



Agrocienza
Colegio de Postgraduados
agrocien@colpos.colpos.mx
ISSN: 1405-3195
MÉXICO

2002

Jorge Vera Graziano / Víctor M. Pinto / Luis L. Landois Palencia / Jorge L. Leyva
Vázquez

SIMULACIÓN DE LA DINÁMICA POBLACIONAL DE LA CONCHUELA DEL FRIJOL,
EPILACHNA VARIVESTIS MULS., MEDIANTE UN MODELO FENOLÓGICO DE
DESARROLLO ACUMULATIVO

Agrocienza, enero-febrero, año/vol. 36, número 001

Colegio de Postgraduados

Texcoco, México

pp. 115-122



SIMULACIÓN DE LA DINÁMICA POBLACIONAL DE LA CONCHUELA DEL FRIJOL, *Epilachna varivestis* MULS., MEDIANTE UN MODELO FENOLÓGICO DE DESARROLLO ACUMULATIVO

SIMULATION OF MEXICAN BEAN BEETLE (*Epilachna varivestis* MULS.) POPULATION DYNAMICS, USING A PHENOLOGICAL MODEL OF ACCUMULATED DEVELOPMENT

Víctor M. Pinto¹, Jorge Vera-Graziano², Luis L. Landois-Palencia³ y Jorge L. Leyva-Vázquez²

¹Departamento de Parasitología Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo. 56230. Chapingo, Estado de México. (vmpinto@taurus1.chapingo.mx). ²Especialidad de Entomología y Acarología. Instituto de Fitosanidad. Colegio de Postgraduados. 56230. Montecillo, Estado de México. ³Especialidad de Cómputo Aplicado. Instituto de Socioeconomía Estadística e Informática. Colegio de Postgraduados. 56230. Montecillo, Estado de México.

RESUMEN

Se usó un modelo, estructurado por edad-etapa biológica y con una función de desarrollo acumulativo, para simular la dinámica poblacional y los tiempos de desarrollo de las distintas etapas biológicas de la conchuela del frijol, *Epilachna varivestis* Muls. (Coleoptera: Coccinellidae), en condiciones de laboratorio y de campo en el área de Chapingo, México. Las simulaciones se compararon con los tiempos promedio de desarrollo observados en laboratorio a una temperatura constante de 25 °C, y también con la dinámica poblacional de la plaga y sus tiempos de desarrollo registrados bajo la influencia de las temperaturas de campo ocurridas en Chapingo durante dos temporadas de cultivo: 1990 y 1998. Las simulaciones con el modelo representaron bien los tiempos de desarrollo de la conchuela observados tanto en laboratorio como en campo. La simulación de dinámica poblacional de 1990 fue similar en un 90% a los valores observados del insecto durante ese año. Para 1998 solamente se hicieron simulaciones hasta la etapa de larvas medianas, debido a la escasez de datos observados para comparar a la finalización del cultivo.

Palabras clave: *Phaseolus*, modelo, poblaciones, simulación.

INTRODUCCIÓN

La conchuela, *Epilachna varivestis* Mulsant es la plaga de mayor importancia del cultivo del frijol en México (Sifuentes, 1981)⁴. En la región de Chapingo, Estado de México, la fecha de su aparición, la extensión y la severidad de su daño son muy variables, no existiendo criterios bien establecidos para decidir medidas de control (Garza *et al.*, 1987). En la búsqueda de criterios para decidir la implementación eficiente de medidas para el control de insectos de importancia

ABSTRACT

A biological stage-structured model, with an accumulative developmental function was used to simulate the population dynamics and development lapses of the of the mexican bean beetle *Epilachna varivestis* Muls. (Coleoptera: Coccinellidae). Simulations were made under constant temperatures (25 °C) in laboratory and under fluctuating field temperatures in Chapingo, Mexico, during 1990 and 1998. Simulations with the used model under both constant and variable temperatures indicated that it was able to represent the times of development of the observed populations, and the simulations of beetles' population dynamics had values that differed by less than 10% from the data observed in the field, especially during 1990. For 1998 simulations were made only up to medium larvae size, because of the scarcity of data at the end of the crop.

Key words: *Phaseolus*, model, population, simulation.

INTRODUCTION

The mexican bean beetle, *Epilachna varivestis* Mulsant, is the most important pest of the bean crop in Mexico (Sifuentes, 1981)⁴. In the region of Chapingo, State of Mexico, the date of the beetles' appearance, extension, and severity of the damage they cause are very erratic, and there are no well-established criteria for selecting measures of control (Garza *et al.*, 1987). In the search of criteria for deciding the implementation of efficient measures of control of insects that are important in agriculture, it is necessary to know the population dynamics and the dates the pests appear in the crop. Population models, then, can be useful to understand and estimate population dynamics of the

⁴ Sifuentes, A. J. 1981. Plagas del frijol en México. Folleto técnico No. 78, INIA-SARH. México. 28 p.

Recibido: Noviembre, 2000. Aprobado: Enero, 2002.

Publicado como ENSAYO en *Agrociencia* 36: 115-122. 2002.

agrícola, es necesario conocer su dinámica poblacional y las fechas de su presencia en el cultivo. Los modelos poblacionales, entonces, pueden ser útiles para el entendimiento y estimación de la dinámica poblacional de la conchuela del frijol, así como para evaluar los diversos factores que la afectan, posibilitando la predicción de los niveles y períodos de infestación.

El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el comportamiento, en el área de Chapingo, México, de un modelo poblacional para estimar la dinámica poblacional diaria de la conchuela del frijol en función del tiempo y la edad fisiológica del insecto.

MATERIALES Y MÉTODOS

El modelo utilizado en este trabajo fue propuesto originalmente por Wilkerson *et al.*, 1986, para estudiar la dinámica poblacional del gusano terciopelo de la soya, *Anticarsia gemmatalis* (Hubner). Dicho modelo está estructurado por edad-etapa biológica y permite estimar el número de individuos, en cada etapa biológica, en función del tiempo y de su edad fisiológica, de acuerdo a la ecuación:

$$dN_i/d_e + dN_i/d_t = -M_i N_i - D_i N_i + E_i$$

donde $dN_i/d_e + dN_i/d_t$ = cambio en el número de individuos (N_i) en función de su edad fisiológica (e) y del tiempo (t); i = etapa biológica; M_i = mortalidad en la etapa i ; D_i = función de desarrollo, dependiente de las temperaturas promedio diarias, que determina la proporción de individuos de la etapa i que completan su desarrollo y pasan a la siguiente en el día t . El efecto de la temperatura sobre el desarrollo de los individuos está considerado en D_i por medio de su edad fisiológica; E_i = número de individuos que ingresa a cada etapa i en el día t . Inicialmente E_i depende de la capacidad de oviposición de las hembras, y para las demás etapas biológicas es el número de individuos que completaron su desarrollo en la etapa previa.

Se consideraron las siguientes etapas biológicas de la conchuela: 1) Huevos (H), 2) Larvas pequeñas (LP), de primer y segundo instar; 3) Larvas medianas (LM), de tercer instar; 4) Larvas grandes (LG) de cuarto instar; 5) Pupas (P) y 6) Adultos (A). El modelo incluyó parámetros para la estimación del tiempo de desarrollo y la mortalidad en cada etapa biológica.

Armenta *et al.*, 1978; Mellors y Bassow, 1983; Kauffman *et al.*, 1985, han determinado el tiempo de desarrollo de la conchuela utilizando unidades calor, suponiendo que la velocidad de desarrollo de los insectos es directamente proporcional al aumento de temperatura, y que mediante una ecuación lineal se pueden obtener las temperaturas umbrales y la cantidad de unidades calor necesarias para completar su desarrollo. Sin embargo, Higley *et al.*, 1986, consideran que la relación entre la temperatura y la velocidad de desarrollo de los insectos no es lineal, por lo que el modelo usado en este trabajo estima la duración de cada etapa biológica mediante ecuaciones cuadráticas (Cuadro 1), ajustadas de los tiempos promedio de desarrollo (Cuadro 2), obtenidos de diversos trabajos para la determinación del tiempo de

Mexican bean beetle, as well as to evaluate the diverse factors that affect it, making possible the prediction of levels and periods of infestation.

This work was carried out in the area of Chapingo, Mexico, to evaluate the behavior of a population model in estimating the daily population dynamics of the Mexican bean beetle in function of time and physiological age of the insect.

MATERIALS AND METHODS

The model used in this study was originally proposed by Wilkerson *et al.* (1986) to study the population dynamics of the velvet soybean caterpillar, *Anticarsia gemmatalis* (Hubner). This model is structured by age-biological stage and allows the estimation of the number of individuals in each biological stage, in function of time and physiological age, according to the equation:

$$dN_i/d_e + dN_i/d_t = -M_i N_i - D_i N_i + E_i$$

where $dN_i/d_e + dN_i/d_t$ = change in the number of individuals (N_i) in function of their physiological age (e) and time (t); i = biological stage; M_i = mortality in stage i ; D_i = developmental function, dependent on daily average temperatures, which determine the proportion of individuals of stage i that complete their development and reach the next stage at day t . The effect of temperature on the development of the individuals is considered in D_i by physiological age; E_i = number of individuals that enter each stage i on day t . Initially, E_i depends on the capacity of the females to lay eggs and, for the other biological stages, it is the number of individuals that complete their development in the previous stage.

The following biological stages of the beetle were considered: 1) Eggs (H); 2) Small larvae (LP), 1st and 2nd instar; 3) Medium larvae (LM), 3rd instar; 4) Large larvae (LG), 4th instar; 5) Pupae (P); and 6) Adults (A). The model included parameters for the estimation of development time and mortality in each biological stage.

Armenta *et al.* (1978), Mellors and Bassow (1983), and Kauffman *et al.* (1985) have determined development time of the Mexican bean beetle using heat units, assuming that the development rate of the insects is directly proportional to the increase in temperature. Using a linear equation, threshold temperatures and number of heat units needed to complete development can be obtained. Higley *et al.* (1986), however, consider that the relationship between temperature and rate of development of the insects is not linear; therefore, the model used in the present study estimates the duration of each biological stage with quadratic equations (Table 1), fitted to average developmental times (Table 2) obtained from several papers which defined developmental times for the Mexican bean beetle (Marcovitch and Stanley, 1930; Bernhardt and Shephard, 1978; Armenta *et al.*, 1978; McAvoy and Smith, 1979; Mellors and Bassow, 1983; Cibrián *et al.*, 1984; Kauffman *et al.*, 1985; Nava *et al.*, 1987a).

According to Wilkerson *et al.* (1986), the physiological age of the insects in any of their biological stages is obtained by the accumulation

Cuadro 1. Ecuaciones para estimar los días de desarrollo (D.D.) de cada etapa biológica de la conchuela del frijol.
Table 1. Equations for estimating days of development (D.D.) in each biological stage of the Mexican bean beetle.

Etapa biológica	Ecuación de la curva de desarrollo	r
Huevo	D.D. = 52.2 - 3.44 T + 0.063 T ²	0.99
Larva pequeña	D.D. = 66.6 - 4.13 T + 0.076 T ²	0.98
Larva mediana	D.D. = 31.6 - 2.01 T + 0.036 T ²	0.98
Larva grande	D.D. = 46.2 - 2.85 T + 0.05 T ²	0.96
Pupa	D.D. = 45.7 - 2.64 T + 0.044 T ²	0.94
Huevo-adulto	D.D. = 271.8 - 17.9 T + 0.33 T ²	0.99

T = temperatura promedio diaria; r = coeficiente de correlación ♦ T = average daily temperature, r = correlation coefficient.

desarrollo de la conchuela (Marcovitch y Stanley, 1930; Bernhardt y Shephard, 1978; Armenta *et al.*, 1978; McAvoy y Smith, 1979; Mellors y Bassow, 1983; Cibrián *et al.* 1984; Kauffman *et al.*, 1985; Nava *et al.*, 1987a).

Según Wilkerson *et al.*, 1986, la edad fisiológica de los insectos en cualquier etapa biológica se obtiene por la acumulación de días fisiológicos diarios, que son una proporción del desarrollo total alcanzado durante un período de 24 horas. Por ejemplo, si en un día cualquiera se registra una temperatura media de 22 °C, entonces mediante la ecuación para huevos (cuadro 1) se obtiene un tiempo de desarrollo para dicha etapa de 7.0 días. Si se utiliza como referencia un tiempo de desarrollo de huevos de 5.3 días, entonces los días fisiológicos para ese día en particular serán 0.757 (resultado de dividir 5.3 entre 7.0), cantidad que se acumulará con las estimaciones de otros días hasta completar los 5.3 días, que son la duración del tiempo de desarrollo de referencia. Así, la estimación de las edades fisiológicas se obtuvo de dividir los valores 5.3, 7.0, 4.1, 4.8 y 7.1, correspondientes a los tiempos de desarrollo para huevos, LP, LM, LG y P, a 25 °C. (Cuadro 2), entre los días de desarrollo estimados mediante las ecuaciones del Cuadro 1.

El modelo considera la variabilidad observada en la duración del desarrollo de los individuos de la misma edad mediante una función de distribución acumulativa (Stinner *et al.*, 1975), que relaciona la edad fisiológica con la proporción de individuos que completan su desarrollo en un día determinado mediante la ecuación

$$F(E) = (1-Z)^q; \quad 0 \leq Z \leq 1 \quad y \quad q = hz^k$$

donde $Z = (B - E) / (B - A)$; A es el número mínimo de días para que los insectos de la misma edad completen su desarrollo y B el máximo número de días para ello. El modelo incluye esta función utilizando valores de A y B (Cuadro 3), obtenidos del tiempo de desarrollo de la conchuela a 25 °C (Kauffman *et al.*, 1985; Nagarajan *et al.*, 1994), mientras que los valores de h y k son constantes empíricas derivadas de una distribución normal. Stinner *et al.*, (1975) encontraron que k=2, es adecuado para representar la proporción diaria de desarrollo de diversos insectos de importancia agrícola. La estimación de h es complementaria conociendo los valores de A, B y k.

Cuadro 2. Tiempos promedio de desarrollo (días) de las etapas biológicas de la conchuela del frijol a diversas temperaturas.

Table 2. Average developmental times (days) of the biological stages of the mexican bean beetle at various temperatures.

Temperatura (°C)	Huevos	Larvas pequeñas	Larvas medianas	Larvas grandes	Pupas	Huevo-adulto
11	-	29	14	21	19.5	-
15	14.6	18.1	9.2	12.8	19.3	74
17	12	15.9	8.8	14.6	15.6	66.9
20	9.3	9.2	5.1	7.2	10.9	41.7
21	7.3	10.4	4.2	8.2	9.2	39.3
22	-	9.8	5.1	9.3	6.5	-
25	5.3	7	4.1	4.8	7.1	28.3
26	-	4	4.4	4.6	7	-
27	5.3	7	3.9	6.7	5.3	28.2
27.5	5.1	6	3.3	4.1	6.4	24.9
30	5.8	6.7	4.3	5.9	6.1	28.8
32.5	-	6.3	3.8	5.7	7.6	-

of physiological days, which are a proportion of the total development reached in a period of 24 hours. For example, if on any day a mean temperature of 22 °C is recorded, then using the equation for eggs (Table 1), a developmental time for that stage of 7.0 days is obtained. If a reference developmental time for eggs of 5.3 days is used, then the physiological days for that particular day will be 0.757 (the result of dividing 5.3 by 7.0), amount that will be accumulated to the estimations of the other days until completing 5.3 days. Thus, estimation of physiological ages was obtained dividing the values 5.3, 7.0, 4.0, 4.8, and 7.1, the developmental times for eggs, LP, LM, LG, and P at 25 °C (Table 2), by the developmental days estimated using the equations in Table 1.

The model considers the observed variability in the duration of the development of individuals of the same age by means of an accumulative distribution function (Stinner *et al.*, 1975), which relates physiological age to the proportion of individuals that complete their development on a day determined by the equation

$$F(E) = (1-Z)^q; \quad 0 \leq Z \leq 1 \quad y \quad q = hz^k$$

where $Z = (B - E) / (B - A)$; A is the minimum, and B is the maximum number of days for the insects of the same age to complete their development. The model includes the function using values of A and B (Table 3) obtained from developmental time of the insect at 25 °C (Kauffman *et al.*, 1985; Nagarajan *et al.*, 1994), while the values h and k are empirical constants derived from a normal distribution. Stinner *et al.* (1975) found that k=2 is appropriate for representing the daily proportion of development of various insects important in agriculture. The estimation of h is complementary, when the values of A, B, and k are known.

The total mortality in each biological stage is estimated daily with the equation proposed by Wilkerson *et al.* (1986):

$$M_t = 1 - (1 - PM)^{(1/D.D.)}$$

La mortalidad total en cada etapa biológica se estimó diariamente mediante la ecuación propuesta por Wilkerson *et al.*, 1986:

$$M_i = 1 - (1 - PM)^{(1/D.D)}$$

donde M_i es la mortalidad diaria de la etapa biológica i , PM es la proporción de mortalidad en una determinada etapa biológica respecto a la mortalidad total en todo el ciclo biológico de la conchuela, y $D.D.$ son los días de desarrollo obtenidos mediante las ecuaciones del Cuadro 1.

El modelo fue programado en una hoja de cálculo, y para evaluar su funcionamiento se realizaron varias simulaciones, cuyos resultados se compararon con datos observados del comportamiento poblacional de la conchuela, tanto en laboratorio como en campo.

Los datos de laboratorio fueron obtenidos de un trabajo realizado en 1997, que se inició con colectas de masas de huevos recién ovipositados en un cultivo de frijol sembrado en el Campo Agrícola Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH). Las masas de huevos se transfirieron, en las mismas hojas de las plantas donde fueron ovipositados, al Laboratorio de Taxonomía de Insectos de la UACH, donde se colocaron en cajas de petri y luego a una cámara de cría a 25 °C y 70±5% de humedad relativa.

Diariamente, a las 8:00 y 18:00 horas se realizaron las observaciones para estimar el número de días requeridos para completar el desarrollo de los huevos y pasar a la siguiente etapa biológica, determinando ésto por la emergencia del 50% de las larvas de primer instar. El mismo procedimiento se realizó para determinar el tiempo de desarrollo de las demás etapas biológicas de la conchuela hasta completar todo su ciclo y alcanzar el estado adulto. Para la alimentación de las larvas se utilizaron hojas de frijol variedad Bayomex, siguiendo el procedimiento utilizado por Nava *et al.* (1987b).

Se realizaron otras simulaciones para comparar las estimaciones del modelo con valores observados, en el área de Chapingo, de la dinámica poblacional de la conchuela. Para la estimación de los días de desarrollo se consideraron las temperaturas diarias, registradas por la estación meteorológica de la UACH durante dos temporadas de cultivo del frijol: 1990 y 1998. Para las simulaciones de 1990, el modelo se inició con los valores de oviposición de las hembras y la proporción total de mortalidad de las etapas biológicas de la conchuela, que fueron 0.735, 0.672, 0.093, 0.366 y 0.432 para huevos, LP, LM, LG y P, respectivamente. Dichos valores fueron reportados por Reyes, (1991)⁵ de un trabajo realizado en Chapingo, durante los meses de junio a septiembre de 1990, en el cual obtuvo las densidades poblacionales de las distintas etapas biológicas del insecto con las cuales se compararon los resultados de estas simulaciones. Las tasas de mortalidad indicadas se convirtieron, mediante la ecuación respectiva, en índices de mortalidad diaria para su inclusión en el modelo. Las simulaciones con datos de 1998 se compararon con los registros, hechos cada dos días, de la dinámica poblacional de la conchuela observada sobre un cultivo de frijol de la variedad Bayomex sembrado el

where M_i is the daily mortality of the biological stage i ; PM is the proportion of mortality in a given biological stage relative to total mortality in the entire biological cycle of the Mexican bean beetle; and $D.D.$ are the developmental days obtained using the equations in Table 1.

The model was programmed on a spreadsheet and, to evaluate its performance, several simulations were made, and their results compared with observed data on the behavior of the Mexican bean beetle population, both in laboratory and in the field.

The laboratory data were obtained from a study conducted in 1997, which began with the collection of egg masses recently oviposited in a bean crop in the experimental station at the Universidad de Chapingo (UACH). The egg masses were transferred, on the leaves where they were laid, to the Laboratory of Insect Taxonomy at the UACH, and placed in petri dishes, which were kept in a rearing chamber at 25 °C and 70±5% relative humidity.

Daily observations, at 8:00 and 18:00 hours, were made to estimate the number of days required to complete the development of the eggs and start the next biological stage. This was determined as 50% emergence of first instar larvae. The same procedure was used to determine the developmental time of the other biological stages of the bean beetle up to the completion of the entire cycle to reach the adult stage. Larvae were fed Bayomex variety bean leaves, following the procedure used by Nava *et al.* (1987b).

Other simulations were carried out to compare model estimations of the population dynamics with the values actually observed in the area of Chapingo. For the estimation of developmental days, daily temperatures, recorded at the UACH meteorological station during two (1990 and 1998) bean-cropping seasons were used. For the 1990 simulations, the model began with the figures for female oviposition and the total mortality in the biological stages of the beetle, which were 0.735, 0.672, 0.093, 0.366, and 0.432 for eggs, LP, LM, LG, and P, respectively. These values were reported by Reyes (1991)⁵ in a study conducted from June to September 1990. In that study, Reyes obtained population densities of the different biological stages of the insect, which were compared with the results from the simulations. Mortality rates were converted, using the respective equation, into daily mortality indexes to be included in the model. The simulations with the data of

Cuadro 3. Parámetros estimados para la función de desarrollo acumulativo diario de individuos de la conchuela del frijol.

Table 3. Estimated parameters for the daily accumulative development function of Mexican bean beetle individuals.

Etapa	A	B	H	k
Huevo	4.1	5.9	4	2
Larva Pequeña	4.9	10.3	4	2
Larva Mediana	2.4	7.8	4	2
Larva Grande	1.8	9	3.9	2
Pupa	5.3	9.8	3.77	2

⁵ Reyes, C.H. 1991. Modelo base de simulación poblacional de la conchuela del frijol, *Eplilachna varivestis* Mulsant, en Chapingo, México. Tesis de Ingeniero Agrónomo en Parasitología Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 52 p.

15 de mayo de 1998 el Campo Agrícola Experimental de la UACH. Los datos de oviposición de dichas observaciones se usaron para iniciar estas simulaciones.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las simulaciones para estimar el tiempo de desarrollo de las distintas etapas biológicas de la conchuela, a una temperatura diaria de 25 °C, se muestran en la Figura 1, observándose que el modelo estimó muy bien los tiempos promedio observados en laboratorio bajo condiciones de temperatura constante, que fueron de 5, 8, 5, 4 y 8 días para huevos, LP, LM, LG y pupas respectivamente. Ello coincide, con una variación no mayor del 10%, con el tiempo de desarrollo de dichas etapas biológicas reportado por Armenta *et al.*, 1978; Kauffman *et al.*, 1985; McAvoy y Smith, 1979; Nava *et al.*, 1987b.

Las simulaciones, con datos de campo de 1990, se iniciaron con datos de la curva de huevos de la conchuela registrados por Reyes para ese año en Chapingo (Figura 2). A partir de estos datos se obtuvo la curva de larvas pequeñas para representar la población observada en campo. Asimismo, la estimación del total de individuos (3727) fue apenas 1.7% menor que el total de larvas pequeñas registradas en campo (3793).

Con respecto a la simulación de la dinámica poblacional de larvas medianas (Figura 3), su estimación del total de individuos (1130) fue inferior en 9% al total de larvas medianas observadas (1247). La Figura 4 muestra la simulación de la dinámica poblacional de larvas grandes, cuya estimación del total de individuos (1047) fue 7.1% menor respecto a los 1127 reportados por Reyes⁵.

La Figura 5 muestra la curva simulada de la dinámica poblacional de pupas, con un comportamiento diferente a lo observado en las etapas biológicas anteriores,

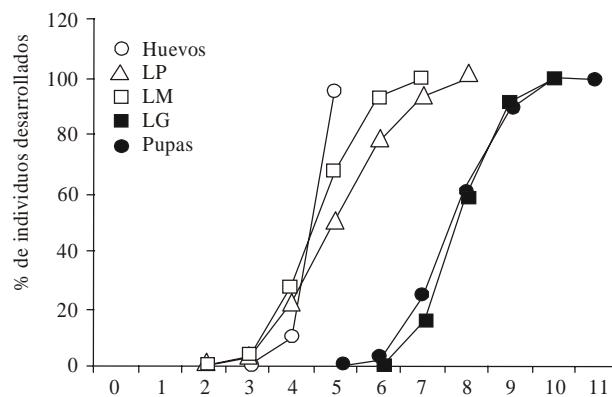


Figura 1. Simulación del tiempo de desarrollo de la conchuela del frijol a 25 °C y 70% de humedad relativa.

Figure 1. Simulation of the developmental time of the mexican bean beetle at 25 °C and 70% relative humidity.

1998 were compared with the data recorded every other day on the population dynamics of the bean beetle observed on Bayomex variety beans, planted May 15, 1998 in the UACH Experimental Station. The data on oviposition of these observations were used to initiate the simulations.

RESULTS AND DISCUSSION

The simulation for estimating developmental time of the different biological stages of the Mexican bean beetle, at a daily temperature of 25 °C, are shown in Figure 1. It can be observed that the model estimated the average times observed in the laboratory under constant temperatures very well. These averages were 5, 8, 5, 4, and 8 days for eggs, LP, LM, LG and P, respectively. This coincides with the developmental times of these biological stages reported by Armenta *et al.* (1978), Kauffman, *et al.* (1985), McAvoy and Smith (1979), and Nava *et al.* (1987b), with a variation of no more than 10%.

The simulations with 1990 field data were initiated with data from the beetle egg curve reported by Reyes for that year in Chapingo (Figure 2). From these data the small larva curve was obtained to represent the population observed in the field. Likewise, Reyes' estimation of the total number of individuals (3727) was only 1.7% less than the total number of small larvae recorded in the field (3793).

Regarding the simulation of medium larvae population dynamics (Figure 3), the estimation of the total number of individuals (1130) was 9% lower than the total number of medium larvae observed (1247). Figure 4 shows the simulation of the large larvae population dynamics, for which the estimation of the total number of individuals (1047) was 7.1% lower than the 1127 reported by Reyes⁵.

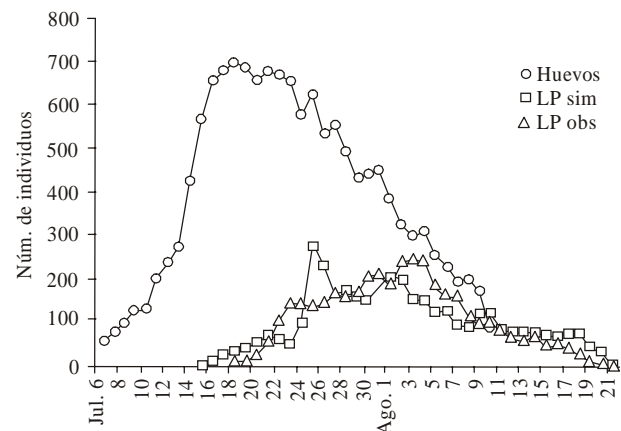


Figura 2. Simulación de la dinámica poblacional de larvas pequeñas de la conchuela del frijol (Datos de 1990).

Figure 2. Simulation of the population dynamics of small mexican bean beetle larvae (1990 data).

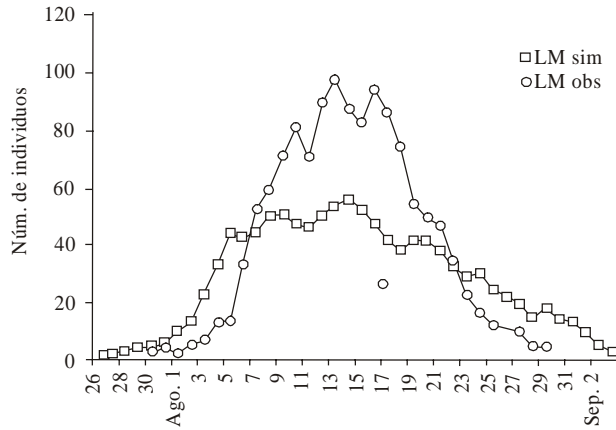


Figura 3. Simulación de la dinámica poblacional de larvas medianas de la conchuela del frijol (Datos de 1990).
Figure 3. Simulation of the population dynamics of medium-size Mexican bean beetle larvae (1990 data).

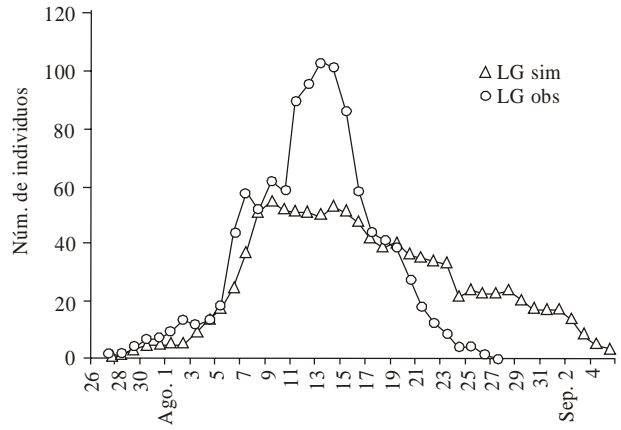


Figura 4. Simulación de la dinámica poblacional de larvas grandes de la conchuela del frijol (Datos de 1990).
Figure 4. Simulation of the population dynamics of large Mexican bean beetle larvae (1990 data).

observándose un abrupto descenso del número de pupas entre el 30 de agosto y 3 de septiembre. Esto debido a que, por la finalización del cultivo, esta etapa no fue registrada adecuadamente. A pesar de lo anterior, la simulación tuvo una diferencia de 8.6% respecto a los valores observados (657 contra 714).

Un modelo poblacional de plagas no sólo debe estimar la cantidad de insectos sino también sus tiempos de aparición en el cultivo. Al respecto, el pronóstico del modelo para la aparición del 50% de la población total de larvas pequeñas, medianas y grandes, fue prácticamente el mismo que el observado en campo; mientras que para el 90% de la población total de estas mismas etapas, las simulaciones tuvieron diferencias de 2.5, 4.0 y 5.5 d respecto a las fechas registradas para ese mismo porcentaje en las poblaciones observadas. Para pupas, la

Figure 5 shows the simulated curve of pupae population dynamics, which behaved differently from the previous biological stages. There is an abrupt descent in the number of pupae between August 30 and September 3. Because this was the end of the crop cycle, this stage was not adequately recorded. In spite of this, the simulation had a difference of 8.6% with respect to the observed values (657 against 714).

A model of pest populations should estimate not only the number of insects, but also their times of appearance in the crop. In this regard, the forecast of the model for the appearance of 50% of the total population of small, medium and large larvae was practically the same as that observed in the field, while for 90% of the total population in these same stages, the simulations differed by 2.5, 4.0, and 5.5 days relative to the recorded dates for this same percentage in the observed populations. For pupae, the simulation had a three days delay with respect to the observed in the field for 50% of the population, while for 90% the difference was larger than 10 days.

For 1998, Figure 6 shows the simulated curve of small larvae, compared with the populations observed in the field, until the end of the cropping cycle on August 10. The simulation differed 5.6% from the observed data (524 against 555). The same Figure shows that the predicted date for the appearance of 50% of the total population of small larvae was August 2, while the actual date in the field was July 31. For 90% of the population, the model estimated that this percentage would be reached by August 8, coinciding with the data observed in the field.

For medium larvae (Figure 7), the simulation differed 55% from the observed population (28 against 63) during the period from July 27 to August 10. Since the crop cycle ended (August 10), it was not possible to evaluate the

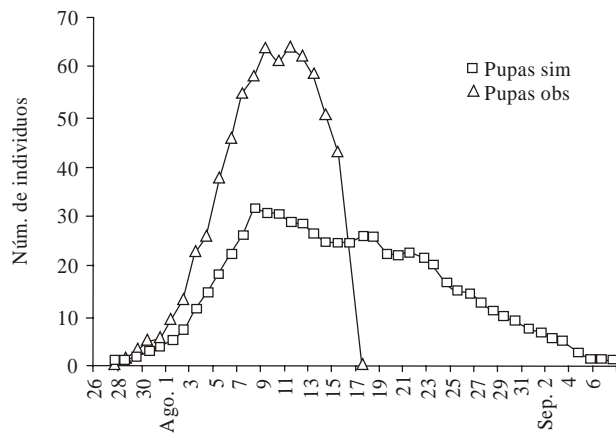


Figura 5. Simulación de la dinámica poblacional de pupas de la conchuela del frijol (Datos de 1990).
Figure 5. Simulation of the population dynamics of Mexican bean beetle pupae (1990 data).

simulación tuvo un retraso de casi tres días respecto a lo observado en campo para el 50% de la población, mientras que para el 90% esta diferencia fue mayor de 10 días.

Para 1998, la Figura 6 muestra la curva simulada de larvas pequeñas respecto a las poblaciones observadas en el campo, hasta el fin del cultivo ocurrido el 10 de agosto. La simulación tuvo una diferencia de 5.6% respecto a los datos observados (524 contra 555). La misma figura muestra que la fecha pronosticada para tener el 50% del total de larvas pequeñas fue el 2 de agosto, observándose dicho porcentaje en campo el 31 de julio. Para el 90% de la población, el modelo estimó que este porcentaje se alcanzaría el 8 de agosto, coincidiendo dicha fecha con su observación en campo.

Para larvas medianas (Figura 7), la simulación tuvo una diferencia de 55% respecto a la población observada (28 contra 63) durante el período del 27 de julio al 10 de agosto. Debido a la finalización del cultivo (el 10 de agosto) las simulaciones de larvas grandes, pupas y adultos, no pudieron ser evaluadas por carecer de datos observados.

CONCLUSIONES

Las simulaciones con datos obtenidos a temperatura constante (25 °C) estimaron, con un 10% de discrepancia, el número de días necesarios para que cada etapa biológica de la conchuela del frijol complete su desarrollo, en relación con el tiempo de desarrollo registrado en laboratorio a esa temperatura.

Las simulaciones de la dinámica poblacional de larvas pequeñas, larvas medianas, larvas grandes y pupas tuvieron diferencias de 1.7%, 9.0%, 7.1% y 8.6%, respectivamente, en relación con las poblaciones de las mismas etapas biológicas observadas en 1990 en el área de Chapingo, México.

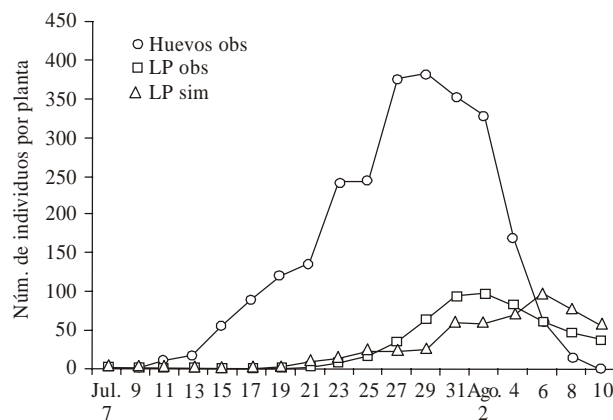


Figura 6. Simulación de la dinámica poblacional de larvas pequeñas de la conchuela del frijol. (Datos de 1998).

Figure 6. Simulation of the population dynamics of small Mexican bean beetle larvae (1998 data).

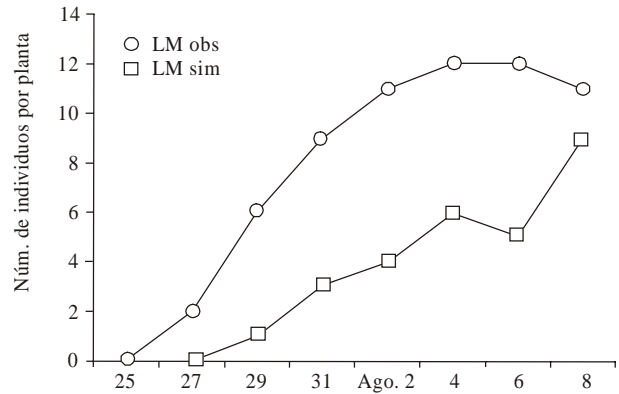


Figura 7. Simulación de la dinámica poblacional de larvas medianas de la conchuela del frijol (Datos de 1998).

Figure 7. Simulation of the population dynamics of medium-size Mexican bean beetle larvae (1998 data).

simulaciones de larvas grandes, pupas y adultos por falta de datos observados.

CONCLUSIONS

The simulations with data obtained with constant temperature (25 °C), estimated the number of days necessary for each biological stage of the Mexican bean beetle to conclude its development, with a discrepancy of 10% relative to the developmental time recorded in the laboratory at this temperature.

The simulations of the population dynamics of small larvae, medium larvae, large larvae, and pupae had differences of 1.7%, 9.0%, 7.1%, and 8.6%, respectively, relative to the populations of the same biological stages observed in 1990 in the area of Chapingo, Mexico.

Relative to field observations in 1990, the model forecasted the exact dates of appearance of 50% of the total populations of small, medium and large larvae, while for pupae and adults the difference was one and three days. Models' predictions for times of appearance of 90% of the total population of small, medium and large larvae differed 2.5, 4.5 and 5 days from 1990 field observations; for pupae the difference was of 10 days.

In regard to the model simulations with field data from 1998, only the population dynamics of small larvae could be compared with observed data in that year, with a difference of 6% relative to the observed population density.

—End of the English version—



El modelo pronosticó, sin diferencia alguna respecto a lo observado en campo en 1990, las fechas de aparición

del 50% de la población total de larvas pequeñas, larvas medianas y larvas grandes; mientras que para pupas y adultos esa diferencia fue de uno y tres días. Los pronósticos del modelo para el tiempo de aparición del 90% de la población total de larvas pequeñas, larvas medianas y larvas grandes difirieron 2.5, 4.5 y 5 días, en relación con lo observado en el campo en 1990; para pupas la diferencia fue de 10 días.

De las simulaciones del modelo con datos de campo de 1998, únicamente la de la dinámica poblacional de larvas pequeñas se pudo comparar con los datos observados en ese año, resultado una diferencia de 6% respecto a la densidad poblacional observada.

LITERATURA CITADA

- Armenta C, S., H. Bravo M. y R. Reyna R. 1978. Estudios bioecológicos de *Epilachna varivestis* Mulsant bajo condiciones de laboratorio y campo. *Agrociencia* 34:133-146
- Bernhardt, J. L. and M. Shepard. 1978. Validation of a physiological day equation: development of Mexican bean beetle on snap beans and soybeans. *Environ. Entomol.* 7: 131-135.
- Cibrián, T. J.; A. Lagunes; H. Bravo y C. Llanderal. 1984. Actividad biológica del diflubenzuron sobre *Epilachna varivestis* Mulsant (Coleoptera: Coccinellidae) en condiciones de laboratorio. *Agrociencia* 57: 65-80.
- Garza G, R., J. Vera G. y G. Zárate de L. 1987. Niveles económicos de daño de la conchuela *Epilachna varivestis* Mulsant (Coleoptera: Coccinellidae), en tres variedades de frijol *Phaseolus vulgaris* L. *Agrociencia* 67: 57-67.
- Higley, G. L.; L. P. Pedigo and K. R. Ostle. 1986. DEGDAY: A Program for calculating degree-days, and assumptions behind the degree-day approach. *Environ. Entomol.* 15: 999-1016.
- Kauffman, W. C., R. V. Flanders and C. R. Edwards. 1985. Population growth potential of Mexican bean beetle *Epilachna varivestis* Mulsant (Coleoptera: Coccinellidae) on soybean and lima bean cultivars. *Environ. Entomol.* 14: 674-677.
- Marcovitch, S. and W. W. Stanley. 1930. The climatic limitations of the Mexican bean beetle. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 23: 666-686.
- McAvoy, T. J. and J. C. Smith. 1979. Feeding and development rates of Mexican bean beetle on soybeans. *J. Econ. Entomol.* 72: 835-836.
- Mellors, W. K. and F. E. Bassow. 1983. Temperature dependant development of Mexican bean beetle (Coleoptera: Coccinellidae) immatures on snap beans and soybean foliage. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 76: 692-698.
- Nagarajan, K., R. J. O'Neil, C. R. Edwards and J. Lowenberg-DeBoer. 1994. Indiana Soybean System Model (ISSM): II. Mexican bean beetle model development, integration and evaluation. *Agricultural Systems* 45: 291-313.
- Nava, C. U., J. Vera G. e H. Bravo M. 1987a. Predicción del desarrollo de *Epilachna varivestis* Mulsant (Coleoptera: Coccinellidae) mediante unidades calor y relación fenológica entre la plaga y el cultivo del frijol. *Agrociencia* 67: 103-110.
- Nava, C. U., J. Vera G. y J. Villaseñor A. 1987b. Desarrollo y supervivencia de *Epilachna varivestis* Mulsant (Coleoptera: Coccinellidae) en función de la temperatura. *Agrociencia* 67: 111-124.
- Stinner, R. E., G. D. Butler, J. S. Batcheler and C. Tuttle. 1975. Simulation of temperature-dependent development in population dynamics models. *Can. Entomol.* 107: 1167-1174.
- Wilkerson, G. G., J. W. Mishoe and J. L. Stimac. 1986. Modeling velvet bean caterpillar (Lepidoptera: Noctuidae) populations in soybean. *Environ. Entomol.* 15: 809-816.