Universidad Técnica de Manabí
Facultad de Ingeniería Agronómica
Carrera de Agronomía

Trabajo de titulación para la obtención del título de Ingeniero Agrónomo bajo la modalidad Artículo Académico Científico

Tema:

Predicción del establecimiento de *Diaphorina citri* Kuyawama y *Tamarixia radiata* Waterston en un huerto de *Citrus aurantifolia* Swingle basándose en la interacción planta-psílido-parasitoide en *Murraya paniculata* L.

Autora:

Ginger Pierina Sornoza Moreira

Tutora:

Dra. Dorys Terezinha Chirinos Torres

Lodana - Manabí - Ecuador

Septiembre 2021

Predicción del establecimiento de *Diaphorina citri* Kuyawama y *Tamarixia radiata* Waterston en un huerto de *Citrus aurantifolia* Swingle basándose en la interacción planta-psílido-parasitoide en *Murraya paniculata* L.

Predicting the establishment of *Diaphorina citri* Kuyawama and *Tamarixia radiata* Waterston on *Citrus aurantifolia* orchards based on the plant-psyllid-parasitoid interaction on *Murraya paniculata* L.

Ginger Sornoza[1] y Dorys T. Chirinos[1*]

1. Facultad de Ingeniería Agronómica, Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Province of Manabí, Ecuador. Email: gingersornoza@outlook.es dorys.chirinos@utm.edu.ec
   *Corresponding Author

Resumen

Antecedentes: El insecto vector de Huanglongbing, *Diaphorina citri* fue detectado en Ecuador en 2013 y su principal parasitoide *Tamarixia radiata* reportado en 2017. En la región productora de cítricos de la provincia de Manabí, Ecuador, *D. citri* y *T. radiata* fueron informados por primera vez sobre *Murraya paniculata* en 2016 y 2018, respectivamente. *Diaphorina citri* se encontró infestando *Citrus aurantifolia* en la provincia de Manabí a fines de 2018. El presente estudio se realizó entre agosto de 2018 y mayo de 2021 a fin de: i) monitorear las poblaciones de *D. citri* en *C. aurantifolia* y *M. paniculata* y determinar los porcentajes de parasitismo de *T. radiata* en ninfas de *D. citri* en ambas plantas hospederas ii) establecer el momento de aparición de *T. radiata* parasitando *D. citri* en *C. aurantifolia,* y iii) calcular un modelo predictivo para estimar el número de ninfas parasitadas en un lote de *M. paniculata* y aplicarlo *C. aurantifolia*.

Resultados: Las poblaciones de *Diaphorina citri* en *M. paniculata* disminuyeron de 11 ninfas por brote (2018-2019) a aproximadamente dos ninfas por brote (2020). Esto se asoció con un aumento en los porcentajes de parasitismo de *T. radiata* del 20% (2018) al 96% en 2020. La ecuación de regresión (Y = 2.049Ln (x) +5.88) pudo estimar el número de *D. citri* parasitado ninfas basadas en parasitismo en *M. paniculata* (R^2: 0.8315). *Tamarixia radiata* se detectó por primera vez en *C. aurantifolia* en julio de 2020. Las poblaciones de *D. citri* alcanzaron 55 ninfas por flujo (sin parasitismo) y posteriormente disminuyeron a niveles mínimos de 14 ninfas por brote (porcentajes de parasitismo de hasta 31%). El modelo permitió estimar el número de ninfas parasitadas por *T. radiata*

sobre *M. paniculata* y *C. aurantifolia*, con una desviación máxima de aproximadamente dos ninfas.

Conclusiones: Con base en la colonización y establecimiento de la interacción psílido-parasitoide en *M. paniculata*, se estima que aproximadamente para fines de 2022, las poblaciones de *D. citri* en *C. aurantifolia* disminuirían debido a los altos porcentajes de parasitismo por *T. radiata*. Los altos porcentajes de parasitismo indican el potencial de *T. radiata* en programas de control biológico de conservación y manejo integrado de plagas.

Palabras clave: biocontrol, psílido asiático de los cítricos, enemigos naturales, parasitismo, manejo de plagas, *Tamarixia radiata*.

Abstract

Background: The insect vector of Huanglongbing, *Diaphorina citri* was detected in Ecuador in 2013 and its main parasitoid *Tamarixia radiata* was reported for the first time in 2017. In the citrus production region of Manabí province, Ecuador, *D. citri* and *T. radiata* were reported for the first time on *Murraya paniculata* in 2016 and 2018, respectively. *Diaphorina citri* was first found infesting *Citrus aurantifolia* in Manabí province at the end of 2018. The present study was conducted between August 2018 and May 2021 to i) monitor *D. citri* populations on *C. aurantifolia* and *M. paniculata* and determine the parasitism rates of *T. radiata* on *D. citri* nymphs on both host plants, ii) establish the time of appearance of *T. radiata* parasitizing *D. citri* on *C. aurantifolia*, and iii) calculate a predictive model for estimating the number of Parasitised nymphs on a planting lot of *M. paniculata* and a *C. aurantifolia* orchard.

Results: *Diaphorina citri* populations on *M. paniculata* decreased from 11 nymphs per flush (2018-2019) to approximately two nymphs per flush (2020). This was associated with an increase in parasitism rates of *T. radiata* from 20% (2018) to 96% in 2020. The regression equation (Y = 2.049Ln (x) +5.88) was able to estimate the number of Parasitised *D. citri* nymphs based on parasitism on *M. paniculata* (R^2: 0.8315). *Tamarixia radiata* was first detected on *C. aurantifolia* in July 2020. Populations of *D. citri* reached 55 nymphs per flush (no parasitism) and subsequently decreased to minimum levels of 14 nymphs per flush (parasitism rates of up to 31%). The model allowed estimating the number of Parasitised nymphs by *T. radiata* on *M. paniculata* and *C. aurantifolia*, with a maximum deviation of approximately two nymphs.

Conclusions: Based on the colonization and establishment of the psyllid-parasitoid interaction on *M. paniculata* it is estimated that approximately by the end of 2022, populations of *D. citri* on *C. aurantifolia* would decline due to high percentages of parasitism by *T. radiata*. High parasitism rates indicate the potential of *T. radiata* in conservation biological control and integrated pest management programs.

Keywords: biocontrol, Asian citrus psyllid, natural enemies, parasitism, pest management, *Tamarixia radiata*.

Introducción

En Ecuador, la citricultura representa una actividad agrícola importante, la cual se produce principalmente en la zona continental. De las 24 provincias del país, los cítricos son sembrados en seis, tanto en la región costera del pacifico como en las regiones altas del país (Cañarte-Bermúdez & Navarrete-Cedeño, 2019) donde se cosechan aproximadamente 29,721 hectáreas (limones, limas, naranjas, mandarinas, entre otros), con una producción anual de 17,544 toneladas (FAOSTAT, 2019). Una de las potenciales amenazas de la citricultura ecuatoriana lo constituye el Huanlongbing, que es considerada la enfermedad bacteriana más destructiva causada por las bacterias *Candidatus* Liberibacter spp. que obstruyen el floema y pueden causar la eventual muerte de la planta (Bové, 2006).

Aunque el Huanlongbing aún no ha sido reportada en Ecuador, en el año 2013, el insecto vector en las Américas, *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Liviidae) fue detectado en la provincia costera de Guayas tanto en cítricos, *Citrus* spp. como en la hospedera ornamental, mirto, *Murraya paniculata* L. (Cornejo & Chica, 2014). A partir de allí se ha dispersado a diferentes regiones citrícolas en la costa y sierra ecuatoriana (Chavez et al., 2019; Erráez Aguilera et al., 2020; Navarrete et al., 2016). Posterior a la detección del fitófago, el parasitoide, *Tamarixia radiata* Waterston (Hymenoptera: Eulophidae) ha seguido la misma dispersión inicial del fitófago, observándose en la provincia de Guayas (Chavez et al., 2017; Portalanza et al., 2017) y posteriormente su presencia se ha sido menciona para la sierra y la costa (Chirinos et al., 2019; Erraez et al., 2019; Cuadros et al., 2020).

Una de las principales provincias citrícolas de la costa, es Manabí, en la que *D. citri* fue observada por primera vez sobre arboles de *M. paniculata* L. en el año 2016 (Navarrete et al., 2016). Dos años después, *T. radiata* fue encontrada parasitando *D. citri* sobre la

misma planta hospedera y a finales de ese mismo año, la plaga invasora, *D. citri* comenzó la colonización de árboles de cítricos (Cuadros et al., 2020).

A pesar de la importancia de los parasitoides en la regulación de poblaciones de sus insectos hospederos poco se conoce sobre sus aspectos ecológicos (Régnière et al., 2020). Para tratar de explicar las interacciones hospedero – parasitoide en el tiempo, algunos modelos han sido propuestos (Nicholson, 1935; Thompson, 1929) los cuales ha sido aplicados con algunas modificaciones (Din, 2013; Miranda et al., 2008; Tonnang et al., 2009). Esta investigación pretende explicar la importancia del parasitismo por *T. radiata* sobre *D. citri*, así como la colonización y establecimiento de esta interacción hospedero – parasitoide sobre *M. paniculata* y limón sutil, *Citrus aurantifolia* Swingle en la provincia de Manabí, Ecuador. Dentro de este contexto, este estudio tiene como objetivos: i) monitorear las poblaciones de *D. citri* en *M. paniculata* y *C. aurantifolia* y determinar los porcentajes de parasitismo de *T. radiata* en las ninfas de *D. citri* en ambas plantas hospederas, ii) establecer el momento de aparición de *T. radiata* que parasita *D. citri* en *C. aurantifolia*, y iii) calcular un modelo predictivo para estimar el número de ninfas parasitadas en un lote de *M. paniculata* y un huerto de *C. aurantifolia*.

Materiales y Métodos

El presente trabajo se realizó con los datos registrados durante el período agosto 2018 – mayo 2021 sobre las plantas hospederas, *M. paniculata* y *C. aurantifolia* en la localidad de Mejía, catalogada como una zona de vida corresponde con un bosque seco tropical. En Ecuador, *M. paniculata*, constituye un arbusto usado como planta ornamental, mantenida como setos en parques, establecimientos comerciales y en huertos domésticos en áreas urbanas y sub-urbanas. La distancia entre los huertos de limón sutil y el lote de mirto era de unos 8 km.

Muestreos

Ciento cincuenta plantas de mirto, *M. paniculata* sembradas en la zona de Portoviejo (Coordenadas: 01°03′17″S, 80°27′16″O, 53 m), fueron muestreadas semanalmente desde agosto de 2018 hasta diciembre de 2020. Los datos se tomaron hasta este período cuando el parasitismo en los conteos osciló alrededor de 90%, porcentaje que fue planteado como un criterio indicativo del establecimiento del parasitoide dentro de la interacción con su insecto hospedero. En el mismo tiempo iniciaron los muestreos sobre un lote de 200 plantas dentro de un cultivo 2 ha de *C. aurantifolia* de 4 años de edad en la región citrícola

de Mejía, vía Crucita, Portoviejo (Coordenadas: 00° 59'22.4 "S 80°27'57.1" O, 53 m). Los muestreos sobre *C. aurantifolia* se condujeron hasta mayo de 2021. Para asociar poblaciones con las precipitaciones (mm), estos datos climáticos fueron obtenidos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología de Ecuador (INAMHI).

Se tomaron 40 brotes terminales de 10 cm en plantas muestreadas al azar dentro de los lotes. Esos brotes fueron colocados en bolsas plásticas y fueron llevados al laboratorio de Entomología, Facultad de Ingeniería Agronómica, Universidad Técnica de Manabí.

Conteos de laboratorio

En el laboratorio se contó el número de ninfas no parasitadas de *D. citri* y el número de ninfas parasitadas por *T. radiata*. Los conteos se realizaron usando un estereoscopio Carl-Zeiss® (magnification: 10 - 40X).

Análisis de datos

Basado en estos datos se calculó el porcentaje de parasitismo:

$$\frac{Numero\ de\ ninfas\ parasitadas}{Numero\ ninfas\ (parasitadas + vivas)}\ x\ 100$$

Los datos fueron tabulados en una planilla Excel diseñada para tales fines con las siguientes variables: planta hospedera, fecha de muestreo, semana (usando números ordinales desde la primera hasta la última semana evaluada), número de brotes, número de ninfas vivas, número de ninfas parasitadas, porcentaje de parasitismo. A partir de estos datos, se calcularon promedios semanales por planta hospedera para el número de ninfas vivas y el número de ninfas parasitadas y porcentaje de parasitismo con lo que se construyeron gráficos de poblaciones de *D. citri* y parasitismo por planta hospedera a través del tiempo.

Se calcularon promedios mensuales de las variables referidas y serán graficados junto con las precipitaciones mensuales incluyendo un análisis de correlación de Pearson entre ambas variables (poblaciones versus precipitaciones, $P<0,05$). Dado que al inicio de este proyecto no se había observado el parasitismo sobre *D. citri* en *C. aurantiifolia* se registró el tiempo de aparición de este factor de control biológico natural. Con todos los datos (sin promediar) se realizó un análisis de regresión logarítmica para obtener una ecuación y estimar las ninfas parasitadas ($P<0,05$) utilizando las ninfas parasitadas y no parasitadas

observadas durante este estudio sobre *M. paniculata*. Con la ecuación calculada se estimaron las ninfas parasitadas sobre ambas plantas hospederas.

Resultados

Precipitaciones

Se analizó la interacción planta-psílido-parasitoide para graficar la dinámica de la población en relación con las precipitaciones. En la provincia de Manabí, cada año el período lluvioso comienza aproximadamente a partir de enero y dura hasta abril (Fig. 1). Las lluvias torrenciales que se dan en la región están asociadas con la disminución de la densidad poblacional de *D. citri*. Así, cuando las precipitaciones oscilaban entre 140 y 280 mm, las poblaciones eran prácticamente nulas (Fig. 1A y 1B). Sin embargo, a medida que disminuyen las precipitaciones, las plantas rutáceas comienzan a producir brotes jóvenes, que son ideales para el desarrollo de las ninfas de *D. citri*, lo que resulta en un aumento de las poblaciones. Esto se corrobora por la correlación negativa altamente significativa entre las poblaciones de *D. citri* y la lluvia, en ambas plantas hospedantes ($P < 0.05$) (Fig. 2B y 2B).

Interacciones planta huésped-*Diaphorina citri*-*Tamarixia radiata*

Mirto, *Murraya paniculata*

Las ninfas de *D. citri* y los porcentajes de parasitismo de *T. radiata* variaron desde el primer año de evaluaciones (Fig. 3A). De agosto a diciembre de 2018, las densidades poblacionales de *D. citri* variaron entre 3 a 9 ninfas por brote (promedio de ninfas: 4.9 ± 0.5), mientras que el porcentaje de parasitismo aumentó de 20 a 80% (promedio de parasitismo: 38% ± 4.2). En 2019, el número de ninfas de *D. citri* por brote aumentó a partir de junio y alcanzó el pico máximo entre agosto y octubre (rango: 9 a 11 ninfas por brote) (promedio de ninfas: 3.7 ± 0.5). El parasitismo osciló entre 12 y 82% (2018 a 2019) (promedio de parasitismo: 37,2 ± 3,2), con los más altos porcentajes de parasitismo asociados con densidades bajas densidades poblacionales de *D. citri*. En 2020, las poblaciones de *D. citri* cayeron a sus valores más bajos (rango: 0.2 a 2.3 ninfas) (promedio de ninfas: 0.9 ± 0.1) junto con los más altos porcentajes de parasitismo (57 a 96%) (promedio de parasitismo: 81.9 ± 1.8).

El modelo de regresión logarítmica calculado para estimar los porcentajes de parasitismo mostró un alto y significativo coeficiente de determinación (R^2: 0,8315, $P < 0.01$) (Fig.

4A). El análisis de residuos muestra que la ecuación podría tener una desviación máxima de aproximadamente 2 ninfas (4% de los casos) (Fig. 4B). El número estimado de ninfas de *D. citri* parasitadas se graficó junto con las ninfas de *D. citri* no parasitadas y las ninfas parasitadas observadas (Fig. 5). Se observó que cuando hubo mayor número de ninfas parasitadas, hubo menos ninfas no parasitadas y viceversa, lo que indica una asociación inversa (r: -0,8064, P <0,01). Asimismo, la estrecha relación entre las ninfas de *D. citri* parasitadas observadas y las ninfas parasitadas estimadas tuvo la mayor variación en las primeras observaciones (1-20, Fig. 5) y se estabilizó en posteriores (Fig. 5).

Limón sutil, *Citrus aurantifolia*

En 2018, cuando se detectó *D. citri* en *C. aurantifolia*, las poblaciones aumentaron con picos máximos de 25 a 31 ninfas de *D. citri* por brote (Fig. 3B) (promedio de ninfas: 15,3 ± 2,9). Sin embargo, en 2019, luego de la temporada de lluvias, se registraron los niveles más altos de 55 ninfas de *D. citri* por brote (Fig.3B, Fig.6) (promedio de ninfas: 12.1 ± 2.0). Cuando se detectaron por primera vez las ninfas de *D. citri* parasitadas por *T. radiata* (Fig.7) en julio de 2020, los porcentajes de parasitismo eran muy bajos, 3% (Fig.3B) y para la cuarta semana de octubre de 2020 alcanzó porcentajes de parasitismo máximos del 30% (promedio parasitismo: 8,7 ± 1,8). Si bien durante este período las poblaciones continuaron siendo elevadas (máximo de 14 ninfas por brote), estas fueron mucho menores en comparación con las alcanzadas en años anteriores, especialmente en 2019 cuando el parasitismo por *T. radiata* estuvo ausente (promedio de parasitismo: 6,5 ± 0,6).

El número de ninfas de *D. citri* no parasitadas, las ninfas de *D. citri* parasitadas observadas y las ninfas de *D. citri* parasitadas estimadas en *C. aurantifolia* se muestran en la Figura 8A. Las variaciones encontradas entre el número de ninfas observada de *D. citri* parasitadas y el número estimado de ninfas de *D. citri* parasitadas en las 22 observaciones fueron similares a las encontradas en *M. paniculata* en la segunda mitad de 2018. El análisis de residuos entre el número observado de ninfas parasitadas de *D. citri* y el número estimado de ninfas parasitadas en limón sutil (Fig. 8B) mostró las mismas tendencias de desviación (2 ninfas por brote) que el análisis de residuos estimado en *M. paniculata* (Fig. 4B).

Discusión

La correlación inversa altamente significativa entre el número de ninfas de *D. citri* y la precipitación indica que este factor abiótico regula las densidades poblacionales de la

plaga en los períodos lluviosos. La población de una especie es afectada por los procesos que dependen de la magnitud de su densidad o procesos denso-dependientes, caracterizados por ser todos biológicos tales como la competencia (intra e interespecifica) y por los enemigos naturales (depredadores, parasitoides y entomopatógenos), mientras que existen procesos que afectan la población independiente de la magnitud de la misma, y son llamados procesos denso-independientes, entre los que destacan, las condiciones climáticas (Luckmann y Metcalf 1975). Kiritani (2013) informó que, aunque los procesos denso-dependientes regulan las densidades poblacionales de cualquier organismo, los procesos denso-independientes también influyen y la magnitud de las densidades puede variar. Diversos estudios han demostrado que las lluvias pueden limitar el desarrollo poblacional de *D. citri* (Hall et al., 2008; García et al., 2013; Chavez-Medina et al., 2016). Además, Aubert (1987) informó que las precipitaciones mensuales superiores a 150 mm se asocian generalmente con poblaciones bajas de *D. citri* debido al lavado de huevos y ninfas de la superficie de la planta.

Al final de la temporada de lluvias, las densidades de población de *D. citri* aumentaron y dentro de la interacción del sistema planta-psílido entró en juego otro proceso dependiente de la densidad, es decir, el parasitoide *T. radiata*. La importancia de *T. radiata* como agente de control biológico de *D. citri* en *M. paniculata* está corroborada por la alta correlación inversa (r: -0,9119, P <0,05) entre el número de ninfas de *D. citri* parasitadas y el número de ninfas no parasitadas *D. citri* que resultaron en altas tasas de parasitismo (Fig. 3A).

La importancia del parasitismo de *T. radiata* en *D. citri* se ha establecido previamente para *M. paniculata* y especies de cítricos. Pluke y col. (2008) observaron niveles de parasitismo que oscilaron entre 70-100% y 48-70% para *Citrus* spp. y *M. paniculata*, respectivamente. Las liberaciones de *T. radiata* en el Valle de Texas disminuyeron el número de ninfas de *D. citri* por brote de 42 a 3.8, lo que representó el 91.2% de la reducción poblacional (Flores y Ciomperlik, 2017). Cuatro años de estudio en diferentes regiones del sur de California indicaron una mortalidad significativa de *D. citri* debido a los altos porcentajes de parasitismo de *T. radiata* en plantas de cítricos (Milosavljević et al., 2021).

Los porcentajes de parasitismo de *T. radiata* sobre *D. citri* sobre *M. paniculata* y *C. aurantifolia* en la provincia de Manabí muestran el proceso de colonización de una plaga de insectos exóticos y la desincronización fenológica en la colonización de su parasitoide.

Así, el trabajo de campo mostró que *M. paniculata* fue colonizada por *D. citri* en la provincia de Manabí aproximadamente en agosto de 2016 (Navarrete et al., 2016a,b) y aproximadamente dos años después, en mayo de 2018, se encontró a *T. radiata* parasitando ninfas de *D. citri* (Cuadros et al., 2020).

Posteriormente, *C. aurantifolia* fue colonizada por *D. citri* a finales de 2018 y este proceso, unido a la ausencia de parasitismo, puede explicar las altas densidades detectadas en ese año y especialmente en el año siguiente (2019). Con una asincronía de dos años, en julio de 2020, en este agroecosistema el parasitoide *T. radiata* pasó a formar parte de la interacción con porcentajes de parasitismo muy bajas al inicio, las cuales aumentan con el tiempo.

Un caso similar de desincronización fenológica (insecto hospedador - parasitoide) fue reportado en Venezuela con la escama algodonosa de guayaba, *Capulinia linarosae* Kondo & Gullan (Hemiptera: Eriococcidae), una plaga de guayaba, *Psidium guajava* L. (Myrtaceae). En 1993, este insecto invasor de origen desconocido apareció colonizando este frutal en diferentes regiones productoras de guayaba de Venezuela (Cermeli y Geraud-Pouey, 1997). Con una diferencia de aproximadamente dos años (enero de 1996), se observó que la avispa parasitoide *Metaphycus marensis* Chirinos & Kondo (Hymenoptera: Encyrtidae) parasitaba *C. linarosae* en guayaba (Cermeli y Geraud-Pouey, 1997). Para 1999, el parasitoide, *M. marensis*, estaba completamente establecido e interactuando con su hospedador, *C. linarosae* en las diferentes regiones de Venezuela donde se cultiva la guayaba (Geraud-Pouey et al., 2001).

Jeffs y Lewis (2013) informaron que el tiempo es fundamental para muchas interacciones interespecíficas que evolucionan para optimizar la superposición temporal y, además, mencionaron que la asincronía puede ser parte del proceso adaptativo. Los mismos investigadores indicaron que pocos estudios han observado el potencial de asincronía fenológica entre los parasitoides y sus insectos huéspedes.

La colonización y establecimiento de *D. citri* y *T. radiata* en la provincia de Manabí probablemente ocurrió primero en *M. paniculata*. *Diaphorina citri* se encontró por primera vez en árboles de cítricos y plantas de *M. paniculata* (= *M. exotica*) en Guayaquil, provincia de Guayas, donde se observaron las mayores densidades poblacionales (aproximadamente 20 ninfas por brote) en este último hospedante. (Cornejo y Chica, 2014). Asimismo, también se encontró por primera vez el parasitoide *T. radiata*

parasitando ninfas de *D. citri* que infestan *M. paniculata* en la provincia de Guayas (Chavez et al., 2017; Portalanza et al., 2017). Es probable que *D. citri* y *T. radiata* fueron introducidos a la ciudad de Portoviejo, en la provincia de Manabí, desde la provincia de Guayas a través del comercio al por menor de plantas de morto y otras plantas rutáceas. Una situación similar ocurrió en Florida, EE. UU., donde *D. citri* se dispersó por todo el estado a través de la migración de psílidos adultos y el transporte comercial de plantas de *M. paniculata* infestadas que se vendían como ornamentales (Halbert et al., 2008).

Por otro lado, la región citrícola de Mejía se ubica a 8 km de la ciudad de Portoviejo y por lo tanto es probable que el psílido y su parasitoide fueran introducidos en plantas de mirto, infestadas con *D. citri* traídas de la ciudad de Mejía, y cítricos colonizados posteriormente. huertos. Así, la ruta probable seguida por *D. citri* y *T. radiata* en la provincia de Manabí es la siguiente: mirto (Guayas) - mirto (ciudad de Portoviejo) - mirto (Mejía) - limón sutil (Mejía).

A pesar de la corta distancia entre la ciudad de Mejía y la ciudad de Portoviejo, la colonización de *C. aurantifolia* por el psílido asiático de los cítricos se produjo dos años después. El parasitismo por *T. radiata* en ninfas de *D. citri* en mirto en la ciudad de Portoviejo, probablemente retrasó la colonización de la región de cultivo de cítricos. Posiblemente el proceso de colonización y establecimiento de la interacción planta-psílido-parasitoide observado en *M. paniculata* puede repetirse en *C. aurantifolia*. El mismo patrón en la dinámica poblacional de las ninfas de *D. citri* ocurrió en ambas plantas hospedantes en términos del efecto de las precipitaciones, la desincronización fenológica entre la colonización y el establecimiento de la interacción planta-psílido-parasitoide. Con base en los datos recopilados sobre el patrón de colonización de *D. citri* y *T. radiata* en *M. paniculata*, se calculó un modelo para estimar el número de ninfas de *D. citri* parasitadas por *T. radiata* en *M. paniculata* y *C. aurantifolia*.

Con base a la frecuencia de eventos de colonización y establecimiento del psílido asiático en *M. paniculata* y *C. aurantifolia* y posterior aparición del parasitoide y su establecimiento en *M. paniculata*, se estima que para finales de 2022, las poblaciones de *D. citri* podrían fluctuar en niveles bajos asociados con altos porcentajes de parasitismo por *T. radiata* sobre *C. aurantifolia*. Sin embargo, en Ecuador, un alto porcentaje de productores de cítricos utilizan insecticidas químicos para el control de plagas (Cañarte y Navarrete, 2019; Sornoza et al., 2020), lo que afectaría los niveles de parasitismo por *T. radiata* en huertos comerciales de cítricos. Los estudios de campo y de laboratorio han

demostrado los efectos letales y subletales de plaguicidas que pertenecen a varios grupos químicos sobre *T. radiata* (Beloti et al., 2015).

De acuerdo con Jeffs y Lewis (2013), los parasitoides son claves en la regulación de las fluctuaciones poblacionales de sus insectos hospederos, que representan una parte integral de la estructura y dinámica de las redes tróficas, y brindan servicios ecosistémicos al suprimir las plagas agrícolas. Por tanto, es importante establecer programas de control biológico por conservación para el establecimiento de *T. radiata* y otros enemigos naturales.

Conclusiones

- Este trabajo muestra la colonización de una plaga invasora de cítricos, *D. citri* y su parasitoide, *T. radiata*, en una región, primero en su hospedera ornamental, *M. paniculata* y luego en limón sutil, *C. aurantifolia*.
- Los niveles de parasitismo indican la importancia de *T. radiata* como agente de biocontrol de *D. citri* que podría incluirse en programas de manejo integrado de plagas como herramienta ante la eventual llegada de Huanglongbing al Ecuador.

Referencias

Aubert B (1987) *Trioza erytreae* Del Guercio and *Diaphorina citri* Kuwayama (Homoptera: Psylloidea), the two vectors of citrus greening disease: Biological aspects and possible control strategies. Fruits 42: 149-162.

Beloti VH, Alves GR, Araújo DFD, Picoli MM, Moral R de A, Demétrio CGB, Yamamoto PT (2015) Lethal and sublethal effects of insecticides used on citrus, on the ectoparasitoid *Tamarixia radiata*. PLOS ONE 10: e0132128. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0132128

Bové JM (2006) Huanglongbing: A destructive, newly-emerging, century-old disease of citrus. J Plant Pathol 88: 7-37. https://doi.org/10.4454/jpp.v88i1.828

Cañarte-Bermúdez E, Navarrete-Cedeño B (2019) Situación fitosanitaria de los cítricos en Ecuador. In: Abstracts of II Simposio Internacional de Producción Integrada de Frutas. Quito, Ecuador, 24-25 October 2019.

Cermeli M, Geraud-Pouey F (1997) *Capulinia* sp. cercana a *jaboticabae* von Ihering (Homoptera: Coccoidea: Eriococcidae) nueva plaga del guayabo en Venezuela.

Agron Trop 47: 115-123.

Chavez-Medina JA, Flores-Zamora GL, Góngora-Gómez AM, Gomez RL, García-Negroe CB (2016) Distribución temporal de *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemíptera: Psyllidae) en limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) en el municipio de Sinaloa, Sinaloa. Entomol Mex 3: 324-329.

Chavez Y, Castro C, González GF, Castro J, Peñarrieta S, Perez-Almeida I, Chirinos DT, Kondo T (2019) Population fluctuation of *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Liviidae) and survey of some natural enemies in Ecuador. Rev Investig Agropecu 45: 449-453.

Chavez Y, Chirinos DT, González G, Lemos N, Fuentes A, Castro R, Kondo T (2017) *Tamarixia radiata* (Waterston) and *Cheilomenes sexmaculata* (Fabricius) as biological control agents of *Diaphorina citri* Kuwayama in Ecuador Chil J Agric Res 77: 180-184. https://doi.org/10.4067/S0718-58392017000200180

Cornejo JF, Chica EJ (2014) First record of *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae) in Ecuador infesting urban citrus and orange Jasmine trees. J Insect Sci 14: 1-3. https://doi.org/10.1093/jisesa/ieu160

Cuadros IM, Vélez J, Velasquez J, Chirinos DT (2020) La dispersión del psílido asiático, *Diaphorina citri* Kuwayama y su parasitoide, *Tamarixia radiata* (Waterston) en la provincia de Manabí, Ecuador. Investigatio 13: 59-64. https://doi.org/10.31095/investigatio.2020.13.6

Din Q (2013) Dynamics of a discrete Lotka-Volterra model. Adv Differ Equations 95: 1-13.

Erráez Aguilera M, Mazón M, Troya Armijos H, Valarezo Espinoza D (2020) Identificación y evaluación de la incidencia de insectos y hongos benéficos asociados a *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Liviidae) en plantas traspatio (*Citrus* spp. y *Murraya paniculata*) del cantón Catamayo (Loja - Ecuador). Ecuador es Calid Rev Científica Ecuatoriana 7: 25-33. https://doi.org/10.36331/revista.v7i1.99

FAOSTAT (2019) Food and agriculture data [WWW Document]. URL http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC (accessed 13 May 2021).

Flores D, Ciomperlik M (2017) Biological control using the ectoparasitoid, *Tamarixia radiata*, against the Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri*, in the Lower Rio Grande Valley of Texas. Southwest Entomol 42: 49-59. https://doi.org/10.3958/059.042.0105

García Garduza D, Sánchez Soto S, Romero Nápoles J, Pérez Flores J (2013) Fluctuación poblacional de *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae) en limón Persa (*Citrus latifolia*), en Huimanguillo, Tabasco, México. Rev Colomb Entomol 39: 201-204.

Geraud-Pouey F, Chirinos DT, Aguirre R, Bravo Y, Quintero JA (2001) Evaluación de *Metaphycus* sp. (Hymenoptera: Encyrtidae) como agente de control natural de *Capulinia* sp. cercana a jaboticabae von Ihering (Hemiptera: Eriococcidae). Entomotropica 16: 165-171.

Halbert SE, Manjunath KL (2004) Asian citrus psyllids (Sternorrhyncha: Psyllidae) and greening disease of citrus: A literature review and assessment of risk in Florida. Florida Entomol 87: 330-353. https://doi.org/10.1653/0015-4040(2004)087[0330:ACPSPA]2.0.CO;2

Halbert S E, Manjunath KL, Brodie (2008) Large-scale distribution of *Diaphorina citri* Kuwayama and citrus huanglongbing MW in Florida. Proceedings International. Research Conference on Huanglongbing. Plant Management Network, December 2008, Orlando. URL http://www.plantmanagementnetwork.org/proceedings/irchlb/2008/presentations/IRCHLB.2.6.pdf (accessed 12 Jun 2021)

Hall DG, Hent MG, Adair RC (2008) Population ecology and phenology of *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae) in two Florida citrus groves. Environ Entomol 37: 914-924. https://doi.org/10.1603/0046-225X(2008)37[914:PEAPOD]2.0.CO;2

Jeffs CT, Lewis OT (2013) Effects of climate warming on host-parasitoid interactions. Ecol Entomol 38: 209-218. https://doi.org/10.1111/een.12026

Kiritani K (2013) Different effects of climate change on the population dynamics of insects. Appl Entomol Zool 48: 97-104. https://doi.org/10.1007/s13355-012-0158-y

Luckmann WH, Metcalf RL (1975). The pestmanagement concept. En R. L. Metcalf, W. H. Luckmann (Eds.), Introduction to Insect Pest Management (pp. 1-60). Nueva York, EE. UU.: Editorial Wiley.

Miksanek JR, Heimpel GE (2019) A matrix model describing host-parasitoid population dynamics: The case of *Aphelinus certus* and soybean aphid. PLoS One 14: 1-20. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0218217

Milosavljević I, Morgan DJW, Massie RE, Hoddle MS (2021) Density dependent mortality, climate, and Argentine ants affect population dynamics of an invasive citrus pest, *Diaphorina citri*, and its specialist parasitoid, *Tamarixia radiata*, in Southern California, USA. Biol. Control 159: https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2021.104627

Miranda I, Baños H, Martínez MDLA, Alemán J (2008) Modelo teórico de la interacción de *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Psyllidae) con sus enemigos naturales. Rev Protección Veg 23: 126-130.

Navarrete J, Cañarte EG, Valarezo GO (2016a) First report about the presence of *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae) in Manabi. EspamCiencia 7: 141-145.

Navarrete JB, Cañarte EG, Chérrez C, Velasquez J, García J, Reyes C (2016b) Distribución de la especie invasiva *Diaphorina citri* en zonas urbanas y periurbanas de Portoviejo y Santa Ana en Manabí-Ecuador, in: Abstracts of XL Jornadas Nacionales de Biología. ESPOL, Guayaquil, Ecuador. 16-18 November, 2016.

Nicholson, A.J., 1935. The Balance of Animal Populations - Part I. Proc Zool Soc London 105: 551-598.

Pluke RWH, Qureshi JA, Stansly PA (2008) Citrus flushing patterns, *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae) populations and parasitism by *Tamarixia radiata* (Hymenoptera: Eulophidae) in Puerto Rico. Florida Entomol 91: 36-42. https://doi.org/10.1653/0015-4040(2008)091[0036:CFPDCH]2.0.CO;2

Portalanza DE, Sanchez L, Plúas M, Felix I, Costa VA, Dias-Pini N da S, Ferreira-Stafanous S, Gómez-Torres ML (2017) First records of parasitoids attacking the Asian citrus psyllid in Ecuador. Rev Bras Entomol 61: 107-110. https://doi.org/10.1016/j.rbe.2017.02.002

Régnière J, Seehausen ML, Martel V (2020) Modeling climatic influences on three parasitoids of low-density spruce budworm populations. Part 1: *Tranosema rostrale* (Hymenoptera: Ichneumonidae). Forests 11. https://doi.org/10.3390/F11080846

Sornoza-Robles D, Zambrano-Gavilanes FE, Moreira-Saltos JR, Zambrano-Dueñas JF, Armiñana-García R, Fimia-Duarte R (2020) Farmers' perception of the efficacy of parasitoids in pest control and agroecological sustainability of Limonero, Riochico, Portoviejo, Ecuador. Neotropical Helminthology 14: 75-84. https://doi.org/10.24039/rnh2020141629

Teck SLC, Fatimah A, Beattie A, Heng RKJ, King WS (2011) Influence of host plant species and flush growth stage on the asian citrus psyllid, *Diaphorina citri* Kuwayama. Am J Agric Biol Sci 6: 536-543. https://doi.org/10.3844/ajabssp.2011.536.543

Thompson WR (1929) On the effect of random oviposition on the action of entomophagous parasites as agents of natural control. Parasitology 21: 180-188. https://doi.org/10.1017/S0031182000022885

Tonnang HEZ, Nedorezov LV, Ochanda H, Owino J, Löhr B (2009) Assessing the impact of biological control of *Plutella xylostella* through the application of Lotka–Volterra model. Ecological Modelling, 220(1), 60–70. doi:10.1016/j.ecolmodel.2008.09.002

Valarezo O, Cañarte E, Navarrete B (2011) Plagas en cítricos y su control biológico. Guía para su identificación en el campo. Portoviejo, Ecuador.

Wu Y, Kamuyama MT, Chung C, Tzeg H, Hsieh C, Yang C (2020) Population monitoring, egg parasitoids, and genetic structure of the invasive litchi stink bug, *Tessaratoma papillosa* in Taiwan. Insects 11: https://doi.org/10.3390/insects11100690

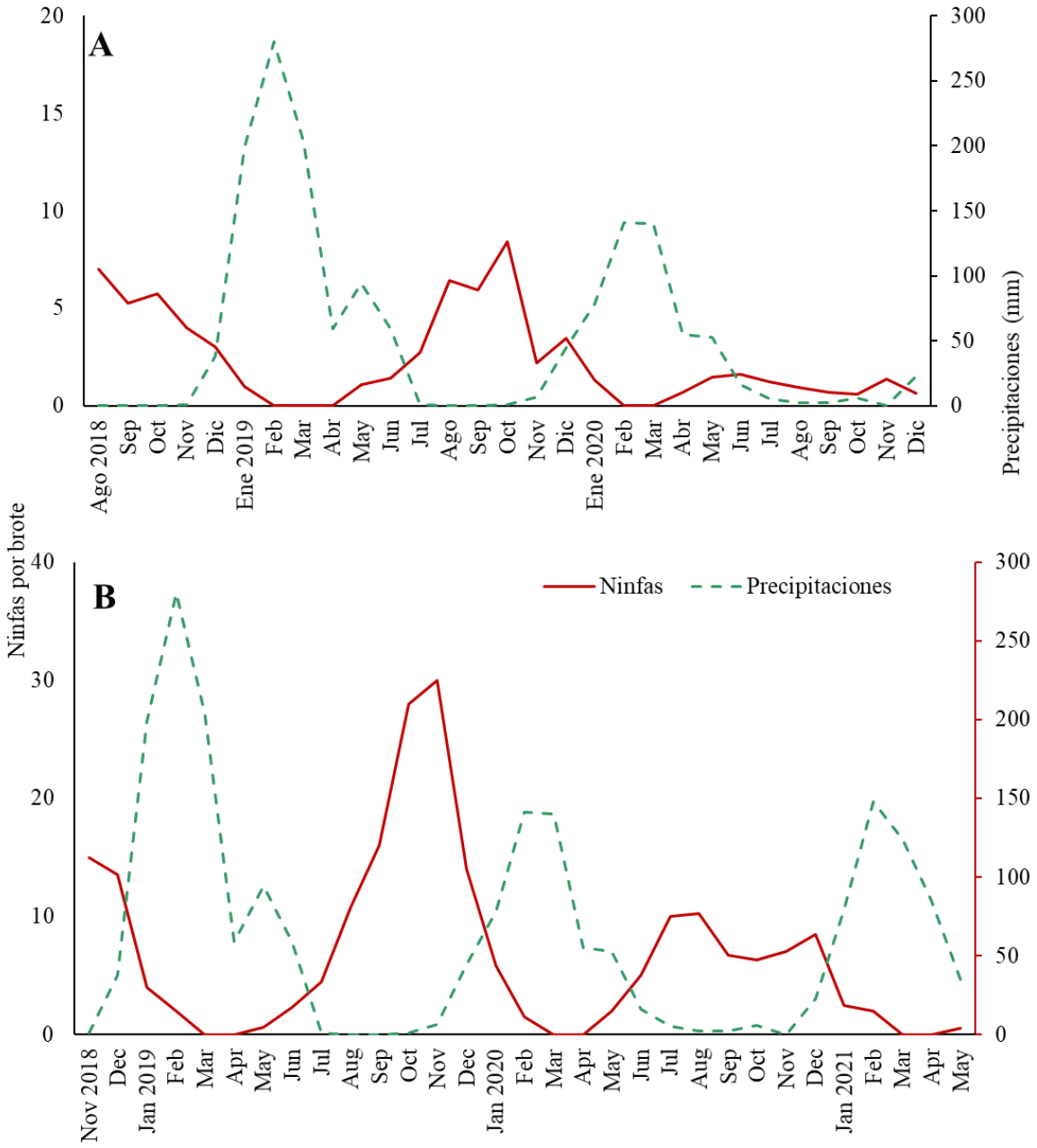

Fig 1. Fluctuación de ninfas de *Diaphorina citri* y lluvia. A: *Murraya paniculata*, B. *Citrus aurantofolia*. Período de agosto de 2018 a mayo de 2021.

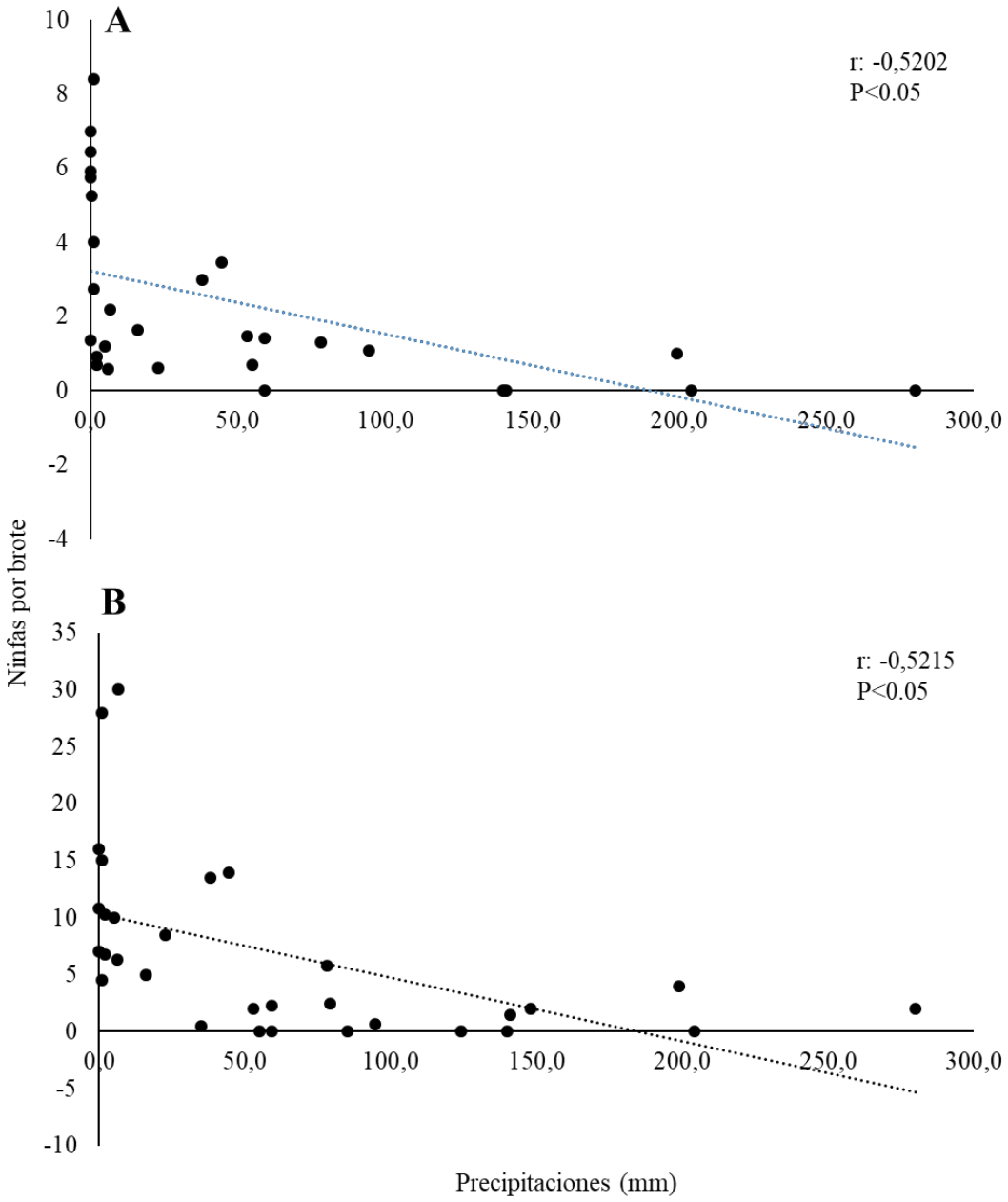

Fig 2. Análisis de correlación entre el número de ninfas de *Diaphorina citri* y la precipitación. A: *Murraya paniculata*, B. *Citrus aurantofolia*. Período agosto de 2018 a mayo de 2021.

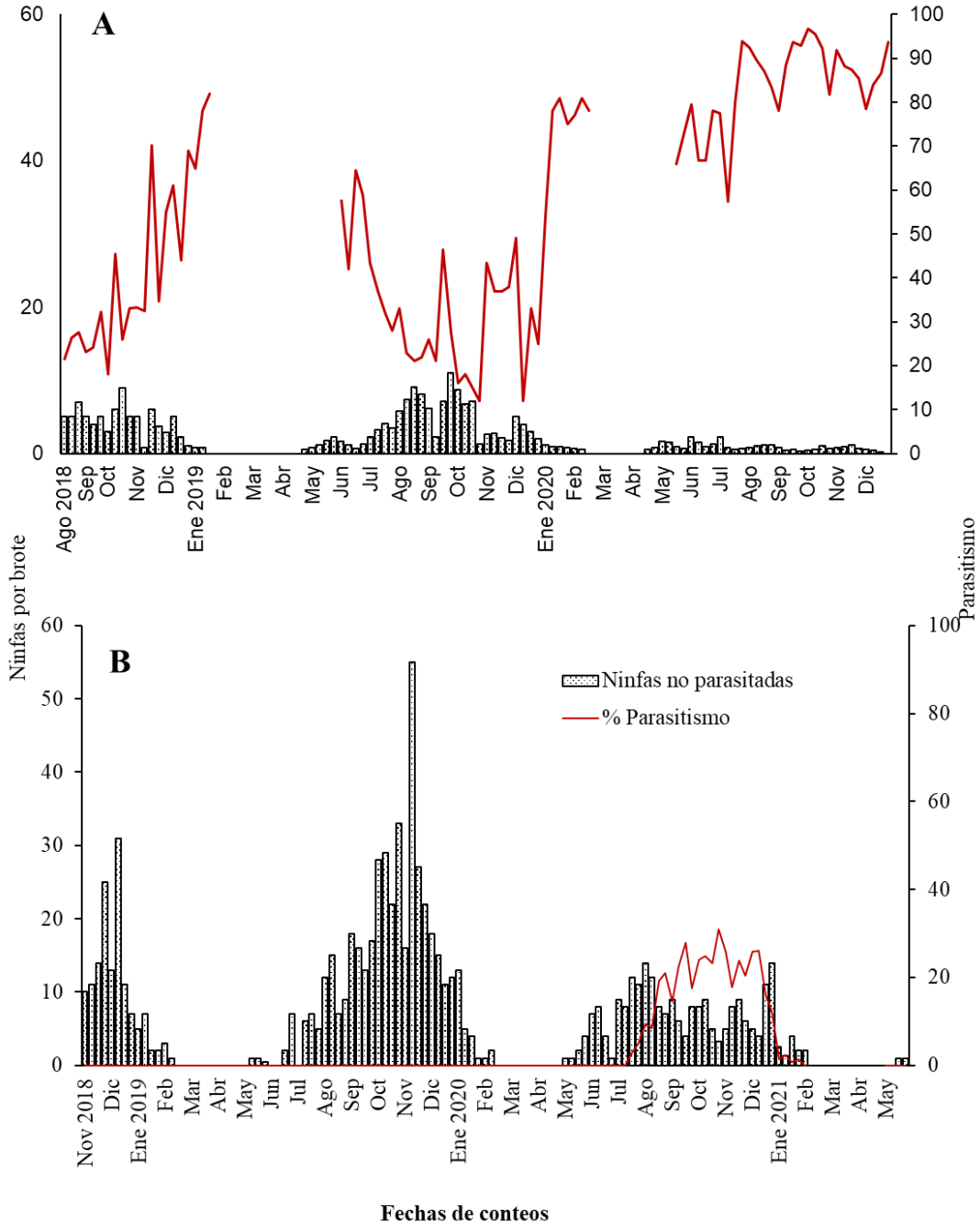

Fig. 3. Fluctuación poblacional de ninfas no parasitadas de *Diaphorina c*itri y porcentaje de parasitismo por *Tamarixia radiata.* A: *Murraya paniculata*, B. *Citrus aurantofolia*. Período de agosto de 2018 a mayo de 2021.

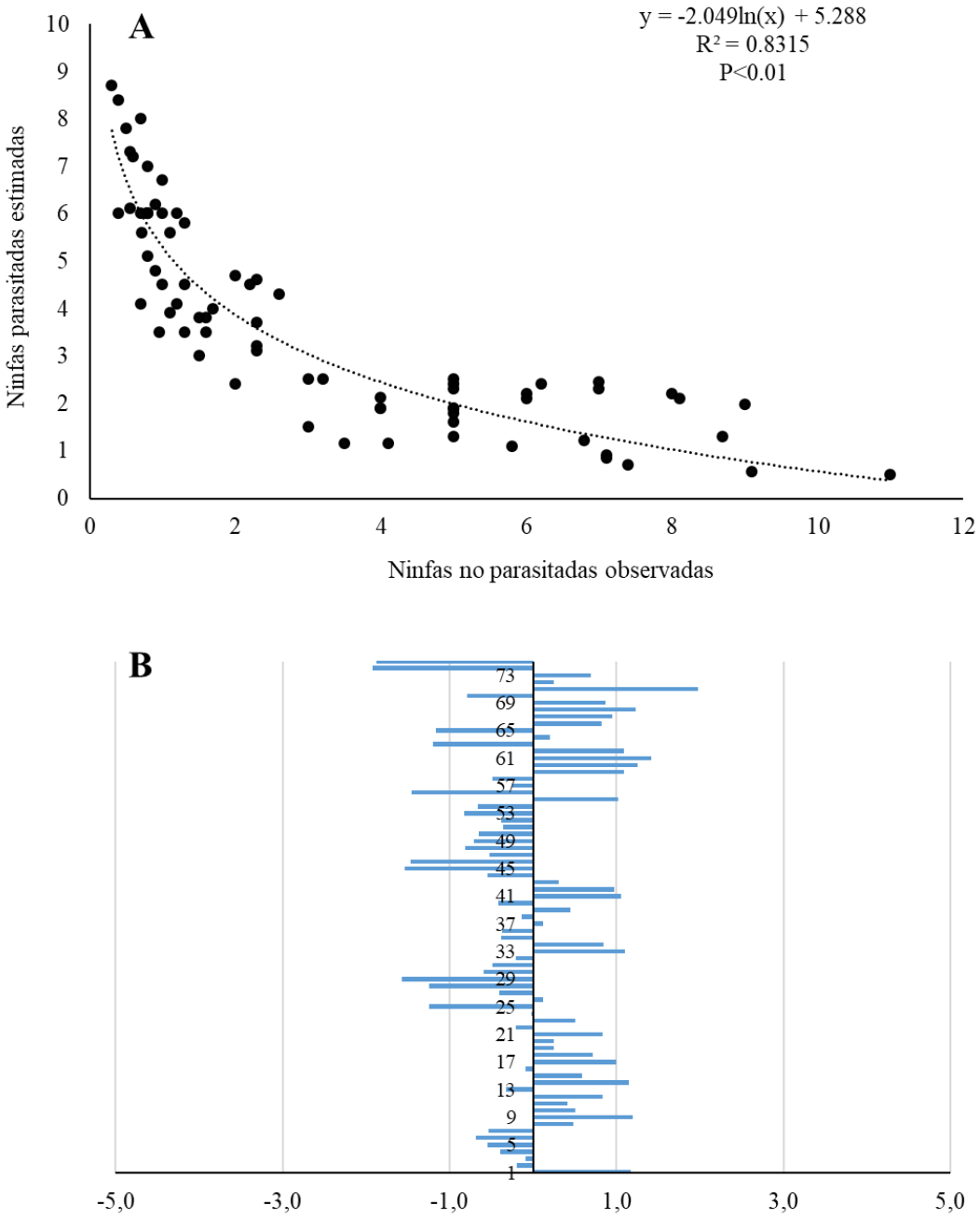

Fig. 4. A: Análisis de regresión entre ninfas parasitadas y no parasitadas de *Diaphorina citri* observadas en el estudio de *Murraya paniculata*. B: Residuos en la estimación de ninfas.

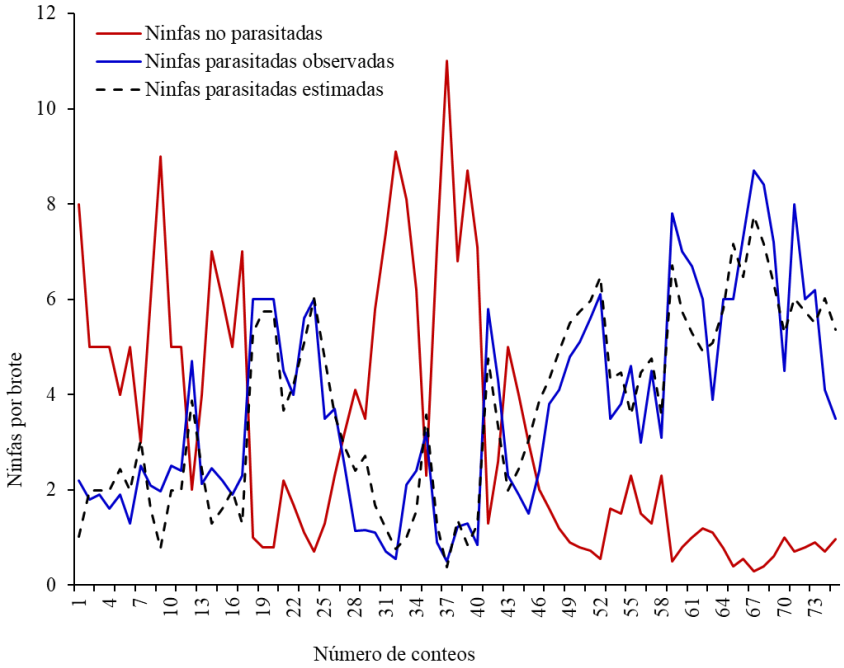

Fig. 5. Ninfas de *Diaphorina citri* sobre *Murraya paniculata*: observadas parasitadas y no parasitadas, así como estimadas parasitadas.

Fig. 6. Densidad poblacional de ninfas de *Diaphorina citri* por brote *de Citrus aurantifolia* en ausencia de parasitismo. Años 2018 y 2019.

Fig. 7. Ninfas de *Diaphorina citri* parasitadas por *Tamarixia radiata* en *Citrus aurantifolia*. Fotos tomadas en julio de 2020 cuando se detectó el parasitoide en este cultivo.

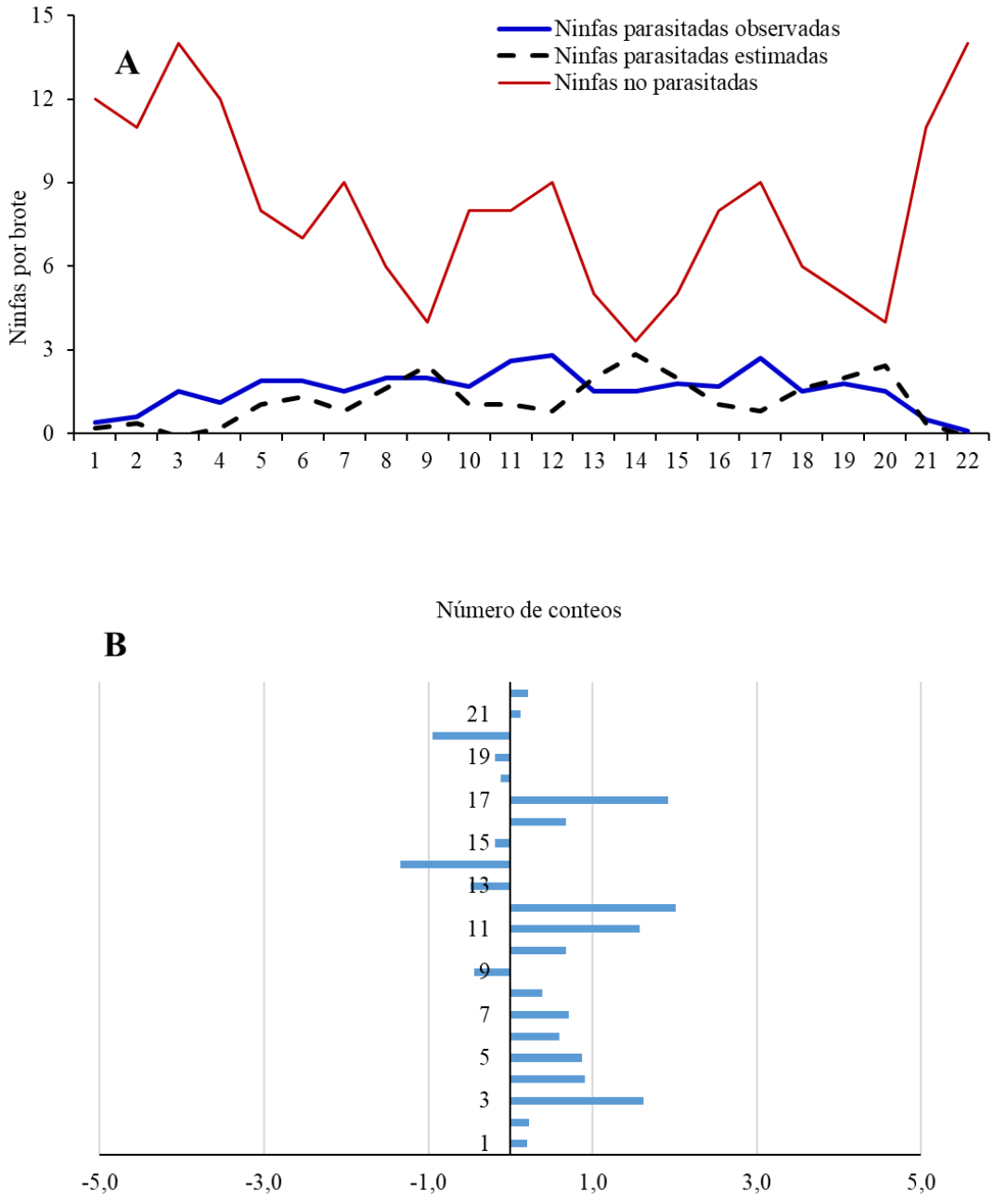

Fig. 8. A: Ninfas de *Diaphorina citri* sobre *Citrus aurantifolia*: observadas parasitadas y no parasitadas, así como estimadas parasitadas. B: Residuos en la estimación de ninfas.