

ESTUDIO Y MODELACIÓN DEL DAÑO A LA RAÍZ POR *PHYLLOPHAGA RAVIDA* (BLANCHARD) (COLEOPTERA: MELOLONTHIDAE) EN EL CULTIVO DE MAÍZ EN LA ZONA DE TEUCHITLÁN, JALISCO

VALERIO PALACIOS CORONA¹, MARCELINO VÁZQUEZ GARCÍA², DIEGO R. GONZÁLEZ EGUIARTE², KEIR F. BYERLY MURPHY¹, EVERARDO VILLARREAL FARIAS³, JUAN ÁNGEL QUIJANO CARRANZA⁴.

¹ INIFAP, Región Pacífico Centro. Parque los Colomos s/n Guadalajara, Jalisco, México. C.P. 44660.
palacios.valerio@inifap.gob.mx; byerly.keir@inifap.gob.mx

² CUCBA. Universidad de Guadalajara. Las Agujas, Nextipac, Municipio de Zapopan, Jalisco, México. C.P. 45110.
mvazquez@cucba.udg.mx; diegonz@cucba.udg.mx

³ Instituto de Investigación y Desarrollo Empresarial, S.A. DE C.V. Hacienda Vegil No. 403, Col. Jardines de la Hacienda, Querétaro, Querétaro. C.P. 76081. everardo@telecable.net.mx.

⁴ INIFAP, Región Centro. Carretera Celaya-San Miguel Km 8. C.P. 38010. quijano.juanangel@inifap.gob.mx.

MODELACIÓN DEL DAÑO A LA RAÍZ POR *PHYLLOPHAGA RAVIDA*

RESUMEN: Estudio y modelación del daño a la raíz por *Phyllophaga ravida* (Blanchard, 1850) (Coleoptera: Melolonthidae) en el cultivo de maíz en la zona de Teuchitlán, Jalisco. Diagnósticos técnicos realizados en la Zona Centro de Jalisco muestran la ineficacia en el control de "gallina ciega", plaga que causa daños o pérdidas hasta de 100%, lo que se ha convertido en uno de los mayores problemas de la producción y productividad del maíz. A pesar de lo anterior, no se han generado recomendaciones viables para el control de esta plaga. El presente trabajo tuvo como objetivo probar un modelo de simulación dinámica para estudiar a la "gallina ciega" *P. ravida* y su daño al cultivo del maíz. Para la elaboración del modelo se tomaron datos sobre la biología de esta especie, obtenidos en campo a partir de colectas en 30 parcelas a lo largo de dos años y además, de los registros climáticos en la zona de Teuchitlán, Jalisco. El modelo estableció que el daño ocasionado por la plaga dependió más que del tamaño de la población, de la combinación de las condiciones ambientales en las que jugaron un papel determinante la humedad del suelo y las unidades calor, además de los factores que determinan el estado nutricional del cultivo.

PALABRAS CLAVE: *Modelo, productividad, gallina ciega.*

ABSTRACT: Study and modelation of root damage by *Phyllophaga ravida* (Blanchard, 1850) (Coleoptera: Melolonthidae) in corn crop at Teuchitlan, Jalisco. Several reports show poor control of white grub causing corn yield loss up to 100%. This is one of the most important problems of corn productivity. This piece of work was intended to test a dynamic simulation model for corn root damage by white grub. To create and check model, biological data was collected from 30 field plots during a two year period, as well as weather data. The model stablished that damage caused by pest, was due to the combination of weather factors, soil humidity, temperature and nutritional status of the plant, rather than population density.

KEY WORDS: *Model, productivity, white grub.*

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de producción agrícola con monocultivo tienen como peculiaridad un alto grado de labranza y uso de agroquímicos que dan por resultado un desequilibrio biótico que conduce a la explosión de poblaciones de insectos, maleza y fitopatógenos de difícil control.

Los coleópteros rizófagos, representan una de las principales causas de reducción de la producción de los cultivos. Las plagas de la raíz forman un complejo del cual, las especies más importantes son: *Phyllophaga vetula* (Horn, 1887), *Phyllophaga ravida* (Blanchard, 1850), *Phyllophaga misteca* (Bates, 1888), *Phyllophaga dentex* (Bates, 1888), *Cyclocephala lunulata* (Burmeister, 1847), *Anomala* spp., *Diabrotica virgifera zea* (Krysan y Smith, 1987), *Colaspis chapalensis* (Blake, 1976) y *Aeolus* sp. (Pérez y Álvarez, 2003).

Diagnósticos técnicos realizados en la Zona Centro de Jalisco (Palacios, 2007) reflejan ineficacia en el control de “gallina ciega”, plaga que causa daños o pérdidas hasta de 100%, lo que se ha convertido en uno de los mayores problemas que reducen la producción y productividad del maíz.

A pesar de esta situación, no existen recomendaciones viables para el control de las especies que dañan la raíz de las plantas. Por ello, es necesario generar recomendaciones que provengan de estudios que involucren los diversos factores y sus interacciones que determinan el problema. Además, es necesario considerar al cultivo con un enfoque de sistema, ya que el grado de daño depende, en gran medida, de las relaciones existentes entre el medio de desarrollo, el insecto y el cultivo. Este enfoque exige visión multidisciplinaria, característica de la herramienta de dinámica de sistemas.

El objetivo de la presente investigación fue estudiar el efecto del daño a la raíz causado por “gallina ciega”, bajo las condiciones de manejo y ambiente físico de Teuchitlán, Jalisco y la combinación de los diferentes factores (insecto, cultivo y ambiente físico), en un modelo de simulación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Monitoreo de larvas

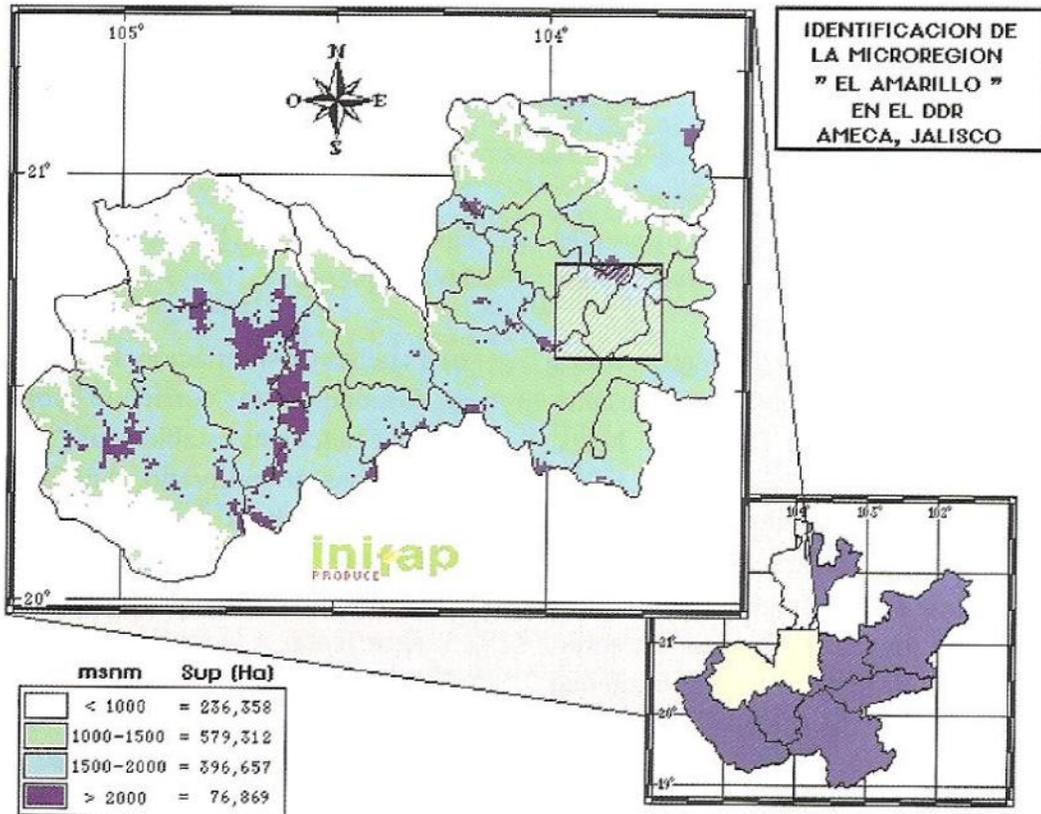
El estudio se realizó en el Ejido “El Amarillo”, Municipio de Teuchitlán, Jalisco (Figura 1). El ciclo del cultivo de maíz de temporal en Primavera-Verano en la Zona Centro de Jalisco se inició en junio y terminó en octubre. Durante los ciclos del cultivo de maíz en los años 1999 y 2000 se tomaron muestras de suelo cada 15 días para cuantificar las larvas de *P. ravida*. La unidad de muestreo fue un cepellón de suelo con raíz de 0.6 x 0.4 m en cuatro profundidades (0.1, 0.2, 0.3 y 0.4 m). En cada uno los 30 predios (Cuadro 1 y Figura 1) se seleccionaron dos sitios (de plantas sanas y de plantas infestadas) para totalizar 240 muestras. Se realizaron cuantificaciones solamente de larvas de *P. ravida* cuando llegaron al tercer estadio larval y la identificación se hizo con la asesoría del Taxónomo Antonio Marín Jarillo, responsable de la colección de insectos del INIFAP en el Campo Experimental del Bajío, Celaya, Gto. Las larvas al momento de su colección se midieron y pesaron; así mismo, se determinó el número de días hasta la emergencia de los adultos después de alimentarlas artificialmente en recipientes de tapa perforada con suelo estéril a las que periódicamente se les adicionó agua y rodajas de zanahoria fresca en una cámara a una temperatura de 27 ± 2 °C. y $70 \pm 5\%$ de humedad relativa.

Con fines prácticos, y dado que las mediciones se hicieron en campo, la determinación de los estadios larvales se realizó mediante el artificio de relacionar la longitud y el peso de las larvas y no de la manera convencional, que consiste en medir la anchura de la cápsula cefálica bajo el microscopio (King, 1996). Se clasificaron tres edades: “1” la del estadio larval 1, “2” la del estadio larval 2 y “3” la del estadio larval 3.

MONITOREO DEL CULTIVO

Se determinaron las variables área foliar cada 15 días después de la emergencia de las plantas, peso

FIGURA 1. Ubicación del ejido el Amarillo, Municipio de Teuchitlán, Jalisco.



Cuadro 1

Número de predios muestreados por agricultor participante en el Municipio de Teuchitlán, Jalisco

Productor	Predios Muestreados
Fernando Villegas	4
Catarino Magallón	4
Samuel Montes	3
Roberto Sánchez	2
Alberto Magallón	2
Santiago Arreola	3
Eduwiges García	3
Vicente Sánchez	2
Eusebio Magallón	2
Raúl Rodríguez	1
Félix Márquez	1
Rogelio Márquez	2
Salvador Álvarez	1

seco de tallo, espigas, raíz, hojas, y al final del ciclo, peso del grano a 14 % de humedad. Los genotipos utilizados fueron variedades mejoradas de ciclo intermedio (Pantera, Pioneer-3288, HV-313)

Desarrollo del método de modelación

La dinámica de sistemas integra y utiliza los fundamentos de la Cibernética y de la Teoría General de Sistemas como base teórica de los sistemas generales. Utiliza la informática para simular los modelos matemáticos que obtiene y la experiencia de los expertos en el área de conocimiento o problema a abordar (Aracil, 1992).

Se cubrieron diferentes fases de acuerdo a conceptos de diversos autores (Rabbinge *et al.*, 1990; Martín, 2000; Delgado, 2002; González *et al.*, 2003):

Fase de conceptualización. Consistió en la selección de un factor que incide de manera negativa y significativa en la producción del maíz. Una vez seleccionado el problema se continuó con las siguientes etapas:

- a) Definición de los límites del sistema:
 - i) El insecto: *P. ravidia* en sus diferentes estadios (larva 1, larva 2, larva 3, pupa y adulto).
 - ii) El cultivo: *Zea maíz* en diferentes edades fisiológicas (EDF) con la siguiente categorización arbitraria: EDF1 = 2 hojas, EDF2 = 8 hojas, EDF3 = Floración, EDF4 = elote y EDF5 = Madurez fisiológica y partición de sus estructuras orgánicas (hojas, tallo, raíz, espiga y mazorca).
 - iii) El ambiente físico: Radiación solar, evaporación, temperatura y humedad del ambiente y del suelo.
- b) Diseño del diagrama causal. Este diagrama se desarrolló en base a las variables que se relacionan con el problema: ciclo biológico de la plaga, raíz del cultivo, maleza, nutrición, factores del ambiente físico y ambiente biológico. Los sentidos de las flechas pueden ser positivos o negativos; dos de ellos con signos diferentes originan un subgrupo negativo, con signos iguales originan un subgrupo positivo.
- c) Fase de formulación del sistema. Se conformó el contexto con base en el conocimiento común, en el que se desarrolla el sistema bajo estudio y así, construir la modelación; se procedió como a continuación se describe:
 - i. Diseño del diagrama de flujo. Se realizó una traducción del diagrama causal a una terminología que facilitó la escritura de las ecuaciones en el programa de computo "Vensim" y básicamente se reclasificaron los elementos en: variables de nivel o estado, de flujo y auxiliares.

- ii. Definición de ecuaciones concisas. Con la finalidad de que el sistema computacional interpretara la visión del sistema, se definieron las ecuaciones que pudieran cumplir con este propósito (Cuadro 2).

Fase de evaluación. En la última etapa del modelo se contemplaron:

- a) Pruebas de simulación. Para comprobar que el modelo esta "corriendo" con su diseño y las ecuaciones establecidas.
- b) Pruebas de calibrado. Análisis de sensibilidad numérica y estructural. Se comparó con los datos obtenidos en campo y se hicieron cambios y ajustes que permitieran representar a la realidad de la manera más aproximada posible.

Monitoreo ambiental

Se registró información climática de los factores radiación solar, temperaturas máximas y mínimas, humedad relativa, precipitación y las variables de suelo: temperatura, humedad, textura, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico y pH.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Monitoreo de larvas

De acuerdo a los muestreos realizados durante 1999 y 2000 en la zona estudiada, la población se integró con un 60% de *P. ravidia*, 5% de *P. vetula* y 8% de *Cyclocephala* sp., además de la presencia de 4% de *Colaspis* sp y de 23% de otras especies no plaga. Los datos de peso y longitud de las larvas de *P. ravidia* se muestran en la Figura 2 y con ellos se estimó la edad fisiológica que se muestra en la Figura 3. Con estos datos se obtuvo la fluctuación estacional de los estadios larvarios (Figura 4). Estas determinaciones se ubican dentro de los rangos reportados por Aragón *et al.* (2005), quienes consignan que, con la medición de la cápsula

Cuadro 2

Ecuaciones en modelación dinámica para el ciclo biológico de la "gallina ciega" *P. ravidia*

VARIABLES DE ESTADO:	VARIABLES DE FLUJO	VARIABLES AUXILIARES
Huevecillo.- Oviposición-Eclosión-Tmort Instar1.- Eclosión-Crecimiento-Tmort1 Instar2.- Crecimiento1-Crecimiento2-Tmort2 Instar3.- Crecimiento2-Transf1-Tmort3 Pupa.- Transf1-Tansf2-Tmort4 Adulto.- Entrada de adultos +Transf2-Muerte	Oviposición.- IF THEN ELSE (Instar>2, IF THEN ELSE(Instar<3,(Emergencia de adultos * Género)*(Eventos de oviposición*9),0),0) Eclosión.- IF THEN ELSE (Instar>3, IF THEN ELSE (Instar>4,(Huevecillo/5),0),0) Crecimiento1.- IF THEN ELSE (Instar>4, IF THEN ELSE (Instar<5, (Instar1/10),0),0) Crecimiento2.- IF THEN ELSE (Instar>5, IF THEN ELSE (Instar<6,Instar2/10,0),0) Tmort.- IF THEN ELSE (Instar1<1,Huevecillo*0.216/12,0) Tmort1.- IF THEN ELSE (Instar2<2, Instar1*0.078/29,0) Tmort2.- IF THEN ELSE (Instar<3, Instar2*0.131/50,0) Tmort3.- IF THEN ELSE (Instar<4, Instar3*0.366/118,0) Tmort4.- IF THEN ELSE (Instar2<5, pupa*0.678/67,0) Transf1.- IF THEN ELSE (Instar>5,9, (Instar3)/Periodo Ins3,0) Transf2.- IF THEN ELSE (Instar>1, IF THEN ELSE(Instar>2,pupa/per pup,0),0) Entrada de adultos.- IF THEN ELSE (Humedad res >20, IF THEN ELSE (Instar>2, (migración),0),0) Muerte.- IF THEN ELSE (Instar>2, Adulto/Período de defunción, 0)	Genero.- 0.5 Eventos de oviposición.- IF THEN ELSE (Humedad res>20,3,0) Instar.- IF THEN ELSE (UCacum<=Pup,UCacum/adul, IF THEN ELSE (UCacum<=adul,1+(UCacum-pup)/(adul-pup), IF THEN ELSE(UCacum<=Hueveci, 2+(UCacum-adul)/(Hueveci-adul), IF THEN ELSE (UCacum<= Ins1, 3+(UCacum-Hueveci)/(Ins1-Hueveci), IF THEN ELSE (UCacum<=Ins2, 4+(UCacum-Ins1)/(Ins2-Ins1), IF THEN ELSE (UCacum<=Ins3,5+(UCacum-Ins2)/(Ins3-Ins2,0)))) Migración.- IF THEN ELSE (Instares2>5.5,2,0) Período de defunción.- 20 Humedad res.- IF THEN ELSE (Time<90, 0, IF THEN ELSE (Humedad res+Rain-0.5*Etp))

cefálica, la duración del primer estadio larval es entre 16 a 46 días, la del segundo de 21 a 58 días, y la del tercero de 76 a 127 días. Este resultado debe ser considerado una nueva y precisa herramienta estadísticamente válida en el estudio de la especie involucrada.

Monitoreo del cultivo

En la Figura 5 se observa que al inicio de la edad fisiológica la planta concentra su energía mayormente en la raíz, seguida por las hojas y por último

el tallo. Posteriormente, en la etapa vegetativa, se incrementa el crecimiento de las hojas, después el tallo y la raíz inicia un decremento. En dehiscencia, el tallo presentó mayor crecimiento, pero al final del ciclo todo se concentró en la formación del grano con valores cercanos a 1 (Van Keulen y Wolf, 1986; Rabbinge, *et al.*, 1990).

Conjuntando estos resultados con los correspondientes a la fluctuación de los estadios larvarios, es interesante observar que si la vida activa de la raíz se prolongara, la planta estaría en mejores

Modelación del daño a la raíz por *Phyllophaga ravida*

FIGURA 2. Relación entre longitud y peso de larvas de *P. ravida*

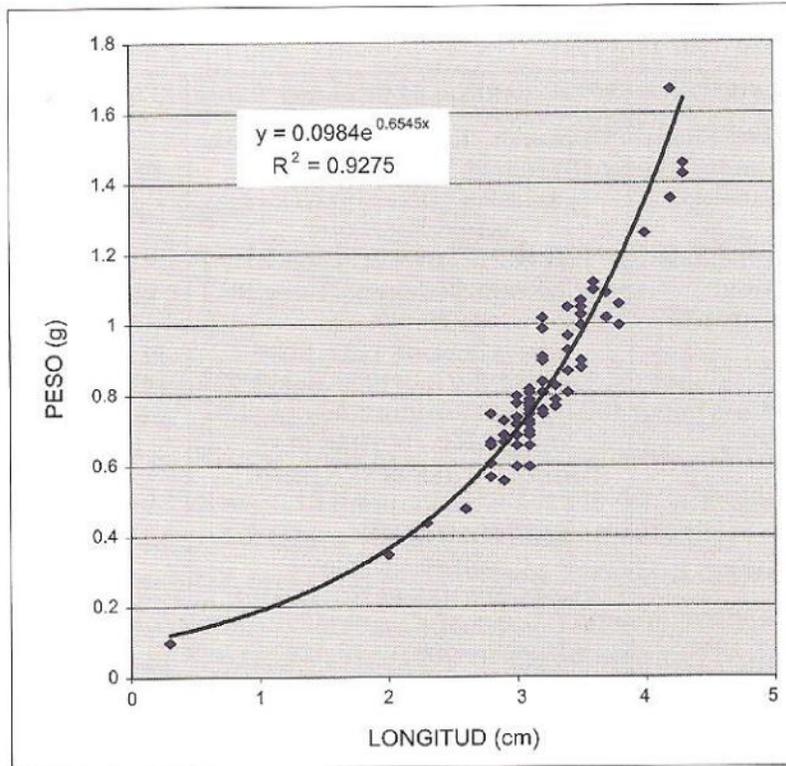


FIGURA 3. Estadio en base al peso de larva de *P. ravida*

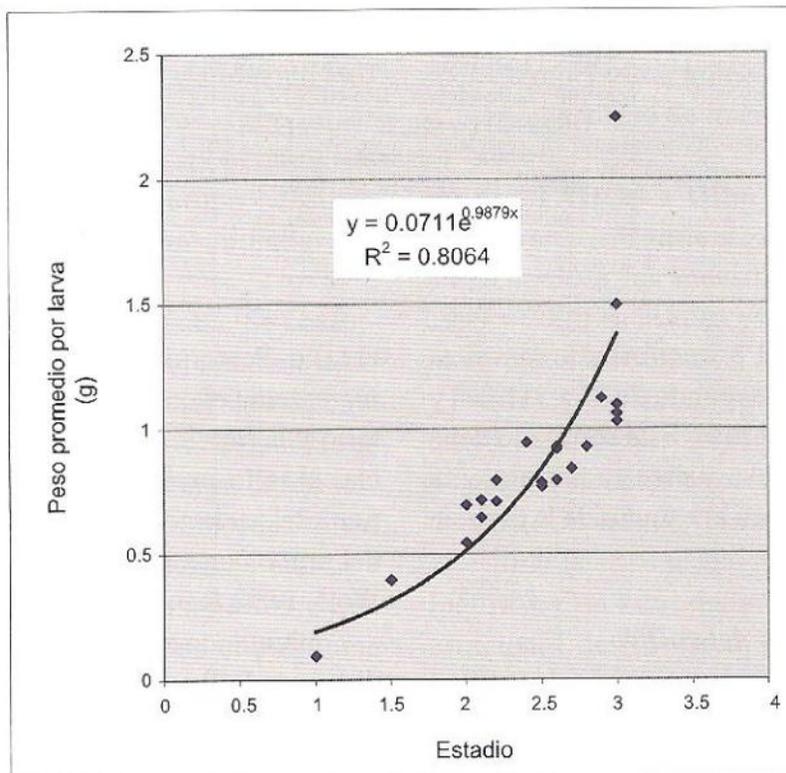


FIGURA 4. Fluctuación estacional de los estadios larvarios de *P. ravida* calculados a partir del peso de las larvas.

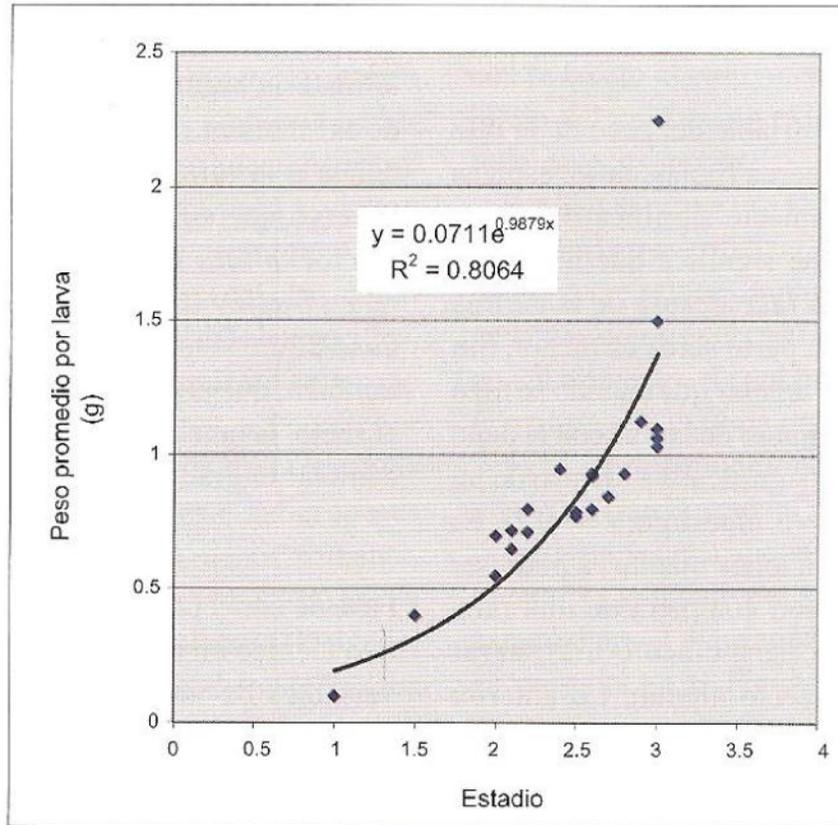
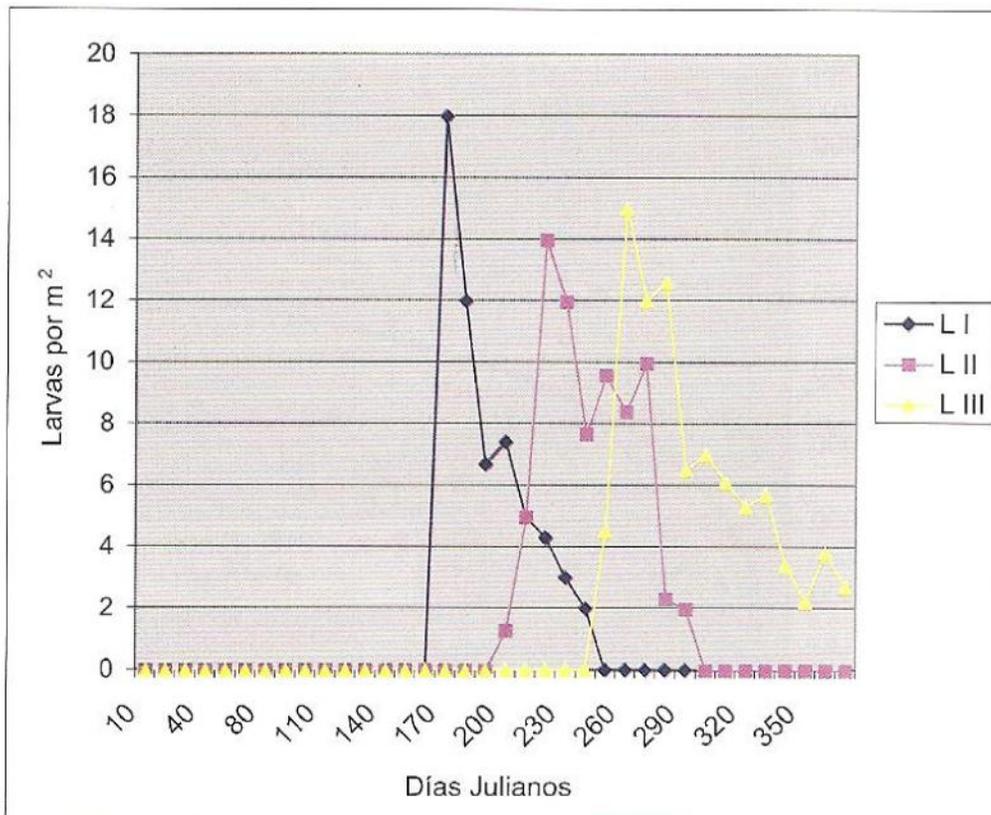


FIGURA 5. Partición de la materia seca en la variedad intermedia H-359.



condiciones de enfrentar los estadios larvarios 2 y 3 que son los más agresivos. La nutrición podría ser una opción para propiciar tal prolongación (Havlin, *et al.*, 2004)

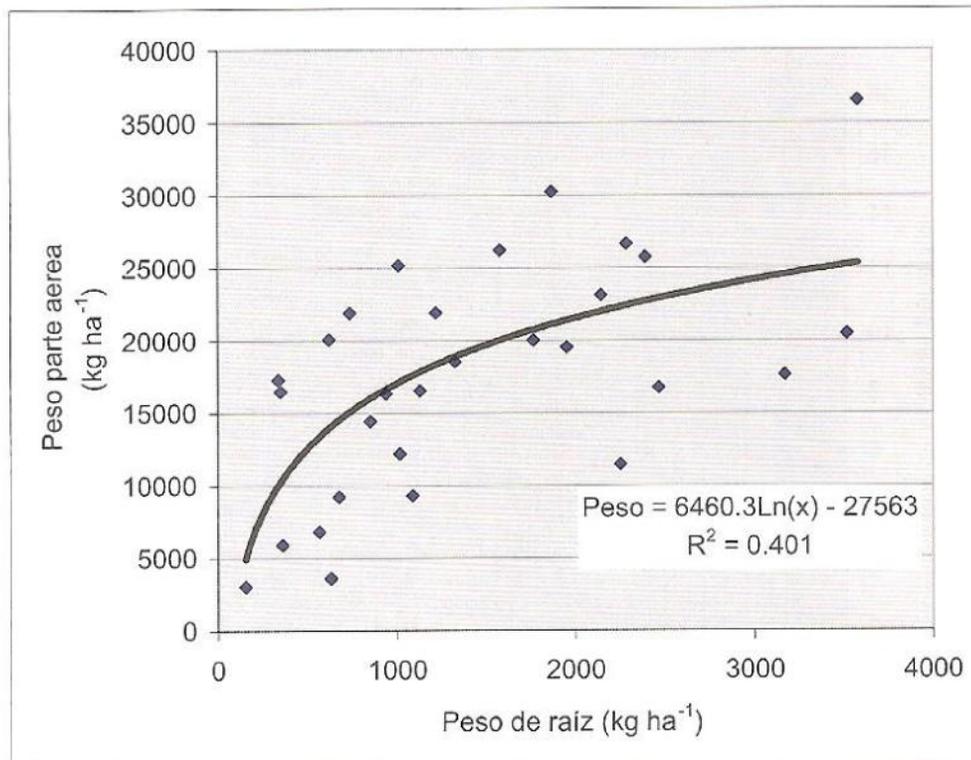
La correlación de la variable del peso de la raíz con el peso en la parte aérea (hojas, tallo, espigas y mazorca) resultó altamente significativa ($R^2 = 0.401$) (Figura 6), lo que significa que a medida que se pierde peso en la raíz a causa de la gallina ciega, el desarrollo de la parte aérea es menor. Sin embargo, es importante señalar que cuando se hizo la correlación entre el número de larvas con el daño a la raíz, ésta no resultó significativa (dentro de un rango de 1 a 30 larvas por muestreo, $r = -0.2$). Es decir, bajo ciertas condiciones una larva pudo ser la causa de la destrucción completa de una raíz, mientras que en otros casos, cinco o más larvas pudieron no producir efecto alguno. Lo anterior condujo a considerar que otros factores del ámbito donde se desarrolló el cultivo, determinaron el daño

con mayor impacto que el número de larvas presentes. Este resultado coincide con lo expresado por diferentes autores. Villalobos (1998) estableció que la materia orgánica actúa como fagoestimulante, de tal manera que algunas especies no causaron daños a la raíz. Adicionalmente, Deloya (1998), observó que en suelos ricos en materia orgánica *Cyclocephala lunulata* no consume raíces del maíz. Steffey (1999), también observó, que existe daño diferencial entre especies de “gallina ciega” y también, que el contenido de material orgánico en el suelo, la nutrición del cultivo y la maleza, hacen cambiar el grado de daño.

Diseño del Modelo

Fase de conceptualización. Mediante un diagnóstico técnico en el que se correlacionaron todas las variables de manejo agronómico, se determinó como variable de mayor impacto la “gallina ciega” (Palacios *et al.*, 2007).

FIGURA 6. Peso de raíz relacionado con la parte aérea (Kg ha^{-1}). Teuchitlán, Jalisco.



Límites del Sistema y Diagrama causal. Con base en relaciones causa-efecto de la Teoría de Sistemas, (Aracil, 1992) se estableció que varios subgrupos del sistema ("Buckles" en Inglés) (Figura 7) estaban siendo afectados por variables del ambiente biológico y del ambiente físico. En el primer subgrupo, la "gallina ciega" (huevecillo, larva, pupa y adulto), resultaron ser ciclos positivos, es decir, entre más existiera de un elemento más habría del otro, como lo sería de huevecillo a larva; entre más huevecillos, más larvas. Análogamente, el siguiente subgrupo está representada por el "alimento", así como por la larva al ingerirlo, que puede ser materia orgánica o la raíz del cultivo, o ambas; este subgrupo es negativo, ya que entre más larvas menos alimento, y entre más alimento más larvas, situación que en teoría de sistemas conduce al equilibrio (Delgado, 2002). El caso de raíz-producción de materia seca es otro subgrupo con una relación positiva (dependiendo de la edad fisiológica, Figura 5); el subgrupo raíz-nutrición tendría una relación negativa, ya que entre más se nutre la raíz menos elementos de nutrición permanecerían en el suelo, pero entre

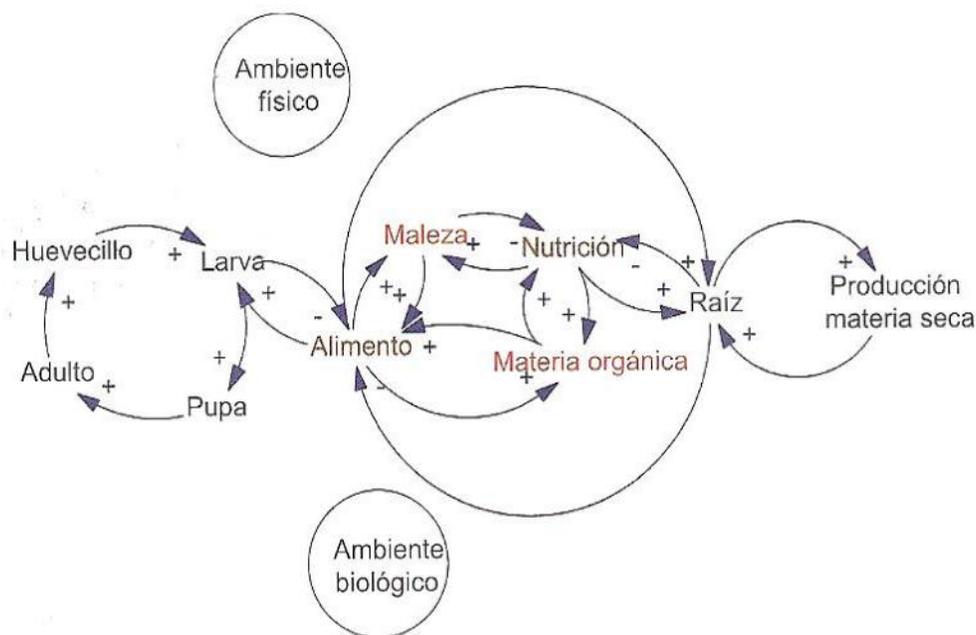
mayor nutrición exista mayor será el crecimiento de la raíz. Cuando la maleza está presente, las larvas se alimentan de ésta, lo que es una relación negativa con respecto al cultivo; si la maleza se controla al inicio del cultivo, no existe relación alguna, o en todo caso, es menor.

Por lo que respecta a la relación entre los subgrupos, habría que enfatizar que se establecieron en el diagrama relaciones, tanto de carácter positivo como negativo, como es el caso del insecto en su conjunto, con el alimento, el cual puede ser el propio cultivo, la maleza y la materia orgánica (Figura 7).

Fase de formulación. El diagrama de causa efecto se transformó en un diagrama de flujo y se insertaron las ecuaciones respectivas para instrumentar el lenguaje del simulador ("Vensim"); de esta manera el diagrama de flujo resultó ser el que se presenta en la Figura 8, cuyo funcionamiento se ilustra parcialmente con las cuatro gráficas de la Figura 9.

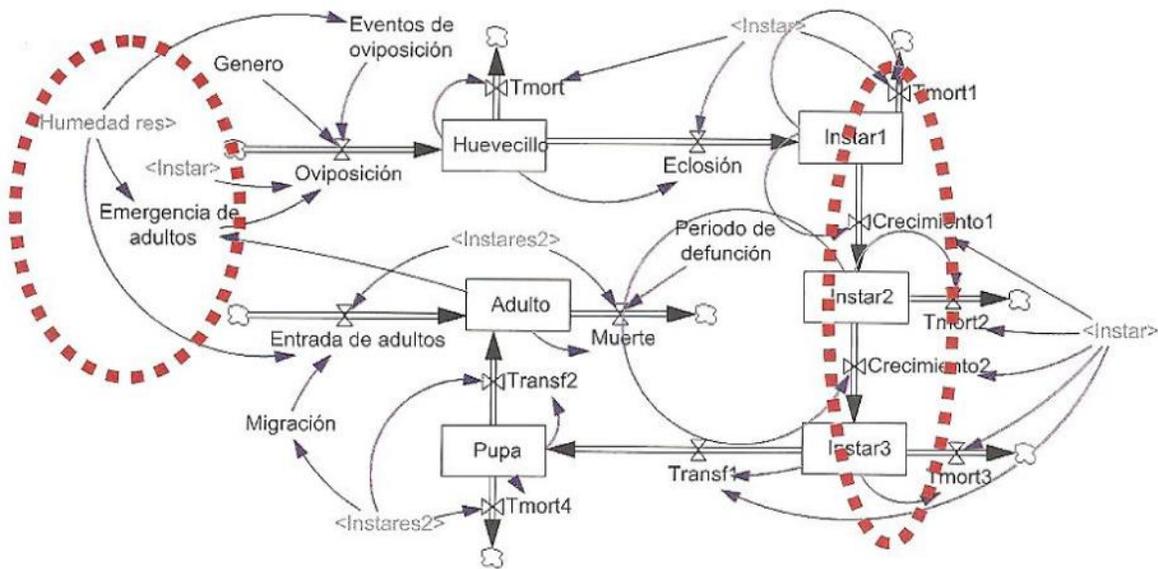
Fase de evaluación mediante la simulación y calibración del modelo. Esta discusión no involucra a toda aquella información correspondiente a dife-

FIGURA 7. Diagrama de causa-efecto de "gallina ciega" *P. ravida* con el cultivo de maíz.



Modelación del daño a la raíz por *Phyllophaga ravid*

FIGURA 8. Diagrama de flujo para el ciclo biológico de “gallina ciega” *P. ravid*



rentes disciplinas que ya se encuentra considerada en el modelo. Para alcanzar el objetivo de esta publicación, se generó solamente una familia de gráficos (Figura 9), proveniente de los datos de un pequeño segmento seleccionado del diagrama de flujo (óvalos punteados de la Figura 8); se asocia con 1171 unidades calor acumuladas en el día Juliano 155; y la precipitación pluvial con 57 mm en el mismo día juliano; estos dos elementos (precipitación y temperatura) actuaron como “disparador” de la emergencia de adultos (Figura 9a). Esos datos coinciden, en lo referente a la lluvia, con lo que reporta Marín y Bujanos-Muñíz (2004).

Reconociendo anticipadamente que la influencia de la humedad y el calor en el suelo es compleja, se intentó simular el ciclo biológico de la gallina ciega (Figura 9b), estableciendo como temperatura base 10°C y como temperatura óptima 30°C (Pérez y Álvarez, 2003), la humedad residual se determinó para el ciclo bajo estudio (Precipitación- $0.5*\text{ETP}$), referida a la ganancia de humedad que por efecto de la precipitación permanece en el suelo. Esta simulación operó bajo el supuesto de que el desarrollo y crecimiento de las poblaciones de gallina

ciega no tuvieron mayor límite que su propio desarrollo y mortalidad. Así, el modelo reflejó que la duración del primer estadio larval de *P. ravid* fue de 28 días, el segundo de 50 y el tercero de 106. Igualmente la aparición del primer estadio larval ocurrió a los 171 días con 1340 unidades calor acumuladas durante el año y 153.83 mm de humedad residual; el segundo estadio larval inició a los 200 días con 1641 unidades calor y 247.88 mm de humedad residual y el tercer estadio larval inició a los 251 días con 2127 unidades calor y 412.05 mm de humedad residual.

En el diseño y simulación del crecimiento de la raíz (Figura 9c) se observó que ésta inicio su crecimiento al comienzo del desarrollo del cultivo (157 días julianos), finalizando cerca de la mitad del ciclo del cultivo (257 días julianos). Los daños que se pudieran esperar a la producción de raíz son diferentes, dependiendo de la cantidad de materia orgánica y de la condición de nutrición; al presente estudio corresponde una condición limitativa de ambas componentes (Nájera *et al.*, 2003), que como resultado arrojó un ataque que resultó en una baja de peso de la raíz del 95% (Figura 9c).

FIGURA 9A. Familia de gráficos obtenidas de salidas del modelo de simulación a) Emergencia de adultos de *P. ravida*

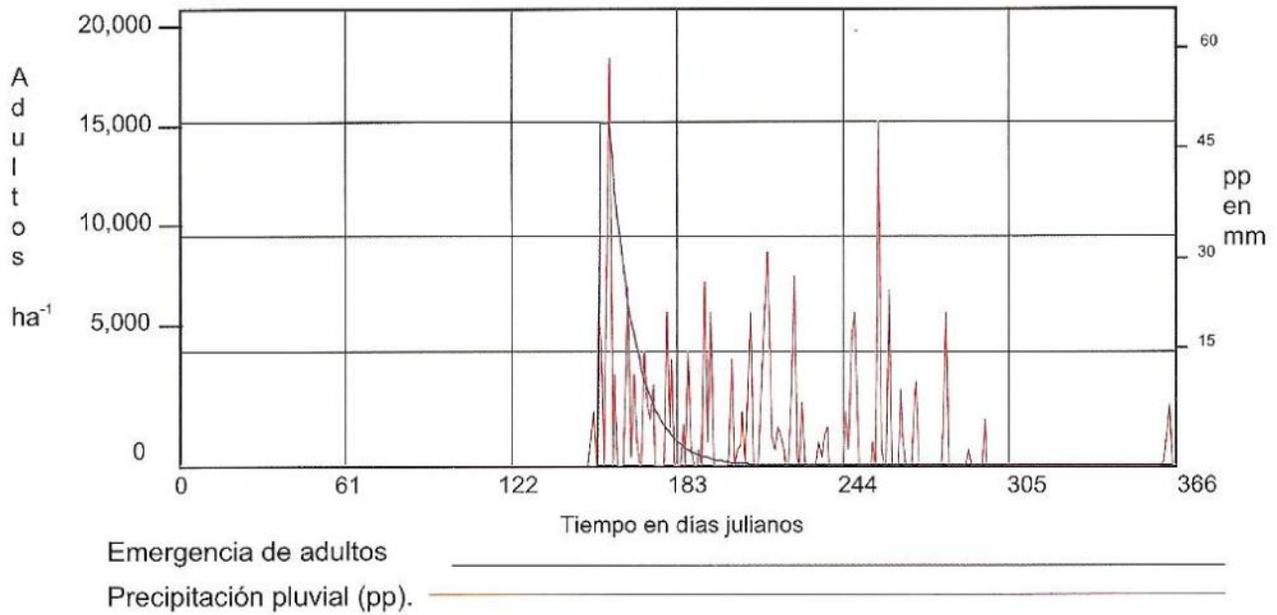
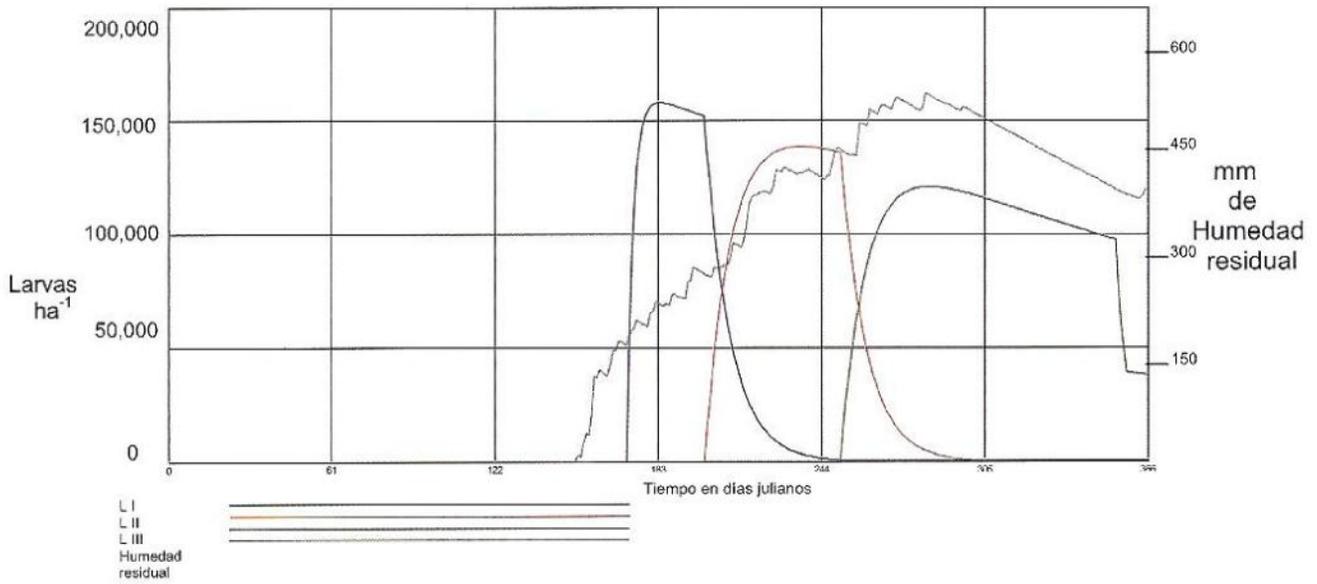


FIGURA 9B. Población de larvas de *P. ravida* y humedad de suelo



Modelación del daño a la raíz por *Phyllophaga ravidia*

FIGURA 9C. Peso de raíz normal vs. raíz con daño de *P. ravidia*

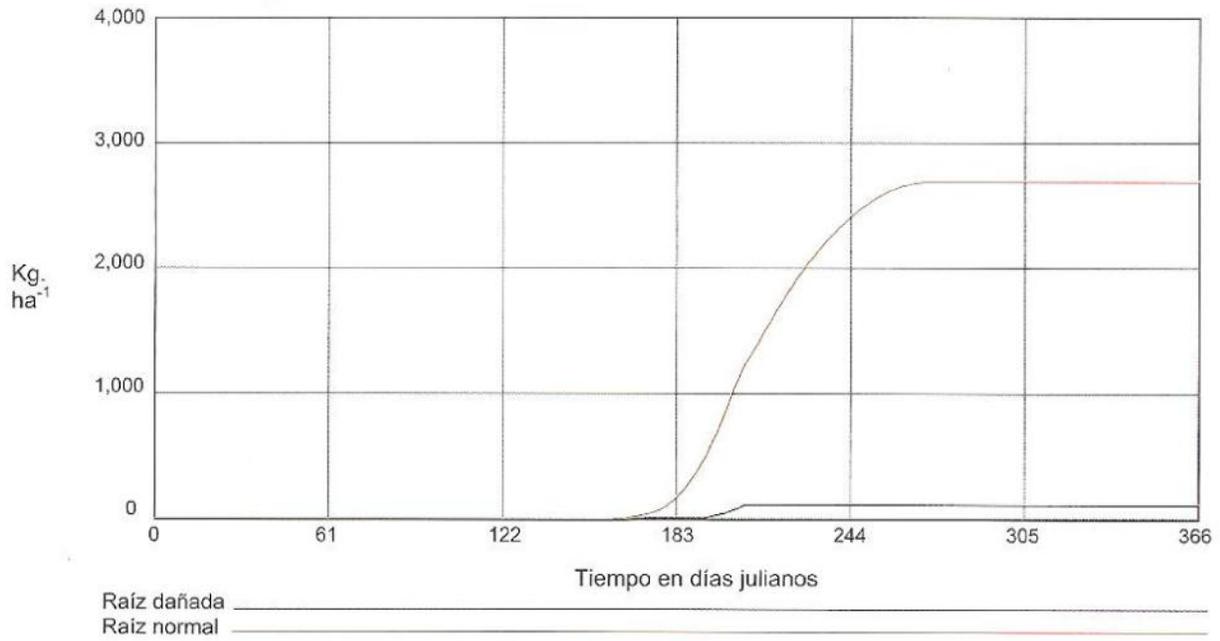
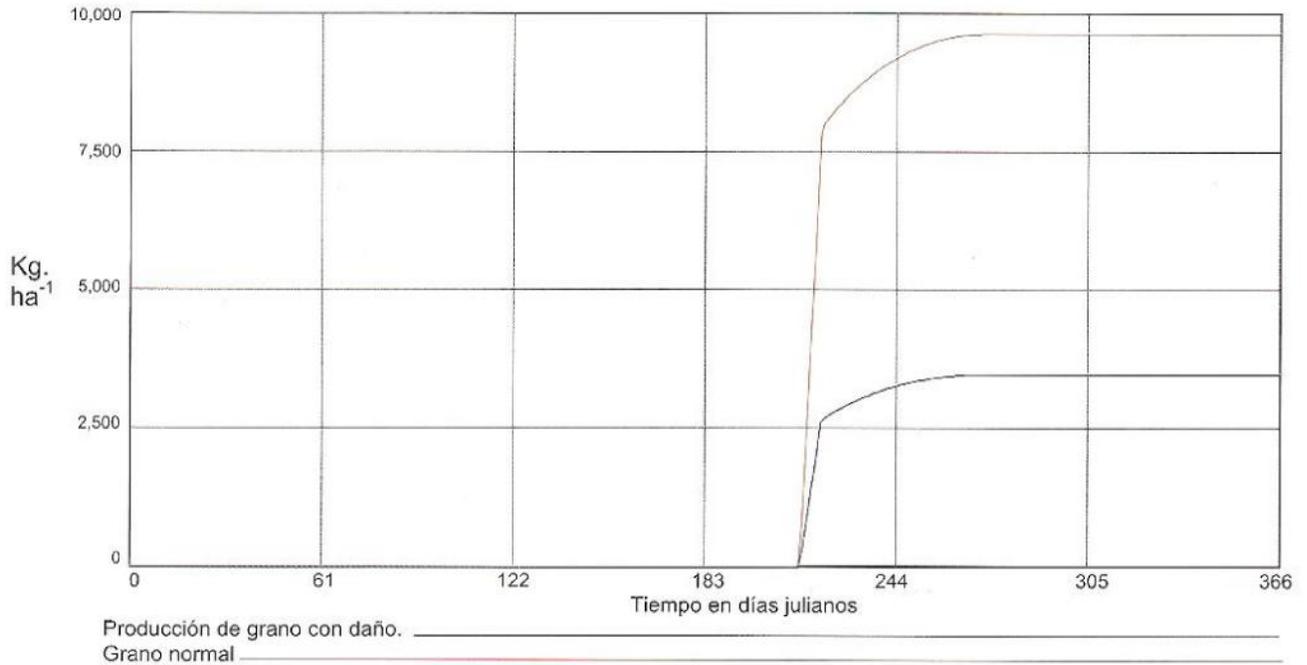


FIGURA 9D. Rendimiento de grano en plantas con raíz normal y en plantas con daño de *P. ravidia* en la raíz en el 50% de la superficie.



Para la producción de grano, y nuevamente de acuerdo a lo que el modelo arrojó (Figura 9d), el crecimiento se prolongó hasta los 300 días julianos. Al comparar la producción del grano bajo la condición de raíz normal y la obtenida con la raíz atacada por 15 larvas de *P. ravidus* por metro cuadrado en el 50% de la superficie sembrada, el modelo simuló una reducción de 6.1 toneladas, que representa 63% del potencial productivo.

CONCLUSIONES

Con la modelación fue posible simular el crecimiento y desarrollo de la población de los diferentes estadios larvales de la plaga y determinar el efecto del daño a la raíz por lo que se considera que esta metodología es útil para la predicción de la dinámica.

El modelo estableció que el daño ocasionado por la plaga fue determinado por la combinación de las condiciones ambientales en las que jugaron un papel determinante, la humedad del suelo y la temperatura, además de los factores que determinan el estado nutricional del cultivo.

La metodología permitió también, ordenar, sistematizar, relacionar y representar bien el fenómeno del daño de larvas de *P. ravidus* y explica adecuadamente lo que se percibe de la realidad. Permite además, investigarlo, mejorarlo y aumentar el conocimiento desde una perspectiva interdisciplinaria.

LITERATURA CITADA

- ARACIL, J. 1992. *Introducción a la dinámica de sistemas*. Alianza Editorial, Madrid. España. 412 pp.
- ARAGÓN, G. A., M. A. MORÓN, J. F. LÓPEZ-OLGUÍN Y L. M. CERVANTES-PEREDO. 2005. Ciclo de vida y conducta de cinco especies de *Phyllophaga* Harris (Coleoptera: Melolonthidae; Melolonthinae). *Acta Zoológica Mexicana* 21(2): 87-99.
- DELGADO, G. J. A. 2002. "Análisis sistémico: Su aplicación a las comunidades humanas". Editorial CIE Dossat 2000, Madrid, España. 458 pp.
- DELOYA, C. 1998. *Cyclocephala lunulata* Burmeister, 1847 (Coleoptera: Melolonthidae Dynastinae) asociada al cultivo de maíz (*Zea mays*) en Pueblo Nuevo, Morelos, México. Pp. 121-130. In: Morón, M. A. y A. Aragón (Eds.) *Avances en el estudio de la diversidad, importancia y manejo de los coleópteros edafícolas americanos*. Publicación especial Benemérita Universidad Autónoma de Puebla y Sociedad Mexicana de Entomología, Puebla, México.
- GONZÁLEZ, A. E., M. L. GARCÍA Y J. A. QUIJANO. 2003. Modelo de la dinámica poblacional de *Diabrotica virgifera zea* K. y S. (Coleoptera: Chrysomelidae) pp. 259-268. En Aragón, G. A., M. A. Morón y A. Marín (Eds.). *Estudios sobre coleópteros del suelo en América*. Universidad Autónoma de Puebla, México.
- HAVLIN, J. L., J. D. BEATON, S. L. TISDALE AND W. L. NELSON. 2004. *Soil fertility and fertilizers: An introduction to nutrient Management*. Prentice Hall. Upper Saddle River, N. J., USA. 515 pp.
- KING, A. B. S. 1996. *Biología y control de Phyllophaga spp.* Serie Técnica. Informe Técnico No 277. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 132 pp.
- MARÍN, J. A. Y R. BUJANOS-MUÑIZ. 2004. Relación entre precipitación pluvial, trampas de luz y emergencia de especies del complejo "gallina ciega". *Sociedad Mexicana de Entomología. Entomología Mexicana* 3: 204-207
- MARTÍN, G. J. 2000. Creación de modelos en ecología y gestión de recursos naturales. Fundación Politécnica de Catalunya. Barcelona. España. 94 pp. In Morón, M. A. 1986. *El género Phyllophaga en México: Morfología distribución y sistemática supraespecífica (Insecta: Coleoptera)*. Publicación No. 20. Instituto Nacional de Ecología. México. 341 pp.
- NÁJERA, R. M. B., T. A. JACKSON, J. D. LÓPEZ. 2003. Especies de "gallina ciega" (Coleoptera: Melolonthidae) asociadas al cultivo de maíz en tres localidades de la ciénega de Zacapu, Michoacán, México. pp. 215-230. In Aragón, G. A., M. A. Morón y A. Marín (Eds.). *Estudios sobre coleópteros del suelo en América*. Universidad Autónoma de Puebla, México.
- PALACIOS, C. V., M. VÁZQUEZ-GARCÍA, D. R. GONZÁLEZ-EGUIARTE, K. F. BYERLY-MURPHY Y E. VILLARREAL-FARÍAS. 2007. Diagnóstico técnico para el cambio tecnológico en el cultivo el maíz. *Terra Latinoamericana* 25:321-332
- PÉREZ, D. J. F. Y R. ÁLVAREZ Z. 2003. Influencia de factores ambientales sobre el desarrollo y la fluctuación poblacional de gallina ciega (*Phyllophaga* spp. y *Cyclocephala* spp.) (Coleoptera: Melolonthidae) y gusano "alfilerillo" *Diabrotica virgifera zea* (Coleoptera: Chrysomelidae) en el Centro de Jalisco. pp. 231-249. In Aragón, G. A., M. A. Morón. y A. Marín, J. (Eds.). *Estudios sobre coleópteros del suelo en América*. Universidad Autónoma de Puebla, México.
- RABBINGE, R., A. S. WARD, AND H. H. VAN LAAR. 1990. *Simulation and system management in crop protection*. Simulation Monographs 32. PUDOC, Wageningen, Netherlands. 420 pp
- STEFFEY, K. 1999. Some additional information about white grubs. *Pest management and crop development bulletin*. No 3. University of Illinois. Extension. USA. 2 pp.
- VAN KEULEN, H. AND J. WOLF. 1986. *Modeling agricultural production*. Weather, Soil and Crops. PUDOC. Wageningen. Netherlands. 470 pp.

Modelación del daño a la raíz por *Phyllophaga ravida*

VILLALOBOS, F. J. 1998. Bioecology and sustainable management of white grubs (Coleóptera: Melolonthidae) pest of corn in "El Cielo" Biosphere Reserve, Tamaulipas, México. In: Morón, M. A. y Aragón, A. (Eds). *Avances en el estudio de la*

diversidad, importancia y manejo de los coleópteros edafícolas americanos. Universidad Autónoma de Puebla-Sociedad Mexicana de Entomología. Puebla, México. Pp: 173-184.