportamiento de selección de hospederos, la cópula, la oviposición y otras actividades, tales como la alimentación. Además, encontraron que el número de adultos de *D. citri* capturados en las trampas amarillas pegajosas aumentó con la duración del fotoperíodo.

En el período de muestreo, si bien la heliofanía mostró una leve tendencia a aumentar, es difícil evaluar su efecto sobre las poblaciones de *D. citri*.

Respecto del viento, además de tender a reducir la HR favorece la dispersión de *D. citri*, pero su influencia dentro de las plantaciones en la región puede considerarse bajo, debido a las cortinas rompeviento que protegen las plantas, por lo cual no fue considerado en el modelo.

Tiempo de desarrollo y supervivencia de *D. citri*

Burckhardt (1994) asevera que la historia de vida de los psílicos está generalmente sincronizada con la de su hospedero, muchas especies subtropicales o de clima templado son polivoltinas con superposición de generaciones. Aubert (1987) por su lado, menciona que *D. citri* puede realizar el ciclo de desarrollo en cualquier época del año, basta que las hembras dispongan de plantas hospederas en estado de brotación. En concordancia con esto, según los datos de temperatura tomados en el área de estudio, los límites térmicos, los valores de supervivencia y de tiempo de desarrollo de laboratorio de *D. citri* (Nava *et al.*, 2007), se encontró que la supervivencia teórica del psílido es alta,

con valores mínimos de 35 % y máximos de 72 % (Figura 18). A diferencia de lo mencionado por los autores, se observa que las temperaturas invernales pueden afectar al tiempo de desarrollo de la plaga (Figura 19). Respecto del tiempo de desarrollo, sólo por cortos períodos la temperatura media estuvo por debajo del umbral inferior que permite el desarrollo de *D. citri*.

Longevidad y Fecundidad

Los adultos de *D. citri* pueden alimentarse y vivir por largos períodos (3-4 meses) en hojas maduras en el campo y las hembras pueden colocar hasta 800 huevos en su vida (Mead, 1977; Aubert, 1987; Burckhardt, 1994; Tsai & Liu, 2000; Halbert & Manjunath, 2004; Childers & Rogers, 2005; Rogers & Stansly, 2006; Hall, 2008; Sétamou *et al.*, 2008; Qureshi *et al.*, 2009). En base a resultados experimentales aportados por Liu & Tsai (2000) y los registros de temperaturas en la zona de este estudio, se sugiere que la longevidad de *D. citri* superaría los 4 meses (Figura 20). Por otro lado, las hembras podrían llegar a ovipositar hasta 730 huevos bajo las temperaturas que ocurren en la zona (Figura 21).

Tiempo generacional y número de generaciones anuales

Resultados experimentales mostraron que *D. citri* cumple su ciclo de vida en 12 días a 32°C (Nava *et al.*, 2007) y en 60 días a 16°C (Fung & Chen, 2006), siendo el promedio de 25 días a valores intermedios de temperatura (Mead, 1977; Burckhardt, 1994; Chen, 1998; Halbert & Manjunath, 2004; Fung & Chen, 2006). En base a estas relaciones y los

registros de temperatura en la zona de estudio, se calculó que el psílido puede completar su ciclo en un mínimo de 14 días (enero de 2008), un máximo de 67 días (septiembre 2008) y un promedio de 23 días en los tres períodos analizados (Tabla 8).

Respecto a las generaciones que pueden completar en un año, se registran un mínimo de 6 generaciones anuales en China (Yang *et al.*, 2006) y un máximo de 16 generaciones anuales en Punjab, India (Husain & Nath, 1927; Atwal *et al.*, 1968), con un promedio de 10 generaciones en estos países como también Taiwán y Florida (Lin *et al.*, 1973; Mead, 1977; Burckhardt, 1994; Chen, 1998; Aurambout *et al.*, 2009). En el presente estudio, según la cantidad de grados-día acumulados y la disponibilidad de brotes, *D. citri* podría llegar a cumplir un mínimo de 12 generaciones en el período 2006-2007 y 2008-2009, y un mínimo de 11 generaciones en el período 2007-2008 (Tabla 8).

Efectos de la fenología

El clima es un factor crítico para el desarrollo de las plantas, siendo la temperatura la variable climática más importante en el desarrollo vegetativo, interviniendo en todos los procesos metabólicos y fisiológicos de las plantas. En los cítricos, el rango óptimo para el crecimiento es entre los 23°C y 34°C. Además, las bajas temperaturas invernales actúan como factor inductivo primario en la brotación (Agustí *et al.*, 2003; Sozzi, 2007). Por lo tanto, las variaciones anuales de temperatura determinan el desarrollo vegetativo en un sitio determinado.

Muchos investigadores coinciden en que la fluctuación poblacional de los psílicos está íntimamente relacionada con los ritmos de brotación y calidad de los brotes, ya que los huevos son puestos exclusivamente

en los brotes jóvenes y las ninfas se desarrollan en hojas jóvenes. Por tanto, los picos poblacionales pueden ocurrir en cualquier momento del año dependiendo de las condiciones ambientales y de la disponibilidad de brotes jóvenes (Tsai *et al.*, 2000; Tsai *et al.*, 2002; Hamada *et al.*, 2005; Costa *et al.*, 2006; Hall, 2008; Hall *et al.*, 2008; Tsagkarakis & Rogers, 2009; Aurambout *et al.*, 2009).

En la región nordeste de la Provincia de Entre Ríos, las brotaciones en los tres períodos de monitoreo fueron diferentes: en el período 2006-07 se registraron tres picos de brotación, en cambio en el período 2007-08 sólo se registraron dos picos y en el período 2008-09 si bien se observan también dos picos de brotación, uno se extiende desde mediados de junio hasta principios del mes de septiembre (Figuras 26 y 27).

Manejo de plagas en el cultivo de naranja Valencia Late

Las interacciones con otros insectos que utilizan los mismos recursos son factores que afectan negativamente la dinámica poblacional de *D. citri* (Aurambout *et al.*, 2009).

Por lo general, esta plaga es considerada un buen competidor, ya que se ha observado que poblaciones altas pueden desplazar al minador de los cítricos y al complejo de áfidos presentes habitualmente en el cultivo (González *et al.*, 2005). Se explica por lo temprano que coloniza un brote (cuando éste tiene alrededor de 1 mm de longitud), por su alta fecundidad y porque degradaría el recurso a un nivel no apto para los otros insectos (Fernández *et al.*, 2007). En la zona de estudio, debido a que las poblaciones de *D. citri* son por lo general bajas, no se realiza control químico dirigido al psílido sino que se lo dirige contra el minador de las hojas y los áfidos, aunque afecta también a aquel.

Interacción *Diaphorina citri* – *Tamarixia radiata*

Los enemigos naturales son otro de los factores que afectarían la dinámica poblacional de *D. citri*. Si bien no hay consenso entre los investigadores, Hall *et al.* (2008) consideran a los enemigos naturales como los factores más importantes en la regulación de la población de *D. citri*, pero otros investigadores consideran que su efecto es muy variable y en algunos casos no es relevante (Halbert & Manjunath, 2004; Paiva, 2009).

En este estudio, si bien el muestreo no estuvo focalizado a los enemigos naturales, se registraron adultos del parasitoide *Tamarixia radiata*, que aunque en muy baja densidad relativa, se insinúa en un diagrama de fase una típica interacción huésped-parasitoide. Además, los cambios en la abundancia entre años coinciden con lo observado para el psílido, lo cual hace suponer que se debería a la reducción de la población huésped y/o a los efectos negativos de las condiciones climáticas y del manejo.

Modelo de dinámica poblacional de *D. citri*

El modelo se considera importante para: a) sintetizar la información relevante, b) analizar cambios en la dinámica poblacional del mismo bajo distintos escenarios posibles a fin de interpretar los datos de campo, y c) proveer una herramienta para el manejo del psílido.

El modelo se considera un primer paso, ya que podría ser mejorado con más y mejor información, así como mediante la incorporación de otros factores no considerados tales como interacciones de competencia intra e interespecífica e interacciones

presa-depredadores y huésped- *Tamarixia radiata*. Además, interpreta una condición de "campo medio" sin tener en cuenta los árboles individuales que podrían proveer más información. Además debería ser validado con datos independientes.

A pesar de estas limitaciones la correlación entre los valores calculados con el modelo completo, que incorpora el efecto de las aplicaciones de pesticidas, y los valores observados, fue positiva y elevada. Esta correlación fue considerada una forma de validar el modelo, si bien no se desconoce que uno de los criterios para una validación estricta debería hacerse con datos observados independientes, no usados en la construcción del modelo. Sin embargo, la cantidad de información fue un factor limitante, por lo que se optó por violar uno de los criterios estrictos en la validación del un modelo (Haefner, J. W. 1996).

En modelo muestra una marcada superposición de generaciones sucesivas ya que la presencia de brotes tiernos es relativamente prolongada, y el período de oviposición es prácticamente continuo pues siempre hay adultos reproductores. (Figuras 36, 37, 38, 39, 40). Muestra también que la mayor densidad de adultos de *D. citri* se concentra en la brotación de verano, aunque la cantidad estimada de brotes por árbol sea menor que en primavera, lo que refleja el retraso temporal de la respuesta numérica del psílido.

Las diferencias en el tamaño de los picos de densidad reflejan tres elementos: la diferencia en la cantidad calculada de brotes tiernos, la diferencia en la fecundidad que a su vez refleja la diferencia en la temperatura, y la diferente densidad inicial de adultos. Los picos máximos calculados para los períodos 2006-07 y 2008-09 fueron mucho mayores que el calculado para el período 2007-08. Cuando se incorpora el manejo, el pico correspondiente al período 2008-09 se redujo

notoriamente y se ajusta mejor a los datos observados a campo. Esto indica que el manejo de productos agroquímicos es un factor importante a la hora de analizar la dinámica de población de esta plaga aunque no esté orientado a la misma.

Por último, el modelo brinda pautas para predecir picos poblacionales en primavera y sobre todo en verano: si el invierno es moderado y existe una brotación temprana y si se registran tempranamente adultos de *D. citri* en las trampas, es de esperar picos poblacionales importantes.

CONCLUSIONES

1. *D. citri* estuvo presente en los lotes durante el estudio, exhibiendo una marcada diferencia espacio-temporal en la densidad: en el primer año fue mayor que en los otros dos años, y en los lotes de naranja mayor que en los de mandarina. A la escala del árbol, también mostró presencia en todos y diferencias marcadas de densidad. Sin embargo existió una elevada correlación de la densidad relativa de adultos de *D. citri* entre árboles. La densidad promedio muestra un pico de densidad en junio (presente en los años con brotación temprana) y tres picos mayores en verano.
2. En base a los requerimientos térmicos, la longevidad y la fecundidad de los adultos de *D. citri* (aportados por la literatura) y los registros de temperatura media en la zona de estudio permiten mostrar que *D. citri* completaría más de 12 generaciones en ese período. Respecto del invierno, las temperaturas moderadas permiten la brotación temprana de los cítricos, la reproducción y la supervivencia pre-imaginal de *D. citri*. Luego, la existencia de una brotación temprana está vinculada a una mayor densidad poblacional de *D. citri* durante la brotación de verano de los cítricos.
3. La humedad relativa, la heliofanía y la velocidad del viento no muestran correlaciones significativas con la densidad relativa de adultos de *D. citri*.
4. Las precipitaciones torrenciales (más de 40mm/evento de lluvia) serían un factor de mortalidad que afectaría básicamente a las ninfas.

5. Otros factores de mortalidad fueron: a) la depredación y el parasitismo, b) la competencia intraespecífica cuando el recurso alimenticio (brotes tiernos) es escaso, y c) la aplicación de pesticidas (abamectina).

El efecto de los enemigos naturales aportados por la literatura es ambiguo, y en este estudio sólo se hizo un análisis cualitativo, constatando sólo la presencia de algunas especies depredadoras y el parasitoide *Tamarixia radiata*.

La literatura muestra la existencia de la competencia intraespecífica por un recurso escaso (representado por la cantidad de brotes en estados B1+B2) que afectando tanto la fecundidad de los adultos como la supervivencia ninfal. En este estudio, observaciones en el campo permitieron estimar en 10 el número máximo de huevos que se desarrollarían hasta los últimos estadios ninfales en un brote temprano.

Otros autores estimaron en experimentos de laboratorio el efecto de distintas concentraciones de abamectina sobre la supervivencia de *D. citri*. En este estudio se consideró este efecto, aunque el control químico con abamectina estuvo dirigido a otras plagas presentes en el cultivo de Naranja Valencia Late.

6. Se construyó un modelo simple de "campo medio" (no considera la dispersión de adultos entre árboles ni el efecto de los enemigos naturales), con información aportada por la literatura y por este estudio. En el primer caso figuran los requerimientos térmicos para completar el desarrollo pre-imaginal, la fecundidad potencial promedio, la longevidad y fecundidad del adulto en función a la temperatura y la supervivencia

preimaginal cuando el recurso alimenticio es escaso y cuando se usa el insecticida abamectina, aún cuando el recurso no sea escaso. En el segundo caso, la temperatura media y la cantidad de brotes tiernos durante el intervalo entre dos muestras sucesivas, la densidad inicial de adultos y las fechas y dosis utilizadas de abamectina. Para su validación se correlacionó la densidad calculada (expresada como número de adultos/árbol/quincena) con la densidad relativa observada (número de adultos/trampa/quincena).

7. Los tres años fueron diferentes en lo que respecta al clima, al manejo de las plantaciones y la densidad poblacional estival de *D. citri*. El primer año tuvo un invierno moderado con presencia de brotación temprana y elevada densidad inicial de adultos de *D. citri* y mostró una muy elevada densidad poblacional de la plaga durante la brotación "normal" de los cítricos no habiéndose realizado aplicaciones de pesticidas. El segundo año exhibió un invierno frío, ausencia de brotación temprana, baja densidad inicial de adultos y una muy baja densidad poblacional de la plaga en verano, con pocas aplicaciones de pesticidas. El tercer año tuvo un invierno moderado con presencia de brotación temprana y muy baja densidad inicial de adultos de *D. citri* y mostró una baja densidad poblacional de la plaga durante la brotación "normal" de los cítricos habiéndose realizado numerosas aplicaciones de pesticidas. La correlación entre los valores calculados y observados fue significativamente mayor que cero y relativamente elevado ($R=0,736$), lo cual muestra una asociación aceptable entre los valores calculados y observados. Sugiere además, que el modelo ha considerado factores relevantes de la dinámica poblacional de *D. citri*.

8. El modelo sugiere que las variables más importantes en la dinámica poblacional de *D. citri* y que determinan la magnitud de los

picos de densidad de adultos en momentos de la brotación de verano son: a) la temperatura invernal, b) la brotación temprana (presencia de brotes B1+B2 en invierno), c) la fumigación y d) la densidad inicial de adultos, en menor medida.

9. La conjunción de temperaturas invernales moderadas y la existencia de brotación invernal de los cítricos (junto a la presencia de adultos) serían indicadores de alerta respecto de la densidad de *D. citri* en verano.

10. El modelo predice que la mayor densidad poblacional de *D. citri* ocurrirá durante la brotación de verano, y si hubo brotación temprana, esta densidad será muy elevada. La presencia de fumigaciones (aún cuando el control sea orientado a otras plagas) reducirá sustancialmente esta densidad.

BIBLIOGRAFÍA

- Agustí, M., A. Martínez-Fuentes y C. Mesejo. 2003. Factores Medioambientales. En Citricultura. Editorial Mundi Prensa. 2da edición. Madrid, España. 422 pp.
- Ahmed, S.; N. Ahmad and R.R. Khan. 2004. Studies on Population dynamics and chemical control of citrus psylla, *Diaphorina citri*. International Journal of Agriculture and Biology. 6(6): 970-973.
- Ashihara, W. 2004. Survival of asian psyllid, *Diaphorina citri* Kuwayama adults under winter temperature conditions in central and south Kyushu. J. Appl. Entomol. Zool. 48: 207-211.
- Aubert, B. 1987. Le greening, une maladie infectieuse des agrumes, d'origine bactérienne, transmise par des Homoptères psyllidés. Stretégie de lute développée à l'Île de la Réunion Circonstances épidémiologiques en Afrique/Asie et modalités d'internetion. IRFA/CIRAD-B.P. 180-97455. Saint Pierre Cedex. 185 pp.
- Aurambout, J.P.; K.J. Finlay; J. Luck; G.A.C. Beattie. 2009. A concept model to estimate the potential distribution of the Asiatic citrus psyllid (*Diaphorina citri* Kuwayama) in Australia under climate change – A means for assessing biosecurity risk. Ecological Modeling. 220: 2512-2524.
- Atwal, A.S.; J.P. Chaudhary and M. Ranzan. 1968. Studies on the development and field population of citrus psylla, *Diaphorina citri* Kuwayama (Psyllidae: Homoptera). Journal of Research Punjab Agricultural University. 7: 333-338.

- Begon, M; C. Townsend & J. Harper. 2006. Ecology. From individuals to ecosystems. Blackwell Publishing Ltd. 350 Main Street, Malden, MA 02148-5020, USA, 738 pp.
- Bové, J.M.; M.M. López y N. Duran-Vila. 2006. Evitar el Huanglongbing (HLB), un reto para la supervivencia de la citricultura española. Levante Agrícola: Revista internacional de cítricos, ISSN 0457-6039, Nº. 383, pags. 385-390.
- Burckhardt, D. 1994(a). Psyllid pest of temperate and subtropical crop and ornamental plants (Hemiptera, Psylloidea): A review. Entomol. (Trends in Agril. Sci). 2: 173-186.
- _____ 1994(b). Generic key to Chilean jumping plant-lice (Homoptera: Psylloidea) with inclusion of potential exotic pest. Rev. Chilena Ent. 21: 57-67.
- 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: 8-15.
- Chen, Ch. 1998. Ecology of insect vectors of citrus systemic diseases and their control in Taiwan. Managing banana and citrus diseases. Proceedings of Disease Management of Banana of Citrus Through the Use of Disease-free Planting Materials. Davao City, Philippines. pp. 62-66.
- Childers, C.C. and M.E. Rogers. 2005. Chemical control and management approaches of the asian citrus psyllid, *Diaphorina citri*

Kuwayama (Homoptera: Psyllidae) in Florida citrus. Proc. Fla. State Hort. Soc. 118: 49-53.

- Costa, M.G.; J.C. Barbosa e P.T. Yamamoto. 2006. Distribuição de ninfas de *Diaphorina citri* em árvores cítricas. Huanglongbing Greening Workshop International. Riberão Preto, SP, Brazil. p. 99.
- Fabiani, A.; R. Mika; L. Larocca; C. Anderson. 1996. Los Cítricos. En: Manual para productores de Naranja y Mandarina de la región del Río Uruguay. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. 238 p.
- Felipe, M.R.; A. Uehara-Carmo; G.R. Rugno; J.H. Coelho; N.L. Ximenes; L.F. Garbin e P.T. Yamamoto. 2006. Influência de las armadilhas adesivas amarelas na flutuação populacional de insetos vetores da CVC e HLB (Hemiptera: Cicadellidae e Psyllidae) na bordure e área central de pomar cítrico. Huanglongbing Greening Workshop International. Riberão Preto, SP, Brazil. p. 100.
- Fernández M. e I. Miranda. 2005a. Comportamiento de *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Psyllidae). Parte I: Características morfológicas, incidencia y enemigos naturales asociados. Revista de Protección Vegetal. 20 (1): 27-31.
- _____ 2005b. Comportamiento de *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Psyllidae). Parte II: Conducta preferencial con relación a la fenología del cultivo. Revista de Protección Vegetal. 20 (2): 122-124.
- Ferreira Filho, P.J. 2005. Estudo de populações do psíldeo-de-concha, *Glycaspis brimblecombei* (Hemiptera: Psyllidae) e de seu parasitoide,

Psyllaephagus bliteus (Hymenoptera: Encyrtidae) em floresta de *Eucalyptus camaldulensis* por dois métodos de amostragem. Dissertação para obtenção do título de Mestre em Agronomia Proteção de Plantas. Botucatu, Brasil. 52 pp.

- Fung, Y.Ch. and Ch.N. Chen. 2006. Effects of temperature and host plant on population parameters of the citrus psyllid (*Diaphorina citri* Kuwayama). Formosan Entomol. 26: 109-123.
- Garrán, S.M.; C. Anderson y R.O. Garín. 2005. Metodología para el Registro de Observaciones Fenológicas en Cítricos. V Congreso Argentino de Citricultura. Concordia, Entre Ríos, Argentina. p. 2.
- Gómez Torres, M.L.; D.E. Nava e J.P.R Parra. 2006. Técnica de criação de *Tamarixia radiata* e porcentagem de parasitismo em pomares de citros no Estado de São Paulo, Brasil. Huanglongbing Greening Workshop International. Riberão Preto, SP, Brasil. p. 103.
- González, C.; D. Hernández; R.I. Cabrera y J.R. Tapia. 2005. *Diaphorina citri* Kuw., inventario y comportamiento de los enemigos naturales en la citricultura cubana. Instituto de Investigaciones en Fruticultura Tropical. FAO Cuba. 11 pp. <http://www.fao.org/docs/eims/upload/cuba/5279/FAODiaphorina.pdf>
- Gravena, S. 2006. Huanglongbing - o controle biológico do vetor no Estado de São Paulo, Brasil. Huanglongbing Greening Workshop International. Riberão Preto, SP, Brazil. p. 54.

- Guajará, M.; A.G. de Carvalho; W. Santos e K. Gonçalves. 2004. Resposta de *Euphalerus clitoriae* (Hemiptera: Psyllidae) a armadilhas adesivas de diferentes cores. *Revista Árvore*. 28 (1): 117-120.
- Halbert, S.E. and C.A. Nuñez. 2004. Distribution of the asian citrus psyllid, *Diaphorina citri* Kuwayama (Rhynchota: Psyllidae) in the Caribbean Basin. *Florida Entomologist*. 87(3): 401-403.
- Halbert, S. E. and K.L. Manjunath. 2004. Asian citrus psyllid (Sternorrhyncha: Psyllidae) and greening disease of citrus: a literature review and assessment of risk in Florida. *Florida Entomologist*. 87 (3): 330-352.
- Hall, D.G. 2009. An assessment of yellow sticky card traps as indicators of the abundance of adult *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae) in citrus. *Journal of Economic Entomology*. 102 (1): 446-452.
- _____ 2008. Biology, History and World status of *Diaphorina citri*. I taller Internacional sobre Huanglongbing de los cítricos (*Candidatus Liberobacter spp.*) y el psílido de los cítricos (*Diaphorina citri*). Hermosillo, Sonora, México. 11 pág.
- _____ 2008. Effects of freezes on survival of *Diaphorina citri*. International Research Conference on Huanglongbing. Orlando, Florida. Proceedings of de Meeting. p.192.
- Hall D.G., M.G. Henz and R.C. Adair. 2008. Population ecology and phenology of *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae) in two Florida citrus groves. *Environmental Entomology*. 37(4): 914-924.

- Hall D.G., M.G. Henzt and M.A. Ciomperlik. 2007. A comparison of traps and stem tap sampling for monitoring adult asian citrus psyllid (Hemiptera: Psyllidae) in citrus. Florida Entomologist. 90(2): 327-334.
- Hall, D.G. and L.G. Albrigo, 2007. Estimating the relative abundance of flush shoots in citrus with implications on monitoring insects associated with flush. HortSciencie. 42(2): 364-368.
- Hall, D.G. 2006. Biologia e Ecologia do psilídeo asiático de citros na Florida. Huanglongbing Greening Workshop International. Riberão Preto, SP, Brazil. p. 30.
- Hamada, E.; M.A.B. Morandi; F.J. Tambasco; D.A. Pereira e S. Evangelista. 2005. Estimativa de áreas favoráveis á ocorrência da Diaphorina citri (Vetor do Greening asiático) no Estado de São Paulo. http://www.agritempo.gov.br/publish/publicacoes/XIVCBA/CBAgro2005_17.pdf.
- Haefner, J. W. 1996. Modeling biological systems. Principles & applications. Chapman & Hall, New York, New York, USA.
- Hodkinson I.D. 1974. The biology of the psylloidea (Homoptera): a review. Bull. Ent. Res. 64: 325-339.
- INTA. 2008. Primera reunión de entomólogos dedicados al estudio del insecto vector de HLB. Publicación Técnica N° 29. EEA INTA Bella Vista, Corrientes 17 y 18 de Septiembre de 2008. <http://www.inta.gov.ar/bellavista/info/documentos/citricos/ST29.pdf>

- Jessen, R.J. 1955. Determining the fruit count on a tree by randomized branch sampling. *Biometrics*. 11: 99-109.
- Kobori, Y.; T. Nakata; Y. Ohto and F. Takasu. 2008. Ecological studies on initial invasion of *Diaphorina citri* into the newly planting citrus fields. International Research Conference on Huanglongbing. Orlando, Florida. Proceedings of de Meeting. p. 220.
- Liu, Y.H. and J.H. Tsai. 2000. Effects of temperature on biology and life table parameters of the Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri* Kuwayama (Homoptera: Psyllidae). *Ann. Appl. Biol.* 137: 201-206.
- McFarland, C.D. and M.A. Hoy. 2001. Survival of *Diaphorina citri* (Homoptera: Psyllidae), and its two parasitoids, *Tamarixia radiata* (Hymenoptera: Eulophidae) and *Diaphorencyrtus aligarhensis* (Hymenoptera: Encyrtidae), under different relative humidities and temperatures regimes. *Florida Entomology*. 84(2): 227-233.
- Mead, F.W. 2007. Asian Citrus Psyllid, *Diaphorina citri* Kuwayama (Insecta: Homoptera: Psyllidae). University of Florida. IFAS Extension. EENY-033.
<http://edis.ifas.ufl.edu/pdffiles/IN/IN16000.pdf>
- _____ 1977. The asiatic citrus psyllid, *Diaphorina citri* Kuwayama (Homoptera: Psyllidae). *Entomology Circular* N° 180. Fla. Dept. Agric. & Consumer Serv., Division of Plant Industry. pp 4.
- Michaud, J.P. and L.E. Olsen. 2004. Suitability of citrus psyllid, *Diaphorina citri*, as prey for ladybeetles. *BioControl*. 49: 417-431.

- _____ 2004. Natural mortality of Asian citrus psyllid (Homoptera: Psyllidae) in central Florida. *Biological Control*. 29: 260-269.
- Michaud, J.P. 2002. Biological control of Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae) in Florida: A preliminary report. *Entomological News*. 113(3): 216-222.
- Nakata, T. 2006. Temperature-dependent development of the citrus psyllid, *Diaphorina citri* (Homoptera: Psylloidea), and the predicted limit of its spread based on overwintering in the nymphal stage in temperate regions of Japan. *Applied Entomology and Zoology*. 41(3): 383-387.
- Nava, D.E.; M.L.G. Torres; M.D.L. Rodriguez; J.M.S. Bento and J.R.P. Parra. 2007. Biology of *Diaphorina citri* (Hem., Psyllidae) on different host and different temperatures. *J. Appl. Entomol.* 131(9-10): 709-715.
- Paiva, P.E.B. 2009. Distribuição espacial e temporal, inimigos naturais e tabela de vida ecológica de *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Psyllidae) em citros em São Paulo. Tese de Doutorado em Ciências. Piracicaba, Brasil. 64 pp.
- Pluke, R.W.H.; J.A. Qureshi and P.A. Stansly. 2008. Citrus flushing patterns, *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae) and parasitism by *Tamarixia radiata* (Hymenoptera: Eulophidae) in Puerto Rico. *Florida Entomologist*. 91 (1): 36-42.

- Pluke, R.W.H.; A. Escribano; J.P. Michaud and P.A. Stansly. 2005. Potential impact of lady beetle on *Diaphorina citri* (Homoptera: Psyllidae) in Puerto Rico. Florida Entomologist. 88 (2): 123-128.
- Qureshi, J.A.; M.E. Rogers; D.G. Hall and P.A. Stansly. 2009. Incidence of invasive *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae) and its introduced *Tamarixia radiata* (Hymenoptera: Eulophidae) in Florida citrus. J. Econ. Entomol. 102(1): 247-256.
- Regmi, C. & T.K. Lama. 1988. Greening incidence and Greening vector population dynamics in Pokhara. 10th Conf. Int. Org. Citrus Virol. pp. 238-242.
- Rogers, M.E. and P.A. Stansly. 2006. Biology and Management of the Asian Citrus Psyllid, *Diaphorina citri* Kuwayama, in Florida Citrus. University of Florida. IFAS Extension. ENY-739. <http://edis.ifas.ufl.edu/pdf/IN/IN66800.pdf>
- Rogers, M.E. 2006. Programas de manejo integrado para control do psílídeo asiático do citros na Florida. Huanglongbing Greening Workshop International. Riberão Preto, SP, Brazil. p. 58.
- Sétamou, M.; A. Sanchez; J. Patt and E. Louzada. 2008. Diurnal patterns in flight activity and effect of light on host finding behavior of the Asian citrus psyllid. International Research Conference on Huanglongbing. Orlando, Florida. Proceedings of de Meeting. p. 225.
- Sétamou, M.; D. Flores; J.V. French and D.C. Hall. 2008. Dispersion Patterns and sampling plans for *Diaphorina citri* (Hemiptera:

Psyllidae) in citrus. *Journal of Economic Entomology*. 101 (4): 1478-1487.

- Sozzi, Gabriel O. 2007. Requerimientos Ecofisiológicos de los Árboles Frutales. Capítulo 2 de: *Árboles Frutales: Ecofisiología, Cultivo y Aprovechamiento*. Editorial Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires. 848 pp.
- Tsagkarakis, A.E. and M.E. Rogers. 2008. Effects of host plant on fitness of de Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri*. International Research Conference on Huanglongbing. Orlando, Florida. Proceedings of de Meeting. p. 212.
- Tsai, J.H.; J.J. Wang and Y.H. Liu. 2002. Seasonal abundance of the asian citrus psyllid, *Diaphorina citri* (Homoptera: Psyllidae) in Southern Florida. *Florida Entomologist*. 85(3): 446-451.
- _____ 2000. Sampling of *Diaphorina citri* (Homoptera: Psyllidae) on orange jessamine in Southern Florida. *Florida Entomologist*. 83(4): 446-459.
- Tsai, J.H. and Y.H. Liu. 2000. Biology of *Diaphorina citri* (Homoptera: Psyllidae) on four host plants. *Journal of Economic Entomology*. 93(6): 1721-1725.
- Vaccaro, N.C. 1994. Comportamiento y difusión de la "Chicharrita de los Citrus", *Diaphorina citri* Kuwayama (Homoptera: Diaphoridae) en la zona cítrica de Entre Ríos. *Carpeta cítrica: Guía de Enfermedades y Plagas y su control*. ISSN 0826-3282. N° 27. 3 pág.

- Vaccaro, N.C. y J.P.R. Bouvet. 2005. Registro de un Enemigo Natural de la Chicharrita de los Cítricos en Entre Ríos. V Congreso Argentino de Citricultura. Concordia, Entre Ríos, Argentina. Nº 325.
- Wang, L.Y., S.C. Hung, T.H. Hung & H.J. Su. 1996. Population fluctuation of *Diaphorina citri* Kuwayama and incidence of citrus likubin in citrus orchards in Chiayi area. Plant Prot. Bull. 38: 355-365.
- Wenninger, E.J. and D.G. Hall. 2007. Daily timing of mating and age at reproductive maturity in *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae). Florida Entomologist. 90 (4): 715-722.
- Yamamoto, P.T.; M.R. Felipe; G.R. Rungo; V.H. Beloti; J.H.C. Coelho; N.L. Ximenes; L.F. Garbim e A. Carmo-Uehara. 2008. Population Dynamics of *Diaphorina citri* in Citrus Orchard in São Paulo State, Brazil. International Research Conference on Huanglongbing. Orlando, Florida. Proceedings of de Meeting. p. 222.
- Yamamoto, P.T. 2006. Controle químico de *Diaphorina citri* no Brasil. Huanglongbing Greening Workshop International. Riberão Preto, SP, Brazil. p. 56.
- Yamamoto, P. T.; P.E.B. Paiva e S. Gravena. 2001. Flutuação Populacional de *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Psyllidae) em Pomares de Citros na Região Norte do Estado de São Paulo. Neotropical Entomology. 30(1): 165-170.

- Yang, Y. 1989. Influence of light, temperature and humidity on the development, reproduction and survival of citrus psylla (*Diaphorina citri* Kuwayama). *Acta Ecologica Sinica*. 9(4): 348-354.
- Yueping Y; M. Huang; G.A.C. Beattie; Y. Xia; G. Ouyang & J. Xiong. 2006. Distribution, biology, ecology and control of the psyllid, *Diaphorina citri* Kuwayama, a major pest of citrus: A status report for China. *International Journal of Pest Management*. 52(4): 343-352.
- Zubrzycki, H. M. 2004. Programa Nacional de Desarrollo Citrícola. Resolución 685/04. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación. Ministerio de Economía y Producción. 40 pp.