

Comunicación corta

**MODELO TEÓRICO DE LA INTERACCIÓN DE *Diaphorina citri* KUWAYANA (HEMIPTERA: PSYLLIDAE) CON SUS ENEMIGOS NATURALES**

Ileana Miranda, Heyker Baños, María de los A. Martínez y J. Alemán

Grupo Plagas Agrícolas, Centro Nacional de Sanidad Agropecuaria (CENSA), Apartado 10, San José de las Lajas. La Habana. Cuba. Correo electrónico: ileanam@censa.edu.cu

**RESUMEN:** La simulación de la dinámica poblacional de un organismo a partir de un modelo matemático facilita la toma de decisiones en el manejo integrado de las plagas. El modelo dinámico final que se emplea en la simulación parte de un primer modelo teórico que describe el mayor número de interacciones de la población con otros individuos y/o el medio ambiente. El presente trabajo presenta el primer modelo teórico para *Diaphorina citri*, eficaz transmisor de *Liberibacter* sp., agente causal de huanglogbing (HLB), en interacción con sus enemigos naturales. El análisis algebraico de la condición de estabilidad del sistema de ecuaciones diferenciales que representa el modelo demostró que el número de hembras de *Tamarixia radiata* necesarias para mantener el equilibrio ecológico, depende de la cantidad de brotes sanos que tenga la planta. Estos resultados son los primeros estudios encaminados a modelar la interacción de *D. citri* con sus enemigos naturales y constituyen una base teórica para lograr un pronóstico eficaz de las densidades de psílido en caso que se presente la enfermedad.

(Palabras clave: modelo dinámico; *Diaphorina citri*; *Tamarixia radiata*; punto de equilibrio)

---

**THEORETICAL MODEL OF *Diaphorina citri* KUWAYANA (HEMIPTERA: PSYLLIDAE) IN INTERACTION WITH ITS NATURAL ENEMIES**

**ABSTRACT:** The simulation of the dynamic population from a mathematical model facilitates taking decisions in the integrated pest management. The final dynamic model, used in the simulation, comes from a first theoretical model that describes the greatest number of population interactions with other individuals and/or the environment. The present work presents the first theoretical model for *Diaphorina citri*, effective vector of *Liberibacter* sp., causal agent of huanglongbing (HLB), in the interaction with its natural enemies. The algebraic analysis of the stability condition of the differential equations representing the model demonstrated that the number of *Tamarixia radiata* females, necessary to maintain the ecological balance, depends on the quantity of healthy buds present in the plant. These results are the first studies guided to model the interaction of *D. citri* with its natural enemies and they constitute a theoretical base to achieve an effective presage of psillido densities when facing the disease.

(Key words: dynamic model; *Diaphorina citri*; *Tamarixia radiata*; balance point)

---

*Diaphorina citri* kuwayana (Hemiptera:Psyllidae) es un fitófago oriundo de Asia y tiene como principal hospedante las plantas de cítricos (*Citrus* spp.), de ahí que su nombre común sea psílido asiático de los cítricos (1). El daño directo es causado por las ninfas y los adultos que extraen grandes cantidades de sa-

via de las hojas y pecíolos, lo cual debilita las plantas (2). *D. citri* es conocido como el transmisor de *Liberibacter* sp., agente causal de huanglongbing (HLB) enfermedad conocida como el dragón amarillo (3,4). *D. citri* es la plaga más seria de los cítricos si está presente el patógeno que causa la enfermedad

(5). La disminución en la producción es evidente a medida que se disemina la plaga (6).

*D. citri* se detectó por primera vez en Cuba en 1999 (7). Desde su identificación se han realizado estudios dirigidos a conocer la biología del insecto (8), determinar sus principales enemigos naturales (3) y evaluar su comportamiento en campo, en presencia de otros insectos fitófagos (7). Recientemente, se demostró que, en la Isla de la Juventud, existe un desplazamiento competitivo de las poblaciones de *Phyllocnistis citrella* Stainton (Lepidoptera: Gracillariidae) (minador de la hoja de los cítricos) provocado por el aumento en densidad de las poblaciones de *D. citri* (7), lo cual justifica continuar los estudios para lograr predecir la densidad poblacional del psílido.

Si bien, el modelo de interacción *P. citrella*-*D. citri* demostró la existencia de una competencia interespecífica, no logró simular la dinámica de las poblaciones, ya que no tiene en cuenta la interacción de los insectos fitófagos con sus enemigos naturales. Particularmente, se han notificado como enemigos naturales de *D. citri* los depredadores *Cycloneda sanguinea* (L.), *Chilocorus cacti* (L.), *Exochomus cubensis* Dimn, *Scymnus distinctus* Casey (Coleoptera: Coccinellidae), *Chrysopa* sp. (Neuroptera: Chrysopidae) y *Ocyptamus* sp. (Diptera: Syrphidae), el parásito *Tamarixia radiata* Waterston (Hymenoptera: Eulophidae) y el hongo *Hirsutella citriformis* Speare (3). De ahí que se establezcan diferentes tipos de relaciones en el mismo ecosistema que conducen a la necesidad de elaborar un nuevo modelo dinámico que permita predecir densidades poblacionales.

Los modelos de ecuaciones diferenciales que incorporan todas las etapas del ciclo de vida de las poblaciones y sus interacciones con otros organismos vivos describen un sistema no lineal complejo que, a pesar de simplificar algunos elementos del agroecosistema, pueden simular la dinámica de un insecto a partir del conocimiento de algunos parámetros biológicos (9). Este tipo de simulación parte de un modelo teórico que no es más que un sistema de ecuaciones diferenciales no lineal. La forma más simple de escribir estas ecuaciones es planteando un esquema inicial de interacciones (9), el cual aun no ha sido descrito para *D. citri*.

La solución del sistema o aproximación numérica puede obtenerse realizando estudios biológicos para determinar los parámetros poblacionales. Hasta el momento se han informado algunos parámetros biológicos en dependencia de las condiciones experimentales y del hospedante. Por ejemplo, González *et al.*

(3) plantean que a 25°C las hembras de *D. citri* ponen 800 huevos en toda su vida, sin embargo Tsai y Liu (10) informan que las hembras ponen hasta 857 huevos. Es decir, se han informado valores diferentes para un mismo parámetro debido a que los parámetros poblacionales varían con la temperatura, la humedad relativa y otras componentes del clima. Por ello, es preciso realizar estudios biológicos de *D. citri* y *T. radiata* en condiciones de temperatura y humedad similares a las que se presentan en campo para tener una estimación de los parámetros del modelo y una simulación efectiva. Sin embargo, una primera aproximación teórica del modelo matemático puede ser la base para estudios de pronóstico poblacional.

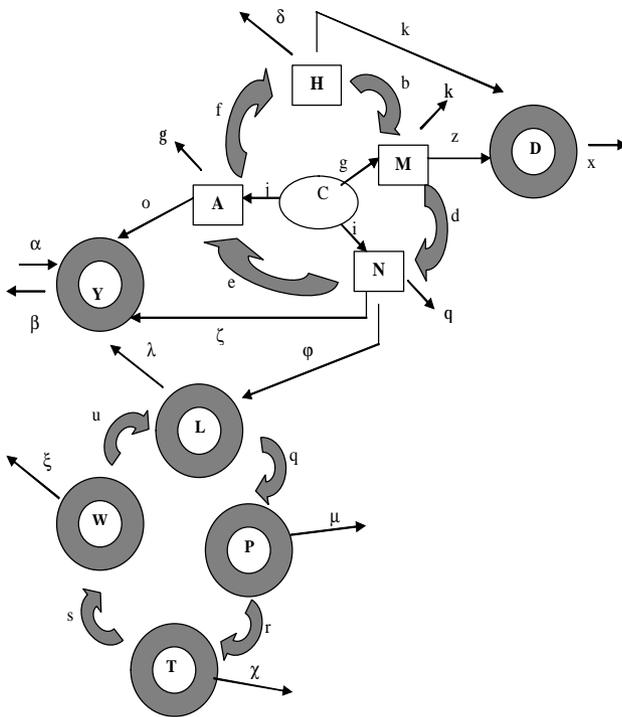
Por ello, aun sin contar con los parámetros poblacionales para obtener una simulación se debe construir un modelo teórico a fin de describir las interacciones de *D. citri* con sus enemigos naturales y determinar las condiciones para la existencia de un equilibrio ecológico.

Para la elaboración del modelo, se definieron como variables en el sistema la densidad poblacional de cada uno de los estadios de *D. citri* que no están infectados o parasitados; la densidad de cada estadio de *T. radiata*, el total de insectos depredadores, el total de ninfas y adultos de *D. citri* infectados por el hongo y el número de brotes sanos existentes en el momento del muestreo:

- H. Número de huevos de *D. citri*
- M. Total de ninfas de primer y segundo instar
- N. Total de ninfas no parasitadas o infectadas de tercer, cuarto y quinto instar
- A. Total de adultos no infectados
- D. Total de depredadores
- Y. Total de ninfas y adultos infectados por *H. citriformis*
- W. Número de huevos de *T. radiata*
- L. Total de larvas de *T. radiata*
- P. Total de pupas de *T. radiata*
- T. Total de Adultos de *T. radiata*
- C. Total de brotes sanos
- t. Intervalo de tiempo de observación

Las relaciones poblacionales que se establecen en el ecosistema se representaron en un diagrama de interacciones diseñado a partir de la metodología para realizar el esquema de las interacciones de los niveles tróficos descrito por Levins y Miranda (9). *D. citri* tiene una fase de huevo seguida de cinco esta-

dos ninfales hasta llegar al adulto. Los depredadores se caracterizan por alimentarse de los huevos y los primeros y segundos estadios ninfales, *T. radiata* se asocia al tercer, cuarto y quinto estadio ninfal y el hongo *H. citrifomis* parasita el adulto del psílido, lo que permite complementar el control natural de todos sus fases de desarrollo (3). En ocasiones, se ha encontrado al hongo infestando ninfas de cuarto y quinto instar (5). Por consiguiente, las relaciones poblacionales se pueden representar según un sistema de interacciones planta (C) – Fitófago (diferentes estados de *D. citri*) – enemigos naturales (D, Y, diferentes estados de *T. radiata*) (Fig. 1).



**FIGURA 1.** Sistema de interacción de *D. citri* con sus enemigos naturales./ Interaction system of *D. citri* whit its natural enemies.

Los parámetros biológicos referidos en el esquema de interacción (Fig. 1) se definen en la Tabla 1.

A partir del esquema o diagrama y considerando que el psílido aparece en la fase de brotación (1) y que los brotes sanos pueden perderse por otras causas diferentes a la presencia de plagas, se elaboró un modelo teórico Q que describe un sistema no lineal de 11 ecuaciones diferenciales:

$$\begin{cases}
 \frac{dH}{dt} = f \cdot A \cdot C - b \cdot H - k \cdot H \cdot D - d \cdot H \\
 \frac{dM}{dt} = b \cdot H - d \cdot M - z \cdot M \cdot D - k \cdot M \\
 \frac{dN}{dt} = d \cdot M \cdot C - j \cdot N \cdot L - e \cdot N - q \cdot N - z \cdot N \cdot Y \\
 \frac{dA}{dt} = e \cdot N \cdot C - o \cdot A \cdot Y - g \cdot A \\
 \frac{dD}{dt} = -x \cdot D + k \cdot H \cdot D + z \cdot M \cdot D \\
 \frac{dY}{dt} = a \cdot Y(1 - b \cdot Y) + o \cdot A \cdot Y + z \cdot N \cdot Y \\
 \frac{dL}{dt} = u \cdot W + y \cdot N \cdot L - q \cdot L - l \cdot L \\
 \frac{dP}{dt} = q \cdot L \cdot N - r \cdot P - u \cdot P \\
 \frac{dT}{dt} = r \cdot P - x \cdot T \\
 \frac{dW}{dt} = s \cdot T - u \cdot W - x \cdot W \\
 \frac{dC}{dt} = n \cdot C(1 - h \cdot C) - g \cdot C \cdot M - i \cdot C \cdot N - j \cdot C \cdot A
 \end{cases}$$

Este sistema constituye el primer modelo teórico que refleja la interacción de todos los estados de una presa con sus enemigos naturales. Este resultado es la base biomatemática para estudios posteriores que incluyan la simulación de la dinámica de *D. citri*.

Teniendo en cuenta que el vector  $\vec{S}$  es el punto de equilibrio de sistema  $\phi$  si  $f(\vec{S}) = \vec{0}$  (12), se calcularon los puntos de equilibrio del sistema de ecuaciones Q. Se seleccionó el punto de componentes reales y positivas. Para el trabajo algebraico se empleó el software Derive 6.

El análisis algebraico cualitativo mostró que el punto de equilibrio con todos los términos reales positivos resultó dependiente de la cantidad de brotes sanos que tenga la planta al momento de muestreo (C):

$$\begin{aligned}
 H &= \beta_1 \cdot C^2 \\
 M &= \beta_2 \cdot C^2 \\
 N &= 0.80
 \end{aligned}$$

**TABLA 1.** Nomenclatura de los parámetros poblacionales./ *Nomenclature of population parameters*

Parámetro	Definición	Dimensión
<b>b</b>	Promedio de huevos que eclosionan	1/τ
<b>d</b>	Promedio de ninfas del 1 y 2 instar que pasan a instares superiores	1/τ
<b>e</b>	Promedio de ninfas que llegan adulto	1/τ
<b>f</b>	Promedio de huevos que pone <i>D. citri</i>	1/τ
<b>d</b>	Promedio de huevos de <i>D.citri</i> que no eclosionan	1/τ
<b>k</b>	Tasa de mortalidad de ninfas de <i>D. citri</i> del 1 y 2 instar	1/τ
<b>q</b>	Tasa de mortalidad de ninfas de <i>D. citri</i> del 3,4 y 5 instar	1/τ
<b>g</b>	Tasa de mortalidad de adultos de <i>D. citri</i>	1/τ
<b>k</b>	Tasa de depredación de huevos de <i>D.citri</i>	1/Dτ
<b>z</b>	Tasa de depredación de ninfas de <i>D.citri</i>	1/Dτ
<b>j</b>	Índice de parasitismo de <i>T. radiata</i>	1/Lτ
<b>o</b>	Infestación de Adultos por hongo	1/Aτ
<b>z</b>	Infestación de Ninfas por Hongo	1/Nτ
<b>x</b>	Mortalidad de los depredadores	1/τ
<b>a</b>	Tasa de crecimiento del hongo	1/τ
<b>b</b>	Tasa de mortalidad del hongo	1/Y
<b>q</b>	Promedio de larvas de <i>T. radiata</i> que pasan a pupa	1/τ
<b>r</b>	Promedio de pupas de <i>T. radiata</i> que pasan adulto	1/τ
<b>s</b>	Tasa de reproducción de <i>T. radiata</i>	1/τ
<b>u</b>	Promedio de huevos de <i>T. radiata</i> que eclosionan	1/τ
<b>l</b>	Tasa de mortalidad de larvas de <i>T. radiata</i>	1/τ
<b>m</b>	Tasa de mortalidad de pupas de <i>T. radiata</i>	1/τ
<b>c</b>	Tasa de mortalidad de adultos de <i>T. radiata</i>	1/τ
<b>x</b>	Tasa de mortalidad de huevos de <i>T. radiata</i>	1/τ
<b>g</b>	Pérdidas atribuidas a la presencia de ninfas de 1 <sup>ro</sup> y 2 <sup>do</sup> instar de <i>D. citri</i>	1/Mτ
<b>i</b>	Pérdidas atribuidas a la presencia de ninfas de 3 <sup>ro</sup> , 4 <sup>to</sup> y 5 <sup>to</sup> instar de <i>D. citri</i>	1/Nτ
<b>j</b>	Pérdidas atribuidas a la presencia de adultos de <i>D. citri</i>	1/Aτ
<b>n</b>	Parámetros de la curva de crecimiento logístico de los brotes sanos de la planta.	1/τ
<b>h</b>		1/C

$$A=\beta_3 C$$

$$D=0$$

$$Y=0$$

$$L=\beta_4 C^3 - \beta_5$$

$$P=\beta_6 C^3 - \beta_7$$

$$T=\beta_8 C^3 - \beta_9$$

$$W=\beta_{10} C^3 - \beta_{11}$$

Las  $\beta_j$  con j desde 1 hasta 11, son constantes que dependen de los parámetros poblacionales descritos en la Tabla 1. Independientemente de los valores de estas constantes y cuales quiera sean la cantidad de brotes sanos que tenga la planta el equilibrio natural solo se logra antes que los individuos de *D. citri* lleguen al tercer instar de manera que N permanezca invariante e inferior a 1 individuo promedio por brote

(N=0.80). Esto implica que es necesario establecer, para diferentes condiciones climáticas, el período en que aparecen las ninfas de tercer instar de *D. citri* a fin de poder determinar el momento de liberación definido como el instante de pérdida de equilibrio. La tasa de liberación estará en dependencia de la cantidad de adultos de *D. citri* los cuales se incrementan proporcionalmente a medida que aparecen los brotes. Si bien es cierto que la cantidad de brotes sanos C depende del tiempo, es posible realizar experimentos para predecir el valor promedio de C en dependencia de la fenología del cultivo y contar con una simulación del estado de equilibrio.

Este análisis coincide con las predicciones ecológicas informadas por Etienne *et al.* (8) previas a la liberación de *T. radiata* para la bioregulación poblacional de *D. citri*, estos autores plantean realizar las liberaciones antes de que comiencen aparecer

ninfas del tercer instar. No obstante, solo una adecuada estimación de los parámetros biológicos permitirá poner en práctica el modelo teórico (12) a fin de validar su eficiencia como estimador de las densidades poblacionales y determinación de tasas de liberación. El modelo teórico debe validarse con datos experimentales para utilizarlo en predicciones de la densidad real de *D. citri*. Sin embargo, el cálculo algebraico del punto de equilibrio permitió definir la correspondencia de las densidades del vector *D. citri* con la cantidad de brotes sanos que presente la planta, además de informar por primera vez la necesidad de mantener bajos los niveles de ninfas de tercer, cuarto y quinto instar en aras de propiciar un equilibrio ecológico evitando brotes poblacionales. Trabajos futuros deberán verificar las potencialidades de los enemigos naturales en cuanto a mantener este equilibrio.

### REFERENCIAS

1. Bellis G, Hollis D, Jacobson S. Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Psyllidae), and huanglongbing disease do not exist in the Stapleton Station area of the Northern Territory of Australia. *Australian J. Entom.* 2005;44(1):68-70.
2. Blackwell P. *Diaphorina citri*. EPPO. Bulletin. 2005;35(2):331-333.
3. González C, Hernández D, Rodríguez J. Influencia de los enemigos naturales en el comportamiento de *Diaphorina citri* (Homoptera: Psyllidae) en los cítricos de Cuba. En IV Seminario Científico Internacional de Sanidad Vegetal. La Habana, Cuba (Libro Resumen); 2001. p.273.
4. Hung T, Wu M. Identification of alternative hosts of the Fastidious Bacterium causing citrus greening disease. *J. Phytopathol.* 2000;148(6):321-326.
5. Halbert S, Manjunath K. Asian citrus psyllids (Sternorrhyncha: Psyllidae) and greening disease of citrus: a literature review and assessment of risk in Florida. *Florida Entomologist.* 2004; 87(3):330-349.
6. Halbert S. Asian citrus psyllid. A serious exotic pest of Florida citrus. 2006. Consultada: 21 may 2007. Disponible en <http://www.doacs.state.h.u/pi/enpp/ento/dcitri.htm>
7. Diaz M. Relaciones ecológicas del minador de los cítricos *Phyllocnistis citrella* Stainton (Lepidoptera: Gracillariidae) en el Municipio Especial Isla de la Juventud. Tesis presentada en opción al grado de Doctor en Ciencias Agrícolas. Universidad Agraria de la Habana. Cuba; 2006. p.105.
8. Fernández M, Miranda I. Comportamiento de *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Psyllidae). Parte III: Relación entre el ciclo de vida y el brote vegetativo foliar. *Rev. Protección Veg.* 2006;20(3):161-164.
9. Levins R y Miranda I. Mathematical model in crop protection. *Rev. Protección Veg.* 2007;22(1):1-17.
10. Tsai JH, Liu Y. Biology of *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae) on four host plants. *J. Econ. Entomol.* 2000;93(6):1721-1725.
11. Etienne J, Quillici S, Marival D, Franck A. Biological control of *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae) in Guadeloupe by imported *Tamarixia radiata* (Hymenoptera: Eulophidae). *Fruits.* 2001;56:307-315.
12. Gilchrist M, Sasaki A. Modeling host – parasite coevolution a nested approach based on mechanistic models. *J. Theory. Biol.* 2002;218(3):289-308.

(Recibido 1-6-2007; Aceptado 10-4-2008)