

# Modelación de la fluctuación poblacional de insectos en un agroecosistema

## Modeling insect population fluctuation in an agroecosystem



CU-ID: 2247/v37n2e02

Javier González Torres<sup>1</sup>, Ana Ibis Elizondo Silva<sup>2</sup>, Ileana Miranda Cabrera<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Centro Nacional de Sanidad Agropecuaria (CENSA), Carretera Jamaica y Autopista Nacional, CP. 32700, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

<sup>2</sup>Instituto de Investigaciones en Sanidad Vegetal. 110, e/ 5ta A y 5ta F, Miramar, La Habana, Cuba

**RESUMEN:** Con el objetivo de estimar la densidad poblacional de los insectos en un agroecosistema, se elaboró un modelo matemático determinístico teórico, según el ciclo biológico del fitófago, en relación con sus enemigos naturales. Para estimar la fluctuación poblacional en campo, se propuso un modelo presa-depredador con competencia interespecífica y se estudió el significado biológico de los parámetros de ambos modelos. Para la validación del modelo de competencia se utilizaron datos provenientes de muestreos periódicos de tisanópteros en un área de 7,71 ha de la finca "Maravilla" perteneciente a la Empresa de Cultivos Varios (E.C.V.) de Artemisa, Cuba. En la simulación del sistema de ecuaciones diferenciales que generó el modelo, se empleó el método genérico iterativo Runge-Kutta de orden 4. El modelo presa-depredador con competencia de depredadores presentó mejor bondad de ajuste según el coeficiente de determinación (0,93), el cuadrado medio del error (1,03) y prueba de Durbin-Watson significativa ( $p < 0,05$ ). Se alcanza un pico poblacional entre los 40 y 60 días después de la siembra y un equilibrio inestable con aproximadamente tres depredadores por cada 15 plantas y una población de tisanópteros por debajo de cuatro individuos. Los modelos propuestos pueden ser validados en la estimación de la densidad de otras poblaciones de insectos.

**Palabras clave:** modelo determinístico, modelo Lotka-Volterra modificado, *Solanum tuberosum* L., plagas.

**ABSTRACT:** In order to estimate the insect population density in an agroecosystem, a theoretical deterministic mathematical model was developed, according to the biological cycle of the phytophagous, in relation to its natural enemies. To estimate the population fluctuation in the field, a prey-predator model with interspecific competition was proposed, and the biological significance of the parameters of both models was studied. For validating the competition model, data from periodic samplings of thrips in an area of 7.71 ha of the "Maravilla" farm belonging to the Various Crops Company (E.C.V.) of Artemisa, Cuba, were used. In the simulation of the differential equations system that generated the model, the generic iterative Runge-Kutta method of order 4 was used. The prey-predator model with predator competition presented better goodness of fit according to the determination coefficient (0.93), mean square error (1.03) and significant Durbin-Watson test ( $p < 0.05$ ). A population peak is reached between 40 and 60 days after sowing and an unstable balance with approximately three predators for every 15 plants and a population of thrips lower than four individuals. The proposed models can be validated in estimating the density of other insect populations.

**Key words:** deterministic model, modified Lotka-Volterra model, *Solanum tuberosum* L., pest.

### INTRODUCCIÓN

Los insectos son el grupo de animales más diverso de la Tierra, con aproximadamente el 54 % de todas las especies descritas actualmente. Se conoce que seis de los 30 órdenes de la clase Insecta son considerados como plagas a la agricultura, lo que genera aproximadamente 5000 especies dañinas. Los órdenes taxonómicos que contienen a las especies consideradas plagas son: Coleoptera, Lepidoptera, Diptera, Hemiptera, Thysanoptera y Orthoptera; los dos primeros son los que contienen el mayor número de insectos plaga (1).

Actualmente, para el control de las plagas se promueve el uso de diferentes alternativas que contribuyen a disminuir las aplicaciones de plaguicidas químicos que afectan al ecosistema (2). En el caso de

los insectos, se promueve el uso de depredadores y parasitoides para evitar el uso de insecticidas (3). Para determinar el momento de aplicación es necesario estudiar la fluctuación poblacional de la presa, lo que se facilita con la utilización de modelos matemáticos (4).

Numerosos trabajos se realizaron para modelar la densidad poblacional de los insectos con el objetivo de pronosticar su comportamiento y establecer medidas de manejo (5). Los modelos matemáticos más efectivos para este propósito serán aquellos que incluyan las variables que inciden en la densidad del insecto, la cual puede depender del nivel de tolerancia del cultivar, condiciones climáticas, tipo de suelo, manejo de nutrientes, desbalance ecológico, entre otros factores (6).

\*Correspondencia a: Ileana Miranda Cabrera. E-mail: ileanam@censa.edu.cu

Recibido: 26/06/2022

Aceptado: 08/08/2022

Sin embargo, una adecuada presentación de las relaciones poblacionales que se establecen en el ecosistema puede conducir a modelos de adecuada predicción (7). Diversos modelos matemáticos informados no incluyen la interacción de las poblaciones (8) o contienen parámetros de difícil determinación en el ecosistema, como el modelo propuesto por Roy y Alan en 2019, donde se separa la mortalidad natural de la mortalidad por competencia (4). Otros modelos necesitan conocer la situación de la plaga y del clima momentos antes para realizar una estimación (9) lo cual, en ocasiones, se desconoce.

El presente trabajo tiene como objetivo proponer modelos matemáticos para la simulación de la fluctuación poblacional de fitófagos en un agroecosistema.

### MATERIALES Y MÉTODOS

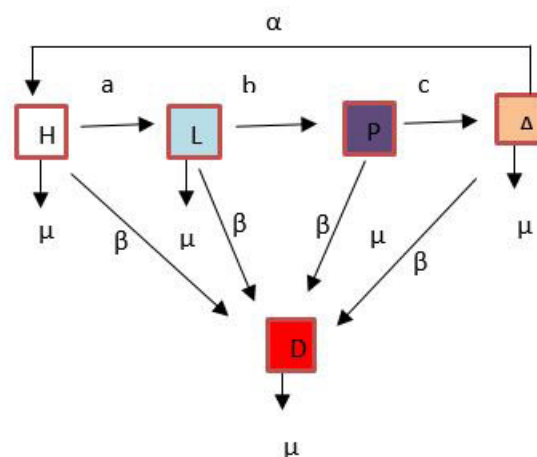
Se elaboró un modelo matemático teórico según la descripción del ciclo biológico de los insectos y su interacción con los enemigos naturales y se estudió el significado biológico de los parámetros. Posteriormente, se elaboró un modelo para caracterizar el ciclo de la población total del fitófago en interacción con los depredadores, con el objetivo de demostrar la existencia o no de un equilibrio ecológico.

El modelo de interacción presa-depredador se simuló en RStudio 1.3.1093, según el método numérico Runge-Kutta de orden 4 (10); los parámetros poblacionales se extrajeron de la literatura (11,12,13). La condición inicial se obtuvo del monitoreo periódico de la población de tisanópteros realizado en un cuadrante de 7,71 ha de la finca “Maravilla” en la Empresa de Cultivos Varios (E.C.V.) de Artemisa, Cuba (8). Estos datos también se emplearon para verificar la bondad de ajuste, según el coeficiente de determinación, el coeficiente de determinación ajustado, el cuadrado medio de error y la prueba de Durbin-Watson (14).

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los insectos pueden clasificarse en ametábolos y metábolos. Los ametábolos presentan muy pocos cambios, principalmente de tamaño y el desarrollo de la genitalia externa. Este tipo de metamorfosis se encuentra en insectos primitivos sin interés agrícola. La mayoría de los insectos son metábolos y presentan tres tipos de metamorfosis incompleta (Huevo-Ninfa-Adulto), intermedia (Huevo-Ninfa-Pseudopupa-Adulto) y completa (Huevo-Larva-Pupa-Adulto) (15).

El modelo propuesto describe los cambios de estado, según el ciclo de los insectos con metamorfosis completa. Indistintamente, un enemigo natural puede alimentarse de uno o varios estadios del insecto (16), por lo que se consideró que todos los estadios pueden ser depredados o parasitados por enemigos naturales representados por la letra D. (Fig. 1).



**Figura 1.** Modelo de interacción presa-depredador que representa la relación *Thrips* spp. -enemigos naturales/ Prey-predator interaction model representing the relationship *Thrips* spp. -natural enemies

El modelo queda descrito por el sistema de ecuaciones:

$$\frac{dH}{dt} = \alpha A - \mu_1 H - aH - \beta_1 HD$$

$$\frac{dL}{dt} = aH - \mu_2 L - bL - \beta_2 LD$$

$$\frac{dP}{dt} = bL - \mu_3 P - cP - \beta_3 PD$$

$$\frac{dA}{dt} = cP - \mu_4 A - \beta_4 AD$$

$$\frac{dD}{dt} = \beta_1 HD + \beta_2 LD + \beta_3 PD + \beta_4 AD - \mu_5 D$$

El significado biológico de los parámetros del modelo se expresa en la [Tabla 1](#).

**Tabla 1.** Parámetros del modelo de fases interacción presa-depredador para un insecto con ciclo de vida Huevo-Larva-Pupa-Adulto / Parameters of the prey - predator interaction phase model for an insect with an Egg-Larva-Pupa-Adult cycle life.

Significado biológico	Símbolo
Tasa de ovoposición del fitófago	$\alpha$
Tasa de huevos que llegan a larva	$a$
Tasa de larvas que llegan a pupas	$b$
Tasa de pupas que llegan a adultos	$c$
Tasa de huevos inviables (que no eclosionan)	$\mu_1$
Tasa de mortalidad natural de larvas	$\mu_2$
Tasa de mortalidad natural de pupas	$\mu_3$
Tasa de mortalidad natural de adultos	$\mu_4$
Tasa de mortalidad natural del enemigo natural	$\mu_5$
Tasa de depredación para huevos	$\beta_1$
Tasa de depredación para larvas	$\beta_2$
Tasa de depredación para pupas	$\beta_3$
Tasa de depredación para adultos	$\beta_4$

Para validar este modelo los parámetros se deben estimar experimentalmente, su unidad de medida es 1/ unidad de tiempo. El modelo se puede modificar si se conoce la respuesta funcional que presentan diferentes enemigos naturales sobre su presa (17).

Generalmente, cuando se realizan muestreos de campo, se cuenta la población total de una especie plaga y sus enemigos naturales, por lo que se formuló un modelo de interacción presa-depredador más simple. En este caso, como se conoce que tanto en presas como en predadores puede existir una competencia por el espacio o por la presa (4), se formuló un modelo presa-depredador con competencia interespecífica:

$$\frac{dX}{dt} = aX - bXY - cXX$$

$$\frac{dY}{dt} = -dY + eXY - fYY$$

X - Densidad de presas

Y - Densidad de depredadores

a - Tasa intrínseca de incremento de las presas

b - Éxito del depredador

c - Tasa de competencia interespecífica de las presas

d - Mortalidad Natural del depredador

e - Índice de Respuesta numérica del depredador

f - Tasa de competencia interespecífica de los depredadores

Para simular la interacción de los tisanópteros con sus depredadores, se consideró la tasa de incremento de las presas como 0,92, según el incremento promedio que tienen las poblaciones de tisanópteros en campo, de un muestreo a otro, atendiendo a la densidad encontrada por hoja (8). Según las densidades informadas, los tisanópteros no presentan competencia interespecífica y  $c=0$  (11). Los valores de los parámetros del depredador se tomaron de estudios de laboratorio para *Orius laevigatus* (Fieber) como agente de control biológico de trips (13):  $b=0,36$ ;  $d=0,14$ ;  $e=0,20$ . El valor de  $f$  fue 0,25 atendiendo a que, cuando los depredadores no son generalistas, compiten por la presa y esto regula su densidad (12).

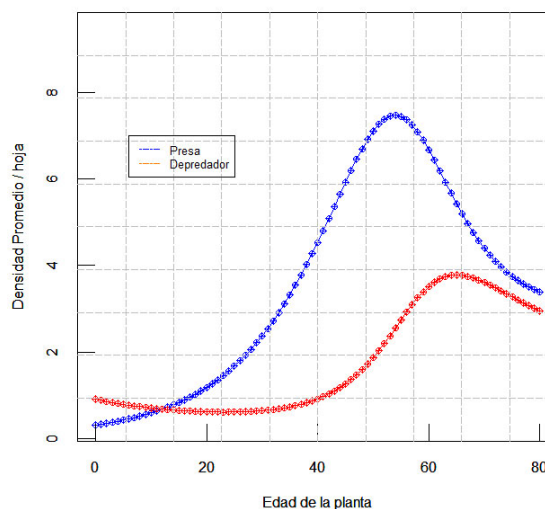
En la simulación se observó que la población crece paulatinamente y disminuye después de un pico poblacional (Fig. 2). Este resultado coincide con autores que plantearon que la población crece desde fases tempranas del cultivo y toma mayor o menor magnitud en dependencia de la fecha de plantación (8) y la influencia del clima (17). Generalmente, se presenta un pico poblacional entre los 40 y 60 días en dependencia del cultivar y fecha de plantación (8, 18, 19). Este tipo de fluctuación es característico de los tisanópteros, quienes muestran similar comportamiento en otros cultivos. Por ejemplo, en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), de igual manera, se incrementa la infestación después de la segunda semana de emergidas las plantas y se mantiene un crecimiento hasta un pico poblacional casi al final del ciclo, para posteriormente decrecer (19).

Para este modelo, los puntos de equilibrio (0;0) y (3,89; 2,55), calculado igualando el sistema a cero:

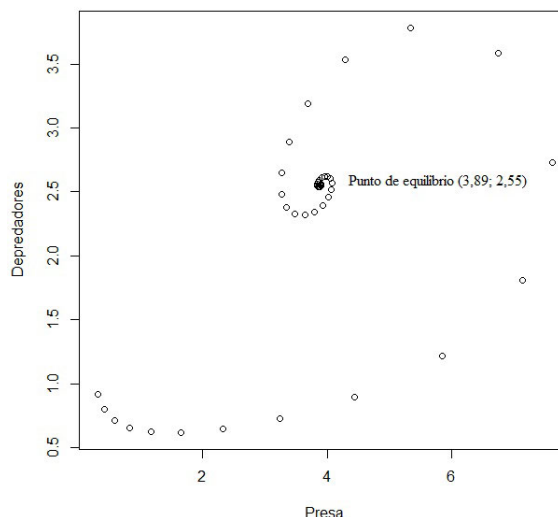
$$X = \frac{af + bd}{be + cf} = \frac{0,92*0,25 + 0,36*0,14}{0,36*0,20} = 3,89$$

$$Y = \frac{ae - cd}{be + cf} = \frac{0,92*0,20}{0,36*0,20} = 2,55$$

resultaron inestables (20). El valor (3,89; 2,55) se alcanza después de los 60 días posteriores a la plantación, si la población de depredadores inicia en una densidad baja (Fig. 3). Por ello, se recomienda estudiar respuesta funcional de los depredadores, a fin de conocer el nivel poblacional capaz de controlar la presa y establecer medidas de manejo con el uso de controles biológicos (13).

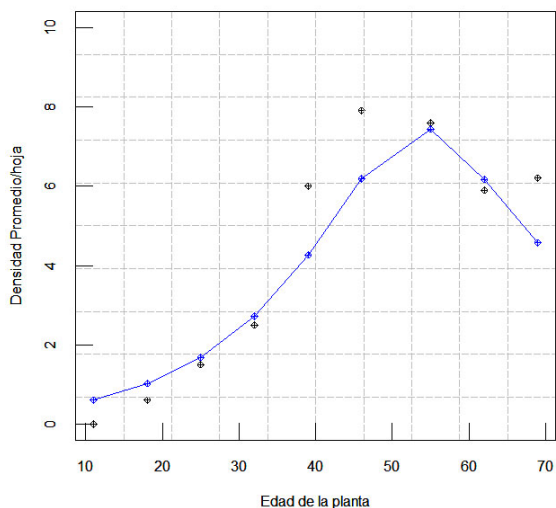


**Figura 2.** Estimación de la densidad poblacional de *Thrips* spp. en interacción con sus enemigos naturales, según modelo presa-depredador con competencia entre depredadores/ Estimation of the *Thrips* spp. population density in interaction with their natural enemies according to the prey-predator model with competition between predators.



**Figura 3.** Espacio de fase del modelo presa-depredador con competencia interespecífica de los depredadores/ Phase space of the predator-prey model with interspecific predator competition.

Los valores de densidad de presa obtenidos por el modelo se aproximan a los valores informados por Elizondo *et al.* (2006) (8). El modelo presentó buenos indicadores de bondad de ajuste, coeficiente de determinación de 0,93, cuadrado medio del error 1,03 y prueba Durbin-Watson significativa ( $p < 0,05$ ). (Fig. 4)



**Figura 4.** Bondad de ajuste del modelo presa-depredador con competencia interespecífica de los depredadores/ Goodness of fit of the predator-prey model with interspecific predator competition.

Las investigaciones que involucren la relación de la tasa de natalidad de los insectos con la variación de factores abióticos mejorarán aún más la predicción. En este sentido, se demostró que la variante estocástica de un modelo Lotka-Volterra puede incrementar los niveles predictivos (21), aspecto que se evaluará en investigaciones futuras.

## AGRADECIMIENTOS

La investigación que da origen a los resultados presentados en la presente publicación recibió fondos de la Oficina de Gestión de Fondos y Proyectos Internacionales bajo el código PN211LH009-012 referido al proyecto “Pronóstico de la distribución de las principales plagas de *Solanum tuberosum* L. en correspondencia con el desarrollo del cultivo en escenarios climáticos futuros”, perteneciente al Programa Nacional de Mitigación y Adaptación al cambio climático en Cuba.

## REFERENCIAS

- Hernández ML, Vazquez NG, Hernández J, Arroyo D, García LF, Del Rincón MC. Estudio de agentes de control biológico virales y bacterianos hacia plagas agrícolas. XXVI Verano de la Ciencia. 2021; 10:1-8. <https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx>.

- Gakegne ER, Martínez-Coca B. Efficacy of two biofungicides for early blight field management in potato (*Solanum tuberosum* L.). Rev. Protección Veg. 2019; 34(1):1-9. <http://revistas.censa.edu.cu/index.php/RPV/article/view/1017/1297>.
- Miranda I, Baños HL, Martínez M, Alemán J. Modelo teórico de la interacción de *Diaphorina citri* Kuwayana (Hemiptera: psyllidae) con sus enemigos naturales. Rev. Protección Veg. 2008; 23(2):126-130.
- Jyotirmoy R, Shariful A. Fear factor in a prey-predator system in deterministic and stochastic environment. Journal Pre-proof. 2019; 31p. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2019.123359>
- Benítez HL, Miranda I. Desarrollo y aplicación de los modelos de simulación para el estudio de la dinámica de poblaciones. Rev. Protección Veg. 2018; 33(2). <http://revistas.censa.edu.cu/index.php/RPV/article/view/963/1078>
- Otieno MO. Impacts and Management Strategies of Common Potato (*Solanum tuberosum* L.) Pests and Diseases in East Africa. Frontiers in Science. 2019; 9(2):33-40.
- Denno RF, McClure M, Ott JR. Interspecific interactions in phytophagous insects: competition reexamined and resurrected. Annu. Rev. Entomol. 1995; 40:297-331. <https://www.annualreviews.org>
- Elizondo AI, Murguido M. Modelos de mejor ajuste matemático a la fluctuación de las poblaciones de *Thrips palmi* Karny en el cultivo de la papa. Centro Agrícola. 2006; 33(4):35-40.
- Porras AC, Jiménez SF, Figueroa I, Santos M, Sistachs V. Modelo predictivo de los cambios poblacionales de *Thrips tabaci* Lindeman (Thysanoptera: Thripidae) en el cultivo de la cebolla (*Allium cepa* L.) en Cuba. Fitosanidad. 2007; 11(4):17-21.
- Oladokun M, Lin Z. Dynamic sequential box modelling of inhalation exposure potential in multi-bed patient ward: Validation and baseline case studies. Building and Environment. 2019; 161:106-241.
- Elizondo AI, Milán M, Tejeda M, Rojas P. Comportamiento de las poblaciones de trips (Thysanoptera: Thripidae) y *Nesidiocoris tenuis* Reuter (Hemiptera: Miridae) en el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.) en Cuba. Fitosanidad. 2016; 20(3):137-140.
- González MA, Hernández AD. Asociación Gladiolo “*Gladiolus grandiflorus*”-Cempoalxóchitl “*Tagetes erecta*”: Impacto en la población de trips “*Thrips simplex*” y mosca blanca “*Bemisia tabaci*” en el valle de Toluca. (Tesis en opción al título de ingeniero agrónomo en floricultura). Universidad Autónoma del

- Estado de México. 2018. <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/94871>
13. Cocuzza GE, Clercq P, Lizzio S, Van der Veire M, Tirry L, Degheele D, *et al.* Life tables and predation activity of *Orius laevigatus* and *O. albidipennis* a three constant temperatures. *Entomologia Experimentalis et Applicata*. 1997; 85:189-198.
  14. Durbin J, Watson GS. Testing for serial correlation in least squares regression (I). *Biometrika*. 1950; 37 (3-4):409-428.
  15. Pedigo LP, Rice ME. *Entomology and Pest Management*. 5ta Ed. New Jersey: Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, Columbus, Ohio. 2006; 749 p.
  16. Gandarilla-Pacheco FL, Pérez CE, De Jesús E, Alemán-Huerta ME, Quintero-Zapata E. Evaluación de hongos entomopatógenos sobre estadios larvarios de *Aedes aegypti* Linnaeus, (Diptera: culicidae). *Entomología mexicana*. 2020; 7:105-111.
  17. Meza K, Cusme M, Velasquez J, Chirinos D. Trips (Thysanoptera) asociados con la pitahaya *Selenicereus undatus* (Haw.) DR Hunt. especies, niveles poblacionales, daños y algunos enemigos naturales. *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida*. 2020; 32(2):93-105.
  18. Vincini AM, Jacobsen B, Tulli MC, Carmona DM, López R. Dinámica poblacional de *Frankliniella occidentalis* (Pergande) y *Thrips tabaci* Lindeman en cultivos de papa (*Solanum tuberosum* L.). *Entomotropica*. 2014; 29(1):17-27.
  19. Guerra L, Cuellar L, Miranda I, Sánchez A, Baños HL, Suris M. Influencia de variables climáticas sobre la fluctuación poblacional de thrips (*Megalurothrips usitatus* Bagnall) en frijol. *Rev. Protección Veg*. 2021; 36(2).
  20. Ibarguen - Mondragon E, Esteva L, Chávez - Galán L. Estabilidad global para un modelo matemático sobre la respuesta inmune innata de macrófagos contra el *Micobacterium tuberculosis*. *Revista Sigma*. 2010; (1):1-17 <http://coes.udenar.edu.co/revistasigma/articulos/Vol'umenX No 1/1.pdf>.
  21. Uribe D. Modelo de regresión con parámetros estocásticos. *Revista Colombiana de Estadística*. 1988; 17:89-101. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/24268>

**Declaración de conflicto de intereses:** Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

**Contribución de los autores:** Javier González Torres: **Análisis Formal, Investigación, Metodología, Software, Validación, Visualización, Escritura-Borrador Original, Redacción: Revisión y Edición.** Ana Ibis Elizondo Silva: **Curación de datos, Investigación, Recursos, Validación, Redacción: Revisión y Edición.** Ileana Miranda Cabrera: **Conceptualización, Análisis Formal, Adquisición de Fondos, Investigación, Metodología, Administración de Proyectos, Supervisión, Escritura-Borrador Original, Redacción: Revisión y Edición.**

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)