

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

PARASITOLOGÍA AGRÍCOLA

MAESTRÍA EN PROTECCIÓN VEGETAL

ESTIMACIÓN DEL COMPORTAMIENTO
POBLACIONAL DE *Epilachna varivestis*
MULS. (COLEÓPTERA: COCCINELLIDAE)
UTILIZANDO UN MODELO DE SIMULACIÓN

TESIS
QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADE DE
MAESTRO EN CIENCIAS EN
PROTECCIÓN VEGETAL



DIRECCIÓN GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

PRESENTA:
ANTONIO ISMAEL ACEVEDO PERALTA



CHAPINGO, MÉXICO. OCTUBRE 2009.

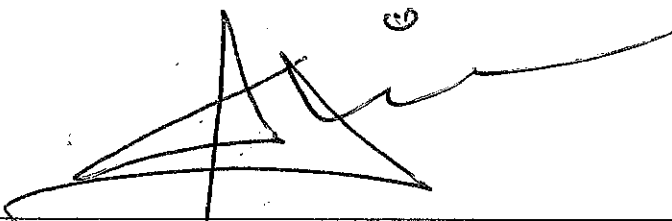
No vale la pena llegar a la meta si uno no goza el viaje. . .

**ESTIMACIÓN DEL COMPORTAMIENTO POBLACIONAL DE
Epilachna varivestis MULS. (COLEOPTERA: COCCINELLIDAE)
UTILIZANDO UN MODELO DE SIMULACIÓN**

Tesis realizada por Antonio Ismael Acevedo Peralta bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

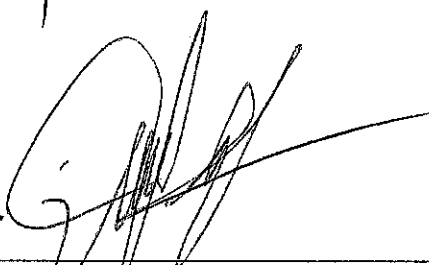
MAESTRO EN CIENCIAS EN PROTECCIÓN VEGETAL

DIRECTOR:



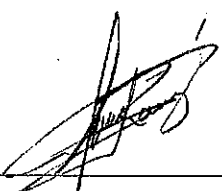
DR. VICTOR MANUEL PINTO

ASESOR:



DR. RAMÓN GARZA GARCÍA

ASESOR:

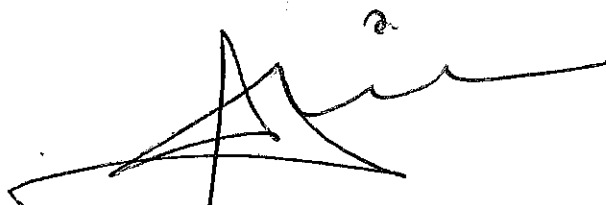


DR. SAMUEL RAMÍREZ ALARCÓN

ESTIMACIÓN DEL COMPORTAMIENTO POBLACIONAL DE *Epilachna varivestis* MULS. (COLEOPTERA: COCCINELLIDAE) UTILIZANDO UN MODELO DE SIMULACIÓN

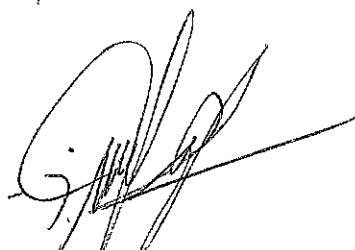
El jurado que revisó y aprobó el examen de grado de Antonio Ismael Acevedo Peralta autor de la presente tesis de Maestría en Ciencias en Protección Vegetal estuvo constituido por:

DIRECTOR:



DR. VICTOR MANUEL PINTO

ASESOR:



DR. RAMÓN GARZA GARCÍA

ASESOR:



DR. SAMUEL RAMÍREZ ALARCÓN

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por el apoyo económico otorgado durante mis estudios de Maestría.

Al Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología, por el apoyo económico otorgado para la realización de la Tesis de Maestría.

Al Programa de Protección Vegetal del Departamento de Parasitología Agrícola, por formarme profesionalmente y permitirme obtener el grado de Maestro en Ciencias en Protección Vegetal.

A mi director de Tesis, **Dr. Víctor Manuel Pinto**, por su amistad y apoyo permanente e incondicional en aclarar mis dudas, y por sus substanciales sugerencias durante la realización del trabajo de investigación y desarrollo de de la misma.

Al Dr. Ramón Garza García, por su valiosa colaboración y buena voluntad en las actividades de campo, así como en sus observaciones críticas en la redacción del trabajo, y sobre todo por su amistad durante tantos años.

Al Dr. Samuel Ramírez Alarcón, por su apoyo brindado en la realización de este trabajo.

A cada uno de los **Profesores del Programa de Protección Vegetal**, por la formación profesional otorgada durante mi estancia en el Programa.

Al Campo Experimental Valle de México del INIFAP, por permitirme establecer mi trabajo de investigación.

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado especialmente a mí madre, **Amelia Peralta Maldonado**, quien me acompañó a lo largo de toda mi vida, dándome fuerza y serenidad en los momentos difíciles, por darme creatividad...; aunque lamentablemente no estas aquí a mi lado, quiero decirte que aquí estoy luchando y esforzándome por ser el hombre que tu querías que fuera; estés donde estés descansa en paz...

A ti Papá, **Crisóforo Acevedo García**, por tus regaños, por quererme a tu manera; esta gran persona que soy te lo debo a ti, cada una de tus palabras me hacen mas fuerte...

A **Verónica Fortiz Hernández**, mi amor, por estar conmigo a mi lado, apoyándome y sobre todo amándome; ya pasó y aguantamos todas las adversidades, gracias por aguantar mis locuras y mis ataques de stress, gracias por mantenerte allí, paciente a lo largo de mis estudios...

A mi pequeño retoño, **Shamara Acevedo Fortiz**, por ser la parte más importante de mi vida; por darle un cambio a mi existencia, por ser el motor que me impulsa a seguir adelante y por mudarte dentro de mi corazón... gracias por permitirme ser tu Papito.

A mis hermanos **Juan José, Yolanda, Lucina** y, especialmente, **Mayra**; que siempre han estado cuando los necesito y me han apoyado de la manera que han podido... gracias por formar parte de mi familia.

A la familia **Fortiz Hernández**, en especial a **Lucía** (mi suegra), por permitirme ser parte de ella y aceptarme dentro de su círculo de confianza, y por el apoyo brindado siempre.

A mis compañeros de maestría: **Elvia, David, Adán, y Ulises**; por el apoyo durante los estudios y las alegrías fuera de la escuela.

A mis amigos, **Juan Carlos y Elías**, y compañeros, que aunque no los menciono, son parte importante de este proyecto y que gracias a ustedes la finalización de este trabajo demoro tanto... gracias.

DATOS BIOGRÁFICOS

Antonio Ismael Acevedo Peralta

Nació en San Juan Chilateca, Ocotlán de Morelos, Oaxaca, el 24 de Octubre de 1982. Es el cuarto hijo del matrimonio de Amelia Peralta Maldonado (†) y Crisóforo Acevedo García. Desde pequeño trabajó ayudando a su papá en las labores del campo. Realizó sus estudios básicos en su pueblo natal. Posteriormente, para continuar con sus estudios, ingresó a la escuela Telesecundaria, en la comunidad de Santo Tomás Jalietza. A la edad de 17 años, empujado por la necesidad de superarse, ingresó a la Universidad Autónoma Chapingo, en donde realizó sus estudios de preparatoria, y siete años después egresó del departamento de Parasitología Agrícola, en donde concluyó sus estudios satisfactoriamente en el año 2005, obteniendo el título de Ingeniero Agrónomo especialista en Parasitología Agrícola. Su trabajo profesional inició en el municipio de Atotonilco el Alto, Jalisco, en donde se dedicó a asesorar a los productores de maíz de la zona.

Para el año 2007 se incorpora al Programa de Protección Vegetal, del departamento de Parasitología Agrícola, en donde realizó sus estudios para obtener el grado de Maestro en Ciencias en el año 2009.

Í N D I C E

LISTA DE CUADROS.....	viii
LISTA DE FIGURAS.....	ix
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT	xi
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Objetivos	2
1.2. Metas	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1. Generalidades de la plaga.....	4
2.2. Efecto de las condiciones climáticas	5
2.3. Distribución y muestreo	6
2.4. Algunos aspectos bioecológicos de la distribución espacial	8
2.5. Modelos poblacionales	9
2.6. Modelos de simulación	10
2.7. Modelos de la conchuela del frijol.....	12
2.7.1. Migración	13
2.7.2. Oviposición	14
2.7.3. Desarrollo	15
2.7.4. Mortalidad.....	16
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	17

3.1. Localización del experimento	17
3.2. Características del modelo	17
3.3. Variables evaluadas	18
3.4. Estructuración del modelo	18
3.4.1. <i>Etapas biológicas</i>	19
3.4.2. <i>Tiempo de desarrollo (D_i)</i>	19
3.4.3. <i>Edad fisiológica (ϵ)</i>	21
3.4.4. <i>Función de desarrollo acumulado</i>	22
3.4.5. <i>Mortalidad</i>	23
3.5. Validación del modelo	23
3.6. Simulaciones.....	24
3.7. Características de la variedad	24
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
4.1. Resultados de las simulaciones con los datos obtenidos en campo en el año 2007	26
4.2. Resultados de las simulaciones con los datos obtenidos en campo en el año 2008	37
V. CONCLUSIONES.....	43
VI. LITERATURA CITADA.....	45
VII. APENDICE	55

LISTA DE CUADROS

- Cuadro 1.** Promedios de la duración de desarrollo (días) de las etapas de la conchuela del frijol consideradas en el modelo, por efecto de la temperatura.....20
- Cuadro 2.** Ecuaciones para estimar los días de desarrollo de cada etapa de la conchuela del frijol, en función de las temperaturas promedio diarias.
.....20
- Cuadro 3.** Valores de los parámetros para la función de desarrollo acumulativo diario.23
- Cuadro 4.** Datos de mortalidad empleados en el modelo de simulación que más se ajustaron a las condiciones observadas.26

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Dinámica poblacional de larvas pequeñas de <i>Epilachna varivestis</i> (datos 2007).....	27
Figura 2. Dinámica poblacional de larvas medianas de <i>Epilachna varivestis</i> (datos 2007).....	29
Figura 3. Dinámica poblacional de larvas grandes de <i>Epilachna varivestis</i> (datos 2007).....	29
Figura 4. Dinámica poblacional de pupas de <i>Epilachna varivestis</i> (datos 2007).....	30
Figura 5. Dinámica poblacional de adultos de <i>Epilachna varivestis</i> (datos 2007).....	30
Figura 6. Dinámica poblacional de larvas pequeñas de <i>Epilachna varivestis</i> (datos 2007).....	33
Figura 7. Dinámica poblacional de larvas medianas de <i>Epilachna varivestis</i> (datos 2007).....	34
Figura 8. Dinámica poblacional de larvas grandes de <i>Epilachna varivestis</i> (datos 2007).....	34
Figura 9. Dinámica poblacional de pupas de <i>Epilachna varivestis</i> (datos 2007).....	35
Figura 10. Dinámica poblacional de adultos de <i>Epilachna varivestis</i> (datos 2007).....	35

Figura 11. Dinámica poblacional de larvas pequeñas de <i>Epilachna varivestis</i> (datos 2008)	38
Figura 12. Dinámica poblacional de larvas medianas de <i>Epilachna varivestis</i> (datos 2008)	38
Figura 13. Dinámica poblacional de larvas grandes de <i>Epilachna varivestis</i> (datos 2008)	39
Figura 14. Dinámica poblacional de pupas de <i>Epilachna varivestis</i> (datos 2008)	40
Figura 15. Dinámica poblacional de adultos de <i>Epilachna varivestis</i> (datos 2008)	41

ESTIMACIÓN DEL COMPORTAMIENTO POBLACIONAL DE *Epilachna varivestis* MULS. (COLEOPTERA: COCCINELLIDAE) UTILIZANDO UN MODELO DE SIMULACIÓN

ESTIMATION OF POPULATION BEHAVIOR OF *Epilachna varivestis* MULS. (COLEOPTERA: COCCINELLIDAE) USING A SIMULATION MODEL

Antonio Ismael Acevedo Peralta¹, Víctor Manuel Pinto²

RESUMEN

Se utilizó un modelo, estructurado por etapas biológicas y con una función de desarrollo acumulativo, para simular la dinámica poblacional de las distintas etapas biológicas de la conchuela del frijol, *Epilachna varivestis* Mulsant (Coleoptera: Coccinellidae), en condiciones de campo en el área de Texcoco, México. Las simulaciones se realizaron para estimar la dinámica poblacional de las distintas etapas biológicas de la conchuela del frijol, en función del tiempo y de su edad fisiológica; utilizando los valores de la temperaturas promedio diarias, ocurridas en el área de estudio durante los años 2007 y 2008, durante los meses de julio a octubre; y los porcentajes de mortalidad observados en campo para cada etapa biológica del insecto. Las simulaciones se compararon con la dinámica poblacional de la plaga y sus tiempos de desarrollo registrados en campo, presentando una buena estimación, en la mayoría de los casos con una variación no mayor al 10%.

Palabras clave: frijol, modelo, simulación, mortalidad, poblaciones.

ABSTRACT

A model, structured by biological stages and with a cumulative development function was used to simulate the population dynamics of the Mexican bean beetle, *Epilachna varivestis* Mulsant (Coleoptera: Coccinellidae), stages biological under field conditions in the area of Texcoco, Mexico. The simulations were made to estimate the population dynamics of the Mexican bean beetle, depending on the time and their physiological age using the average of daily temperatures values occurred in the study area from July to October in the years 2007 and 2008, and the percentages of mortality observed in the field for each biological stages simulated on the insect. The simulations were compared with the population dynamics of the pest and its development times registered in field, matched a good estimations with a variation not greater than 10%.

Key Words: beans, model, simulation, mortality, populations.

¹ Maestría en Ciencias en Protección Vegetal

² Director de Investigación

I. INTRODUCCIÓN

Las plagas insectiles constituyen uno de los problemas fundamentales del frijol en México, ya que existen grandes cantidades de insectos que se alimentan de esta planta. Varios autores indican que por lo menos 45 especies agrupadas en 28 géneros dañan este cultivo; la mayoría de éstas se consideran de importancia económica (Caro, 1990).

La conchuela del frijol, *Epilachna varivestis* Mulsant, es considerada como la plaga de mayor importancia del cultivo del frijol en México (Crispín *et al.*, 1976; Sifuentes, 1985). Por tal motivo ha sido objeto de muchos y muy variados estudios tales como invernación, supervivencia y fertilidad, dinámica poblacional, tiempo requerido por los períodos de preoviposición, oviposición e incubación, así como por cada una de sus fases biológicas y temperaturas umbrales mínimas (Byerly, 1969; Armenta *et al.*, 1978; Nava, 1986; Domínguez, 1991).

Los modelos tienen varias aplicaciones actuales y potenciales en respuesta a temas relacionados con investigación, manejo del cultivo y planificación. Permiten definir estrategias de producción en la etapa de planificación de un cultivo. Por otro lado pueden ser utilizados por los investigadores como herramienta de trabajo que les permita conocer prioridades de investigación, por educadores como herramienta de enseñanza, ayudando a los estudiantes a entender mejor la interacción entre las plantas y el medio ambiente (Hoogenboom *et al.*, 1992).

Los modelos de simulación integran diversas variables como son temperatura, precipitación y características del suelo para representar las condiciones de crecimiento del cultivo en un ambiente específico y establecer el comportamiento y/o reacción del cultivo a estas condiciones (White *et al.*, 1995).

Los modelos de simulación pueden ser de utilidad para la estimación de las densidades poblacionales de la conchuela del frijol, así como de los diversos factores (clima, mortalidad, alimento, etc.) que afectan sus cambios poblacionales. Esos modelos poblacionales pueden ser programados para hacer simulaciones en computadora para un mejor entendimiento del comportamiento poblacional de la conchuela. La simulación de las distintas situaciones que pueden ocurrir bajo una combinación variable de los factores que influyen sobre dicho comportamiento poblacional, puede permitir la predicción de las infestaciones de la plaga, en cantidad y tiempo, para ayudar a decidir sobre la adecuada y oportuna implementación de una eventual medida de control.

La simulación ha ganado un amplio reconocimiento de su capacidad para modelar sistemas complejos, por lo que no es sorprendente que tenga un alto potencial como herramienta de pronóstico, cuando el modelo del sistema es complejo. La principal dificultad para construir pronósticos con base en un modelo de simulación es la incorporación de la incertidumbre sobre el valor de ciertos parámetros del modelo, los que a menudo (en las técnicas para pronóstico) se estiman a partir de datos muestrales (o históricos) disponibles (Muñoz, 2009).

1.1. Objetivos

- Estimar la dinámica poblacional de las distintas etapas biológicas de la conchuela del frijol, en función del tiempo y de su edad fisiológica.
- Adecuar y validar un modelo poblacional que represente el comportamiento de la conchuela del frijol, para el área de los Valles Altos de México.

1.2. Metas

En la búsqueda de criterios para decidir la implementación eficiente de medidas para el control de insectos de importancia 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. La construcción de un modelo sigue unas pautas de crear, probar, y volver a crear, hasta que el modelo cumple los requisitos.

Una vez definidos con exactitud los resultados que se esperan obtener del estudio, se define y construye el modelo con el cual se obtendrán los resultados deseados. Con el modelo definido que represente claramente la dinámica poblacional, el siguiente paso es procesarlo en la computadora y obtener los resultados deseados que serán estimaciones de las densidades poblacionales del insecto, lo cual permitirá tomar decisiones más confiables para implementar o no medidas de control.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Generalidades de la plaga

La conchuela del frijol es originaria de la región meridional de México (Sánchez, 1997) y se encuentra distribuida desde Panamá hasta el sur de Canadá (Bogan y Pitre, 1980; citado por Ciriaco, 2001). En México se encuentra distribuida en las zonas productoras de frijol, principalmente en las zonas altas de clima templado, cuyas altitudes oscilan entre 1,000 y 2,400 msnm (Domínguez *et al.*, 1998); se encuentra en los estados de Aguascalientes, Chihuahua, Durango, Guanajuato, Hidalgo, México, Michoacán, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Tlaxcala, Zacatecas, Jalisco, Veracruz, Valles Centrales de Oaxaca y Chiapas (Crispín *et al.*, 1976; Sifuentes, 1985; Anónimo, 1992).

En la región, los adultos invernan normalmente en grupos numerosos en diferentes sitios cercanos al lugar donde se cultiva frijol, sobre el suelo, residuos de cosechas anteriores, pastos naturales, árboles, canales y bordos o en montañas cercanas al cultivo (Anónimo, 1992). En el Valle de México los adultos invernan en zacates de los géneros *Stipa* y *Mullenbergia*, sobre árboles de los géneros *Quercus* y *Cedrus* y en la corteza del madroño y eucalipto (Domínguez *et al.*, 1998).

Los adultos invernantes invaden los cultivos de frijol durante los meses de mayo y junio, en México. Las hembras invernantes ovipositan a los 8-10 días después de terminar su período de invernación, en masas de 40-50 huevecillos en el envés de las hojas. Los huevecillos son de forma elíptica, de color amarillo claro recién puestos, pero luego se tornan de un color anaranjado. Las larvas son de color amarillo y tiene el cuerpo cubierto de escolos; éstos son ramificados y con las puntas de color negro. Las pupas son también de color amarillo al igual que los adultos, los cuales poseen 8 puntos negros en cada élitro. El desarrollo biológico de la conchuela del frijol es bastante influenciado por la temperatura y la humedad; el período de preoviposición varía entre 5 y 6 días; el período de

incubación larval tiene una duración de 3 a 4 semanas y durante este tiempo el insecto pasa por 4 instares; el estado de pupa tiene una duración de entre 8 y 12 días. Las larvas tienden a permanecer y a alimentarse en el envés de las hojas, debido posiblemente a su alta susceptibilidad a los rayos solares y a la baja humedad. El daño ocasionado por las larvas al alimentarse da una apariencia esqueletizada al follaje (Howard y English, 1924; Douglass, 1933; Eddy y Clarke, 1929; Sweetman y Fernald, 1930; Landis y Plummer, 1935; Howard, 1941; Pacheco, 1954; Bancroft y Brindley, 1956; Byerly, 1969).

En la región de Texcoco, la conchuela presenta una sola generación anual completa que incluye, además de los huevos, cuatro instares larvales y los estados de prepupa, pupa y de los respectivos adultos, los cuales, bajo la influencia de fotoperíodos cortos y bajas temperaturas, abandonan los campos de cultivo e inician su vuelo hacia los campos de hibernación ya mencionados (Yerkes *et al.*, 1959; Byerly, 1969).

2.2. Efecto de las condiciones climáticas

La temperatura y la humedad juegan un papel importante en el desarrollo de insectos. Temperaturas altas o bajas o niveles extremos de humedad relativa causan mortalidad en los insectos; siendo estas variables en cuanto a la especie.

Las poblaciones de *E. varivestis* disminuyen en verano cuando las condiciones climáticas son secas y cálidas, habiéndose observado que las fluctuaciones en temperatura y precipitación aparentemente no influyen sobre la actividad del insecto (Marcovitch y Stanley, 1930). Por otra parte las lluvias fuertes contribuyen de manera muy eficaz en la eliminación de los huevecillos y de las larvas de conchuela (Terrazas, 1947).

Una temperatura constante de 32 °C o mayor y humedades atmosféricas ordinarias (alrededor de 70% o superior) son suficientes para matar los

diferentes estados de desarrollo de la conchuela (Eddy y McAllister, 1927; Marcovitch y Stanley, 1930; Sweetman y Fernald, 1930). Por otra parte, a los 12 °C o temperaturas cercanas los adultos entran en quiescencia y el embrión muere (Sweetman y Fernald, 1930).

Mellors *et al.* (1984) encontraron que a temperaturas constantes de 20 y 25 °C y regímenes alternantes de 15 y 25 °C y 10 y 20 °C la sobrevivencia de huevecillos de conchuela fue alta (47.8 a 67.4 %). A temperaturas constantes de 15 y 30 °C la sobrevivencia fue baja (9.6 y 2.6 %, respectivamente). Al régimen alternante de 25 y 35 °C no hubo sobrevivencia de huevecillos. Se observó que las tasas de desarrollo de huevecillos bajo un régimen de temperatura alternante, fueron mayores que para la misma temperatura cuando se mantuvo constante. La sobrevivencia de pupas fue alta (97 a 100 %) para todas las temperaturas probadas. Las tasas de desarrollo de pupas fueron mayores a temperaturas alternantes que a temperaturas constantes. De acuerdo con estos resultados concluyeron que a temperaturas intermedias (20 a 25 °C) el desarrollo y sobrevivencia son normales y que se reducen a temperaturas constantes por arriba y debajo de este rango, en comparación con temperaturas alternantes.

2.3. Distribución y muestreo

El conocimiento de una población de insectos nos permite: estimar la necesidad de establecer el control de una especie perjudicial a un cultivo; valorar la efectividad del método de control utilizado; correlacionar las poblaciones de insectos de una especie dada con el grado de daño ocasionado; y determinar tendencias en las poblaciones a aumentar o disminuir con los daños (Rojas, 1964).

Debido a lo difícil que es el enumerar a todos los insectos presentes en un hábitat determinado, es necesario y conveniente recurrir a las técnicas del muestreo para estimar la densidad de una población insectil, es decir el número

de organismos presentes por unidad de área, volumen o espacio (Rojas, 1964; Southwood, 1968).

No es posible planear un método único de muestreo para todos los insectos, ya que en el desarrollo de un plan adecuado de muestreo se debe tener en cuenta tanto el aspecto estadístico como el aspecto biológico. Desde el punto de vista estrictamente estadístico, para poder establecer un plan de muestreo se requiere del conocimiento de la distribución espacial de los organismos objeto de muestreo, en base a esa distribución es posible calcular el tamaño de las unidades de muestreo, el número de ellas y la forma de colectarlas. Desde el punto de vista biológico, antes de proceder a un plan de muestreo, se requiere un conocimiento de la biología y hábitos del insecto que se desea muestrear (Strickland, 1961; Southwood, 1968; Carrillo, 1970).

La importancia del conocimiento de la distribución espacial de los insectos, cuando se llevan a cabo diversos estudios ecológicos sobre las poblaciones insectiles, ha sido enfatizada por varios autores; algunas de las razones expuestas sobre dicha importancia son las siguientes:

- La distribución espacial puede afectar el plan de muestreo y el análisis de los datos (Waters, 1955; Morris, 1960; Strickland, 1961; Rojas, 1964).
- Es necesario el conocimiento de la distribución espacial de una población insectil si se requiere comprender verdaderamente el carácter de dicha población y, sobre todo, si ha de medirse la densidad de la misma (Clark *et al.*, 1968; Odum, 1969).
- La distribución espacial puede tener una influencia notoria en los factores de mortalidad que actúan sobre una población y tales factores afectan la supervivencia de la especie (McLeod, 1966).
- La descripción de la distribución espacial de un organismo es un paso preliminar, tendiente a una mejor comprensión de los sistemas ecológicos cuya actividad ocasiona ciertos patrones en la dispersión o distribución de las poblaciones (Reyna, 1969).

- El conocimiento de la distribución espacial puede facilitar el desarrollo de nuevos y más eficientes métodos de muestreo (Harcourt, 1961).

La distribución espacial de los insectos está determinada por la interacción de los mismos insectos con su medio ambiente, es decir, que está determinada por un gran número de factores ambientales y hereditarios. Entre los más sobresalientes figuran: factores climáticos y geográficos, la disponibilidad de alimento y de sitios de abrigo o de refugio, la presencia de enemigos naturales, los hábitos de oviposición y alimentación, la movilidad y la estructura de edades de la población (Andrewartha, 1961; Lyons, 1964; Reyna, 1969)

2.4. Algunos aspectos bioecológicos de la distribución espacial

Cuando los insectos invaden un hábitat su distribución espacial es frecuentemente al azar; esta condición aleatoria puede ser real o artificial debido a la baja densidad relativa del insecto. También se han observado que la distribución de los insectos puede cambiar de acuerdo con la estructura de la población (Southwood, 1968; Carrillo, 1970).

Variaciones en la densidad de las poblaciones de insectos a menudo conducen a cambios, al menos aparentes, en la distribución espacial de los mismos; con bajos niveles de infestación se han observado distribuciones al azar y con altos niveles de infestación distribuciones de contagio (Southwood, 1966).

Es bastante notorio el hecho de que las poblaciones de insectos tienen tendencia a presentarse en grupos o agregados y las distribuciones matemáticas que describen ésta conducta de los insectos reciben el nombre de distribuciones de contagio (Southwood, 1966).

Dicha tendencia de los insectos a presentarse en forma de agregados es una conducta bastante compleja. No obstante, Waters (1959) anota las siguientes causas para tratar de explicar dicha conducta: respuesta de los insectos a

factores físicos del medio, tales como la luz, temperatura y humedad; respuesta a la planta huésped o a partes de ella; características de la especie en cuanto a reproducción y postura de huevecillos en masas; atracción mutua entre los individuos de la misma especie; respuesta a la interacción con otros organismos, especialmente parásitos y depredadores.

2.5. Modelos poblacionales

A pesar de que hace más de 200 años Malthus escribió el primer tratado sobre dinámica de poblaciones, Berryman (1991) considera que el estudio de las poblaciones insectiles se originó en los 1930's a partir de los trabajos pioneros de Thompson (1930), Volterra (1931) y Lotka (1931), entre otros.

Más adelante, Varley (1949), Morris (1959) y otros entomólogos más iniciaron estudios de campo sobre fluctuación poblacional a largo plazo de varias especies de insectos plaga de importancia forestal con el propósito de ir más adelante del debate teórico entre Andrewartha y Birch (1954) y Nicholson (1958), en relación con la teoría de la densidad-dependencia y su efecto en la regulación natural de las poblaciones.

De estos desarrollos surgió una teoría sintética que tomó en cuenta los datos empíricos acumulados de estudios continuos sobre dinámicas poblacionales de insectos. A partir de entonces esta disciplina ha crecido y su tarea ahora es la descripción y explicación de las dinámicas poblacionales complejas observadas en condiciones reales, generalmente mediante la explicación de modelos (Berryman *et al.*, 1987).

Arneson (1989) establece que un modelo es una representación matemática de un sistema y que modelar es el proceso de desarrollar tal representación. Por su parte, Rabbinage y De Witt (1989) consideran que un modelo es una representación simplificada de un sistema y que en protección vegetal los sistemas pueden estar bien definidos como el caso de las poblaciones de

insectos plaga y, aunque estos últimos formen parte a su vez de otros sistemas más complejos, pueden ser estudiados de manera independiente, con la inclusión de los elementos interactuantes más importantes.

2.6. Modelos de simulación

En la revista Monetaria (Anónimo, 1979) se dice que la simulación es una técnica numérica que permite realizar experimentos sobre el comportamiento de un cierto fenómeno, utilizando un modelo matemático de un fenómeno real. Simbólicamente, el modelo puede expresarse en la forma:

$$Y = f(X)$$

Donde **Y** es el conjunto de variables endógenas, **X** el conjunto de variables exógenas y **f** simboliza las relaciones de dependencia entre ambos conjuntos. Una o más variables pueden ser aleatorias.

Definido el campo de variación de las variables exógenas y, en su caso, las distribuciones de probabilidad, para cada conjunto de valores **X** se obtiene un conjunto de valores **Y** particularizando las relaciones simbolizadas en **f**. El conjunto de valores **Y** constituye una imagen del resultado que se obtendría observando el fenómeno considerado en las condiciones definidas por los valores o las distribuciones de probabilidad asignados a las variables explicativas. Se ha simulado, basándose en el modelo, el comportamiento del fenómeno real.

Si se asignan valores a un grupo de variables explicativas y se dan valores a las variables aleatorias exógenas que sean acordes con sus distribuciones de probabilidad, repitiendo un número grande de veces el experimento de simular resultados, se obtiene una distribución empírica de frecuencias de los valores de **Y**. De su análisis se pueden inferir las leyes de probabilidad que rigen el comportamiento del fenómeno, condicionadas por los valores fijados para el grupo de variables exógenas.

Si se modifican los valores dados al grupo de variables exógenas seleccionado y se reitera la simulación, se pueden inferir de los resultados las variaciones que sufren las leyes de probabilidad de las variables Y .

Con todo ello, lo que se hace en definitiva es experimentar sobre un modelo matemático para obtener resultados similares a los que se obtendrían observando el fenómeno real. Las enseñanzas (que quizá costaría años adquirir) de la observación del fenómeno real pueden, así, obtenerse en horas o minutos.

Al respecto, Menke (1973) indica que los modelos de simulación pueden ser de mucha utilidad para el entendimiento de la dinámica poblacional de insectos, así como de las interacciones entre los diversos componentes de los sistemas involucrados (como el clima, el cultivo, los enemigos naturales, etc., en los sistemas agrícolas), y de los efectos de distintas estrategias sobre dichos sistemas (como pueden ser los diversos métodos de control de plagas). Adicionalmente señala que los modelos de simulación constan de dos etapas complementarias: 1) la estructuración del modelo, o modelación propiamente dicha, y 2) la experimentación con el mismo o simulación. En la estructuración del modelo se consideran distintas interacciones dentro del sistema con el propósito de responder como una variable de interés (por ejemplo, el tamaño de una población insectil) depende de otras variables en el modelo (tiempo, temperatura, etc.).

Berryman (1991) señala que existen dos caminos básicos para modelar poblaciones insectiles. El primero y más comúnmente empleado es construir un modelo de la información conocida o de las suposiciones sobre la biología y ecología de las especies en cuestión, y luego validar el modelo comparando sus resultados con los datos observados.

El segundo enfoque, que puede ser llamado *a posteriori*, o de diagnóstico, donde el modelo se construye analizando los datos mediante procedimientos estadísticos en un intento por diagnosticar los procesos responsables del comportamiento poblacional (Royama, 1977; Turchin, 1990).

La simulación es la operación del modelo obtenido con el objetivo de investigar los cambios en las variables dependientes en respuesta a cambios específicos en las variables independientes de un sistema. Un modelo de simulación es particularmente de utilidad por su capacidad de representar, en muy poco tiempo, diversas situaciones del sistema (condiciones climáticas), las que podrían tomar meses y aún años para ser observados de manera real (Menke, 1973).

2.7. Modelos de la conchuela del frijol

Reyes (1991) señala que para el manejo eficiente de la conchuela del frijol en México es necesario desarrollar bases de datos con información biológica, estrategias de control integradas y modelo matemáticos tendientes al desarrollo de sistemas expertos, adecuados a las condiciones de nuestro país.

Por su parte, Martínez (1992) menciona que a pesar de que la conchuela del frijol ha sido objeto de muchos y muy variados estudios, este cúmulo de conocimientos esta representado por estudios individuales aislados que requieren de una integración sistemática que permita entender la dinámica real de la plaga a través de generaciones sucesivas y al mismo tiempo proporcione una herramienta útil en el manejo eficiente del problema en el campo.

Nagarajan *et al.* (1994) mencionan que la migración, oviposición, desarrollo y mortalidad, son los principales parámetros del ciclo biológico de la conchuela del frijol que deben ser integrados en un modelo de simulación de la plaga y que junto con los valores de su alimentación sobre el cultivo podrían ayudar a estimar, en un momento determinado, su nivel poblacional y su daño potencial.

permitiendo la implementación adecuada de las medidas de control que contrarresten las eventuales pérdidas esperadas.

2.7.1. Migración

La mayoría de los estudios de migración de insectos se han enfocado a especies que se dispersan en amplios rangos geográficos como el caso de lepidópteros y acrididos, mientras que la migración de insectos a nivel local ha sido ignorada (Pedgley, 1993).

Por su parte, Byrne *et al.* (1996) consideran que la migración local de los insectos es biológicamente tan importante como la migración de amplio rango y, probablemente, sea aún más importante agronómicamente; aunque la mayoría de los experimentos relacionados con la migración de plagas a escala local se han enfocado principalmente a homópteros como áfidos y moscas blancas (Nottingham y Hardie, 1989; Tonhasca *et al.*, 1994).

Loxdale *et al.* (1993) indican que es necesario conocer la migración de las poblaciones insectiles para predecir sus ocurrencias mediante modelos que tomen en cuenta la dispersión. Adicionalmente, Byrne *et al.* (1996) mencionan que la migración es comúnmente omitida como componente de programas de manejo de plagas por dos motivos principales: existe muy poco conocimiento acerca de los factores que influyen en la migración y dispersión de una especie en particular, y el probar en impacto de este fenómeno en el ambiente agrícola es difícil.

Lo anterior es una situación desafortunada dado que se requieren modelos adecuados de dispersión de insectos para lograr pronósticos realistas de la incidencia de plagas en los cultivos; asimismo, que el conocimiento de las interacciones entre la migración y otros aspectos de la biología de las plagas son también críticas en el desarrollo de estrategias de manejo (Byrne *et al.*, 1996).

Nagarajan *et al.* (1994) mencionan que la información del tiempo y la cantidad de los adultos invernantes de la conchuela que arriban diariamente al cultivo es crítica para el manejo de la plaga; señalando que una de las limitaciones de los resultados de las simulaciones de la dinámica poblacional de la conchuela en el cultivo de soya, se debió precisamente a la estimación inadecuada de la inmigración de los primeros adultos invernantes al cultivo y de su migración secundaria.

2.7.2. Oviposición

La oviposición diaria de las hembras de la conchuela del frijol puede ser descrita en función de su edad y de la temperatura ambiental (Moscardi *et al.*, 1981; Wilkerson *et al.*, 1986). Asimismo que la temperatura y el fotoperiodo son los factores más importantes que influyen en la fecundidad de las hembras, las cuales ovipositan solamente dentro de un rango restringido de temperaturas y la máxima fecundidad está cerca del límite superior de dicho rango; fuera de ese límite de temperatura óptima la fecundidad disminuirá rápidamente. Asimismo menciona que los insectos pueden producir un mayor número de huevos bajo un régimen de temperaturas fluctuantes que bajo la influencia de temperaturas constantes (Krongstand, citado por Domínguez, 1991).

La fecundidad de las hembras de *E. varivestis* ha sido estudiada por diversos autores como Armenta *et al.*, (1978) los cuales señalaron que a 17 ± 0.5 °C no hay oviposición, mientras que a 21 ± 0.5 °C, cada hembra deposita un total de 495 huevos en promedio y, que a 25 ± 0.5 °C el promedio de huevos ovipositados se redujo a 470; asimismo mencionan que cada hembra depositó dicha cantidad de huevos en promedio de 10.5 masas, es decir aproximadamente 45 huevos por masa. Por su parte, Hochmuth *et al.* (1987) detectaron un valor de 335 como el número total de huevos que puede depositar una hembra durante toda su vida, alimentándose de soya, a una temperatura óptima de 22 °C.

2.7.3. Desarrollo

Una aplicación importante de la relación entre la temperatura y el desarrollo es el concepto de unidades calor o grados días de desarrollo, donde se asume que la velocidad de desarrollo de insectos es directamente proporcional a la temperatura. Por lo tanto, su representación puede expresarse a través de la ecuación de línea recta y, mediante esta ecuación, obtener las temperaturas umbrales de desarrollo, a partir de las cuales se inicia el desarrollo hasta completar una determinada cantidad de unidades calor necesarias para completar dicho desarrollo. Las unidades calor se estiman en función de las temperaturas diarias existentes (Higley *et al.*, 1986).

Con base en lo anterior, los modelos basados en unidades calor permiten estimar y predecir el momento en que una especie completa su desarrollo, total o por etapas biológicas o fenológicas, razón por la cual a dichos modelos también se les conoce como modelos fenológicos (Kemp *et al.*, 1986; Dennis *et al.*, 1986).

Con respecto a la conchuela de frijol, existen diversos trabajos para la determinación de las temperaturas umbrales y de las unidades calor respectivas para sus distintas etapas biológicas; en México los publicaron Armenta *et al.*, (1978) y Nava *et al.*, (1987a y 1987b).

Sin embargo, Higley *et al.*, (1986) mencionan que la relación entre la temperatura y la velocidad de desarrollo de los organismos no es exactamente lineal sino que realmente es curvilínea y que la fluctuación de temperaturas influye en este comportamiento. Por lo tanto, aunque para la mayoría de las especies la aproximación lineal es aceptable para estimar su velocidad de desarrollo, esto es siempre y cuando las temperaturas consideradas se mantengan dentro de la región delimitada por el modelo de la recta; de otra forma su precisión es inadecuada.

Por otro lado, Wilkerson *et al.*, (1986) señalan que la tasa de desarrollo de los insectos no solamente es afectada por la fluctuación de temperaturas sino que es variable también entre los individuos de una misma etapa biológica sujetos a las mismas temperaturas.

Para modelar esta variabilidad se han utilizado diversas funciones de distribución acumulada, entre ellas la distribución normal, la logística y la de Weibul (Menke, 1973; Stinner *et al.*, 1974; Dennis *et al.*, 1986).

Los modelos de desarrollo basados en la distribución normal no reflejan exactamente la naturaleza observada en las curvas del desarrollo de insectos, particularmente bajo el efecto de temperaturas variables (Stinner *et al.*, 1974).

2.7.4. Mortalidad

La mortalidad es, sin duda, uno de los parámetros del ciclo biológico de los insectos de más difícil estimación bajo condiciones de campo, debido a los diferentes factores involucrados en ella (Pinto, 2000).

Para el área de Chapingo, Colunga (1989) observó porcentajes de mortalidad de 73.7%, 61.4% y 6.1%, para huevos, larvas y pupas, respectivamente. Por su parte, Colunga y Vera (1990) reportan valores de mortalidad de 63%, 77%, 57%, para los mismos estados biológicos. Se puede observar una diferencia muy grande en el porcentaje de mortalidad de pupas en estos dos trabajos.

Armenta *et al.*, (1978) detectaron porcentajes de mortalidad para huevos 43%, larvas 52% y pupas 8.5%. Por su parte Reyes (1991) señaló valores de 73.5% para huevos; 59.6%, 18.8%, 9.3% y 36.6% para larvas de primero, segundo, tercero y cuarto instar; y de 43.2% para pupas, siendo los más adecuados para representar los porcentajes de mortalidad de estas etapas biológicas mediante un modelo de la dinámica poblacional.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización del experimento

El presente trabajo se realizó en el Campo Agrícola Experimental ubicado en la localidad de Santa Lucía de Prías, Texcoco, Estado de México, perteneciente al Campo Experimental Valle de México; el que a su vez forma parte de la Región de Investigación Centro, del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Esta estación se ubica en el municipio de Texcoco, Méx., a una distancia aproximada de 5 Km hacia el sur de Chapingo dentro de su área de influencia, el cual geográficamente se encuentra entre los 19° 30' de latitud Norte y 98° 51' de longitud oeste; a una altitud de 2,250 msnm. De acuerdo con la clasificación de Köppen (modificada por García, 1981), tiene un clima C(Wo)(w)b(i'); que significa templado con lluvias en verano, el más seco de los subhúmedos, con veranos frescos y prolongados, con temperaturas medias anuales entre 12 y 18 °C; la oscilación anual de las temperaturas medias mensuales es de 5 a 7 °C y el mes más caliente se presenta antes del solsticio de verano.

3.2. Características del modelo

Se utilizó un modelo estructurado por etapas biológicas (estado o instar larvario), desarrollado originalmente por Wilkerson *et al.* (1986). Dicho modelo permite estimar el número de individuos (N_i) en cada etapa biológica i , en función del tiempo (τ) y de la edad fisiológica (ε) de los individuos, de acuerdo a la siguiente ecuación diferencial:

$$\delta N_i / \delta \tau + \delta N_i / \delta \varepsilon = - M_i N_i - D_i N_i + E_i$$

Donde:

i : huevos, larvas pequeñas, larvas medianas, larvas grandes, pupas, adultos.

M_i : representa la mortalidad de la correspondiente etapa i .

D_i : es una función de desarrollo, dependiente de las temperaturas promedio diarias, que determina la proporción de individuos del estado i que

completan su desarrollo y pasan a la siguiente etapa biológica durante el día τ . El efecto de la temperatura sobre el desarrollo de los individuos está considerado en D_i a través de su edad fisiológica ε .

E_i es el número de individuos que ingresa a cada estado i durante el día τ . Para el estado del huevo, E_i es una función basada en la capacidad reproductiva de las hembras; para las etapas larvarias y la pupa E_i se obtiene del número de individuos que completaron su desarrollo provenientes de la etapa biológica inmediata anterior.

3.3. Variables evaluadas

Se trabajó en dos ciclos de cultivo (primavera-verano 2007 y 2008). El registro de las diferentes variables, se inició cuando la planta tuvo aproximadamente un mes de edad. Se evaluó la incidencia de conchuela del frijol en sus diferentes etapas biológicas. Los muestreos para observar la incidencia o ausencia de esta plaga se realizaron cada dos días hasta el final del cultivo y de esta manera se determinó la época de incidencia; los datos obtenidos se anotaron en hojas para llevar un control del registro. El método de muestreo consistió en tomar plantas (24 por año) en las que se detectaron masas de huevecillos y se marcaron mediante etiquetas para mantenerlas ubicadas dentro del campo; y así realizar los muestreos secuenciales de una forma más eficiente. Se contabilizaron las masas de huevecillos del primer día de muestreo y las que iban apareciendo en los días siguientes; después se contabilizaron las larvas de primer y segundo instar emergidas de los huevos y así se continuó con todos los instares hasta obtener insectos adultos. Durante la realización del trabajo no se realizaron aplicaciones de insecticidas.

3.4. Estructuración del modelo

Para la simulación de la dinámica poblacional de conchuela, el modelo se estructuró considerando las principales etapas biológicas de la plaga, así como de los parámetros que estiman el tiempo de desarrollo y la mortalidad de cada etapa biológica, tal como se explica a continuación.

3.4.1. Etapas biológicas

Se consideraron en el modelo las siguientes etapas biológicas de la conchuela del frijol: Huevos; Larvas Pequeñas (LP), correspondientes a larvas del primer y segundo instar; Larvas Medianas (LM), correspondientes a larvas del tercer instar; Larvas Grandes (LG), correspondientes a larvas del cuarto instar; Pupas (incluyendo la fase de prepupa); y Adultos.

El agrupamiento de larvas de primer y segundo instar en un solo grupo (larvas pequeñas), así como el de las prepupas y pupas (en pupas), obedece a razones prácticas. En el primer caso porque las larvas de los primeros instares no son fácilmente diferenciables en condiciones de campo por su tamaño, mientras que en el segundo porque ambos estados son similares y no causan daño directo al cultivo.

3.4.2. Tiempo de desarrollo (D_i)

Para determinar la relación existente entre las temperaturas promedio diarias y los días de desarrollo (DD) de cada una de las etapas biológicas de la conchuela consideradas en el modelo, se utilizó la información publicada de diversos investigadores, quienes determinaron, en trabajos bajo condiciones de laboratorio, el tiempo requerido para que cada etapa biológica complete su desarrollo bajo el efecto de diversas temperaturas constantes.

Para huevos se utilizó la información reportada por Marcovitch y Stanley (1930), Armenta *et al.*, (1978), Cibrián *et al.*, (1984), Kauffman *et al.*, (1985) y Nava *et al.*, (1987b), mientras que para los demás estados biológicos, larvas y pupas, se utilizaron también datos de Bernhardt y Shepard (1978), McAvoy y Smith (1979), y Mellors y Bassow (1983). Obteniendo así los tiempos promedios de la duración de desarrollo de las etapas biológicas concentrados en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Promedios de la duración de desarrollo (días) de las etapas de la conchuela del frijol consideradas en el modelo, por efecto de la temperatura (Pinto, 2000).

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	-

Cuadro 2. Ecuaciones para estimar los días de desarrollo de cada etapa de la conchuela del frijol, en función de las temperaturas promedio diarias (Pinto, 2000).

Etapas	Ecuación de desarrollo	R ²
Huevos	$DD=52.17-3.44T+0.063T^2$	0.99
Larvas pequeñas	$DD=71.3-4.87T+0.09T^2$	0.99
Larvas medianas	$DD=33.6-2.24T+0.04T^2$	0.97
Larvas grandes	$DD=46.2-2.85T+0.05T^2$	0.92
Pupas	$DD=83.6-6.64T+0.18T^2-0.0014T^3$	0.99
Huevo-Adulto	$DD=271.8-17.9T+0.32T^2$	0.98

T=temperatura promedio diaria

R²=coeficiente de correlación

Se buscaron las mejores ecuaciones que se ajustasen mejor a los valores de la tabla anterior para que el modelo estimase adecuadamente la relación entre

cualquier valor de la temperatura promedio diaria y los días de desarrollo (DD) de cada etapa, así como la duración del ciclo biológico completo, de huevo a adulto. Estas ecuaciones fueron incorporadas al modelo para utilizarse en el cálculo de la edad fisiológica de los individuos de la población (Cuadro 2).

3.4.3. Edad fisiológica (ϵ)

Según Wilkerson *et al.*, (1986) la edad fisiológica (ϵ) de los insectos, en cualquier etapa biológica de su desarrollo, se puede obtener por medio de la acumulación de días fisiológicos diarios (df/d), mismos que se definen como la proporción del desarrollo (respecto al tiempo más breve para ello) que se completa durante un periodo de 24 horas a la temperatura promedio respectiva de ese día.

Por ejemplo, si el tiempo más breve de desarrollo de cierta etapa biológica es de 4.8 días, y en un día determinado, bajo el efecto de la temperatura promedio de ese día, la función de desarrollo estima que el desarrollo se completará en 6.0 días, entonces habrá 0.8 días fisiológicos ese día ($4.8/6.0$), mismos que representarán la edad fisiológica de los individuos en ese momento y que se acumularán con las estimaciones de otros días hasta completar los 4.8 días requeridos para completar el tiempo necesario para su desarrollo total en dicha etapa.

Con base en esto, la estimación de los días fisiológicos diarios se obtuvo de dividir los siguientes valores: 5.3, 7.0, 4.1, 4.8 y 7.1 (días más breves de desarrollo para huevos, larvas pequeñas, larvas medianas y pupas, respectivamente) entre los días de desarrollo (DD) estimados a través de las ecuaciones correspondientes para cada una de las etapas biológicas, a una temperatura constante de 25 °C.

Una vez obtenidas las edades fisiológicas de cada etapa biológica de la conchuela, estas fueron utilizadas para estimar la variabilidad del tiempo de

desarrollo entre los individuos de una misma edad fisiológica mediante una función de distribución acumulativa.

3.4.4. Función de desarrollo acumulado

El modelo considera la variabilidad en el tiempo de desarrollo de los individuos de una determinada etapa biológica mediante una función de distribución acumulativa desarrollada por Stinner *et al.*, (1975), que relaciona la edad fisiológica (ϵ) con la proporción de individuos que completan su desarrollo en un día determinado mediante la siguiente ecuación:

$$F(\epsilon) = (1-Z)^{hZ^k} \quad ; \quad 0 \leq Z \leq 1$$

Donde: $F(\epsilon)$ es una función que representa la proporción de individuos de la misma edad fisiológica que completan su desarrollo en el día τ ; $Z = (B - \epsilon) / (B - A)$, donde A se refiere al número de días necesarios para que el primer espécimen complete su desarrollo, y B es el número de días requeridos para que el último espécimen concluya dicho desarrollo; h y k son constantes empíricas.

Los valores de A y B , para cada etapa biológica de la conchuela, fueron tomados de Nagarajan *et al.*, (1994) con base a los datos de los tiempos de desarrollo de la conchuela reportados por Kauffman *et al.*, (1985) obtenidos a una temperatura constante de 25 °C. Nagarajan *et al.*, (1994) estimaron dichos valores como las duraciones promedio de desarrollo de cada etapa ± 2 veces la desviación estándar resultante del experimento de Kauffman *et al.*, (1985) (Cuadro 3).

Los valores de h y k son constantes empíricas determinadas por la función de desarrollo acumulativo obtenido por Stinner *et al.*, (1975). Encontraron que un valor de $k=2.0$ fue adecuado para representar la proporción diaria de desarrollo acumulado de distintas especies de insectos de importancia agrícola, por lo que en este trabajo se utilizó también dicho valor de k para estimar la proporción de desarrollo acumulado de cada etapa biológica de la conchuela.

Cuadro 3. Valores de los parámetros para la función de desarrollo acumulativo diario.

Etapa	A	B	h	k
Huevos	4.1	5.9	4	2
Larvas pequeñas	4.9	10.3	4	2
Larvas Medianas	2.4	7.8	4	2
Larvas grandes	1.8	9	3.9	2
Pupas	5.3	9.8	3.77	2
Desarrollo completo	18.5	42.8	3.53	2

Fuente: Nagarajan *et al.*, (1994).

3.4.5. Mortalidad

Los parámetros de mortalidad fueron tomados de los mencionados por Reyes (1991), quién detectó valores de 0.735, 0.672, 0.093, 0.366 y 0.432 como las proporciones totales de mortalidad para huevos, larvas pequeñas, larvas medianas, larvas grandes y pupas, respectivamente. Estos valores se incluyeron en el modelo como índices diarios de mortalidad mediante la siguiente ecuación utilizada por Wilkerson *et al.*, (1986).

$$Mi = 1 - (1 - PM)^{(1/DD)}$$

Donde: ***Mi*** 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 ***DD*** son los días de desarrollo obtenidos mediante las ecuaciones del Cuadro 2.

3.5. Validación del modelo

Ya estructurado el modelo, éste fue programado en una hoja de cálculo, con el cual se realizaron varias simulaciones y los resultados obtenidos se compararon con los observados en campo.

3.6. Simulaciones

Las simulaciones con el modelo se realizaron para comparar su funcionamiento con los valores obtenidos de la observación de la dinámica poblacional de la conchuela en campo, iniciando con las masas de huevecillos recién ovipositados por las hembras invernantes de conchuela en el cultivo de frijol, variedad Jamapa, sembrado en el Campo Agrícola Experimental del INIFAP.

Las observaciones se realizaron cada dos días para estimar el número de días requeridos para completar el desarrollo de los huevos y pasar a la siguiente etapa biológica, determinado esto por medio de la eclosión de los huevos observados. A las larvas obtenidas también se les dio un seguimiento posterior para determinar también el tiempo de desarrollo, alcanzado en el proceso de muda al siguiente instar. Realizando así el mismo procedimiento par los demás estados biológicos hasta completar el ciclo, obteniendo insectos adultos.

3.7. Características de la variedad

La variedad de frijol utilizada se obtuvo mediante el método de selección individual y masal, de una mezcla de 15 líneas de la colección realizada en Paso de Ovejas, Ver. (Veracruz 87-15). Esta variedad fue liberada en el año 1958, teniendo el número de registro FRI-012-000063. Dentro de sus características agronómicas, presenta el hipocotilo de color verde con un jaspeado de color morado; tiene un habito de crecimiento determinado arbustivo (Tipo II), con una altura de planta que va de los 35 a los 45.7 cm. Sus días a floración ocurren de los 35-56, teniendo la flor de color morado y estas se localizan parcialmente sobre el follaje; de estas se originan vainas de color verde oscuro, de un tamaño promedio de 11 cm de largo y 1.8 cm de ancho. La prominencia de los granos es fuerte, de un color negro opaco. Presenta de 80-114 días a la madurez, considerándose con un ciclo biológico de precoz a intermedio con base en el sitio de siembra. Esta variedad es tolerante al ataque de la antracnosis, tizón común, mosaicos, tizón de halo y roya. Se recomienda

su siembra en las áreas del altiplano subhúmedo, trópico seco, y trópico húmedo. Su clase comercial es Negro Jamapa (Cruz, 2008).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados de las simulaciones con los datos obtenidos en campo en el año 2007

Para estas simulaciones se utilizaron las temperaturas promedio diarias de los meses de julio a octubre de 2007¹, y los datos de oviposición observados en campo (597 huevos); además el estudio se inició en base a los datos de mortalidad de cada etapa biológica de la conchuela del frijol reportados por Reyes (1991), aunque para el modelo de simulación se busco el mejor dato de mortalidad que se ajustara a las condiciones observadas (Cuadro 4), cuyos resultados gráficos se muestran en las siguientes figuras.

Cuadro 4. Datos de mortalidad empleados en el modelo de simulación que más se ajustaron a las condiciones observadas

Etapa Biológica	Mortalidad 1991*	Mortalidad 2007**	Mortalidad 2008***
Huevos	0.735	0.092	0.092
Larvas Pequeñas	0.672	0.084	0.168
Larvas Medianas	0.093	0.012	0.093
Larvas Grandes	0.366	0.046	0.183
Pupas	0.432	0.054	0.216

*Datos reportados por Reyes, 1991.

**Datos empleados en el modelo para ese año.

***Datos empleados en el modelo para ese año.

En la Figura 1 se puede observar que la curva de los datos observados de la dinámica poblacional de larvas pequeñas tuvo una buena representación de la curva poblacional de los datos simulados, ya que según el modelo de simulación los individuos se desarrollaron del 27 al 30 de julio, mientras que el comportamiento observado estuvo comprendido del 23 al 31 de julio; además el comportamiento en ambas curvas es similar, aunque se encuentran un poco desfasadas. Asimismo, el modelo estimó bien la cantidad total de individuos

¹ Cuadro I del Apéndice

durante toda la simulación (542), con una diferencia del 6.1% con respecto al total de larvas pequeñas registradas en campo que fue de 577 individuos².

Asimismo, se puede detectar que si se realizara en la parcela alguna aplicación preventiva para disminuir el ataque de la plaga, en cuanto se observen las primeras masas de larvas pequeñas, ésta alcanzaría a controlar los niveles poblacionales; ya que aunque se basara uno en los resultados obtenidos mediante el programa de simulación aún así la plaga se vería afectada.

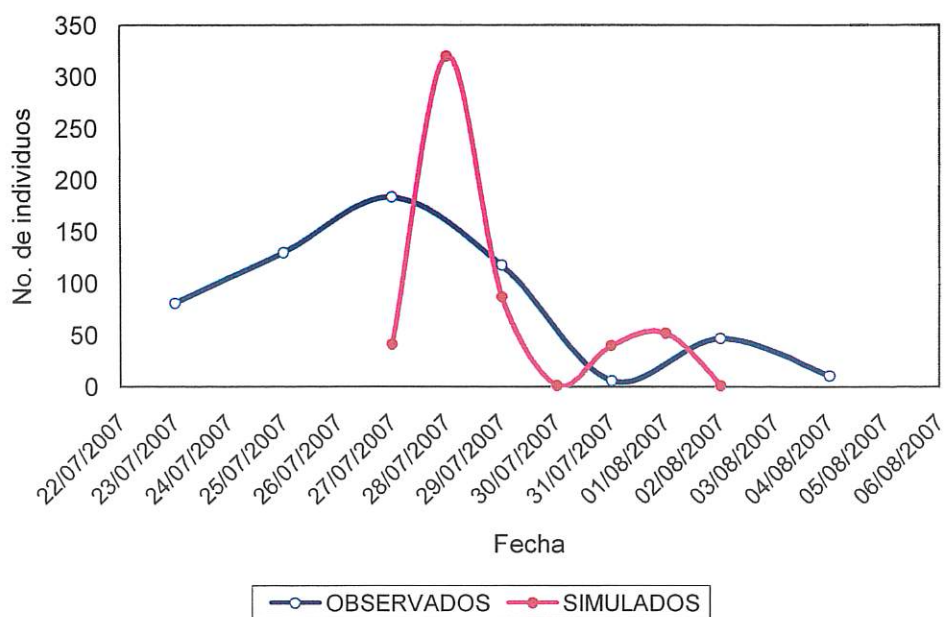


Figura 1. Dinámica poblacional de larvas pequeñas de *Epilachna varivestis* (datos 2007).

En la simulación de la dinámica poblacional de larvas medianas (Figura 2) se alcanzó a representar la forma general de la curva obtenida de los datos observados en campo para esta etapa biológica; sin embargo, la estimación del total de individuos (491) fue mayor en un 0.5% al total de individuos observados que fue de 489. Esta diferencia mínima no se alcanza a percibir en las curvas

² Cuadro II del Apéndice

poblacionales, las cuales no coinciden, pero muestran un comportamiento similar.

En cuanto a la dinámica poblacional de larvas grandes (Figura 3) se puede observar un comportamiento similar en ambas gráficas, alcanzando a representar muy bien las curvas poblacionales para esta etapa biológica de la conchuela; aunque estas curvas se encuentran desfasadas por un periodo de 2 días. La estimación del número total de individuos (480) fue mínima, un 0.4% diferente con los 482 observados en campo.

Con respecto a la dinámica poblacional de pupas (Figura 4) se observa una marcada disparidad con respecto a la curva poblacional observada para esta etapa biológica, ya que ambas curvas no se alcanzan a tocar en ningún punto, a pesar de que la población estimulada (456) es un 2% mayor a los 447 individuos reportados de la observación en campo. Este fenómeno se puede deber a la falta de información de la población de pupas existentes en el cultivo, ya que al encontrarse el cultivo de salida, muchas de las pupas se perdieron al caerse junto con las hojas del frijol y por tal motivo se impidió así su contabilidad real, aunque la diferencia es mínima.

En la Figura 5 se puede apreciar que los datos observados con los adultos, muestran una coincidencia con los datos simulados al final de las curvas, aunque en los datos observados se observa un pico de máxima población, del 4 al 8 de septiembre, y en la curva de los datos simulados, aunque no igual, el comportamiento fue similar, teniendo en el mismo periodo el máximo desarrollo de adultos. Para este estadio biológico la población simulada total (415) fue un 5.3% mayor a la cantidad de individuos observados en campo, que fue de 394. Este comportamiento se debió a la pérdida de pupas, como se mencionó anteriormente, las cuales no pudieron pasar a la siguiente etapa biológica (adultos), ya que al encontrarse en el suelo fueron más susceptibles al ataque de depredadores, o simplemente murieron al quedar ocultas en la tierra.

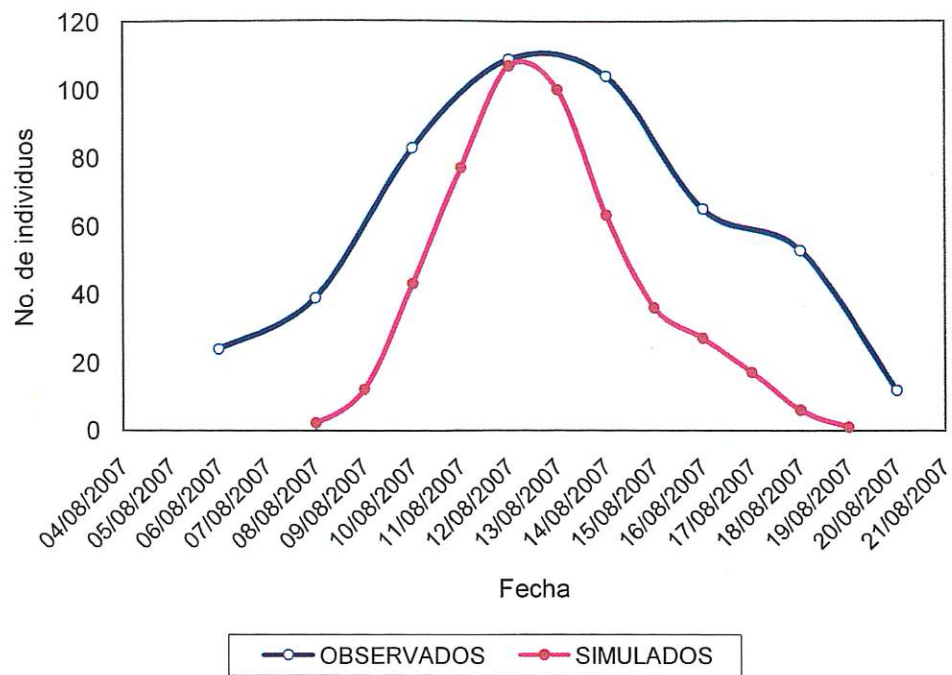


Figura 2. Dinámica poblacional de larvas medianas de *Epilachna varivestis* (datos 2007).

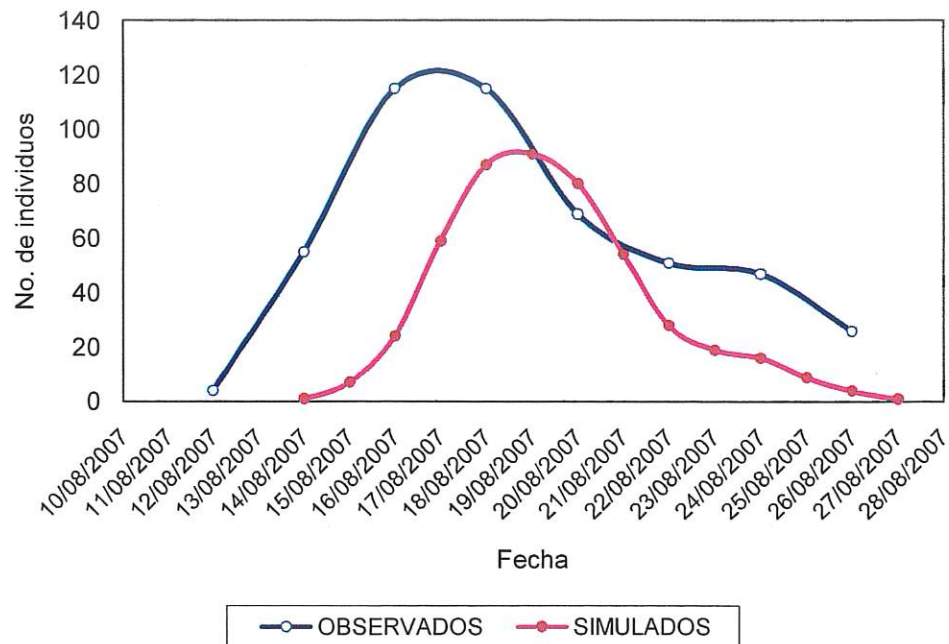


Figura 3. Dinámica poblacional de larvas grandes de *Epilachna varivestis* (datos 2007).

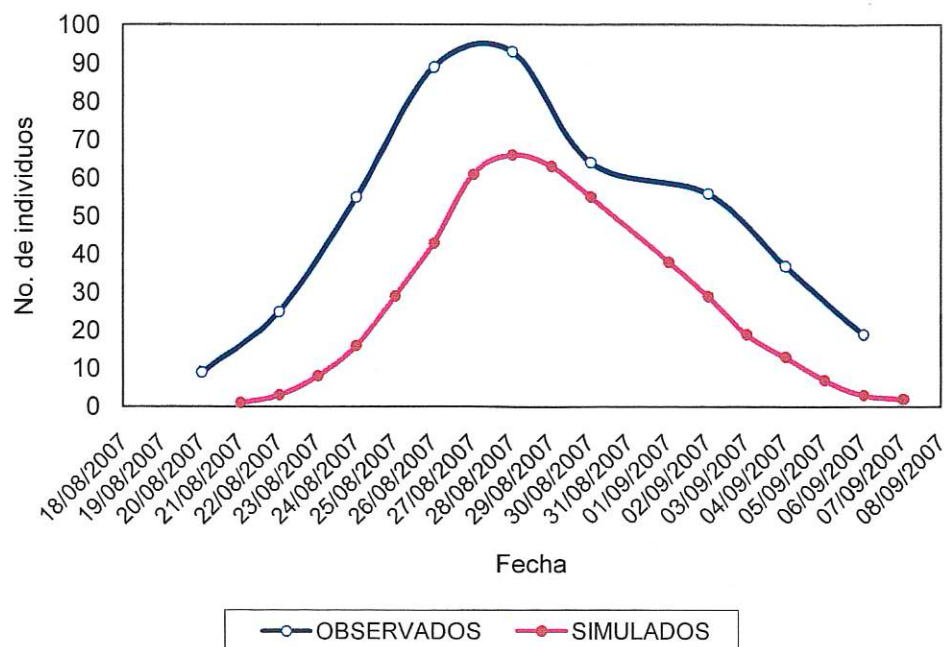


Figura 4. Dinámica poblacional de pupas de *Epilachna varivestis* (datos 2007).

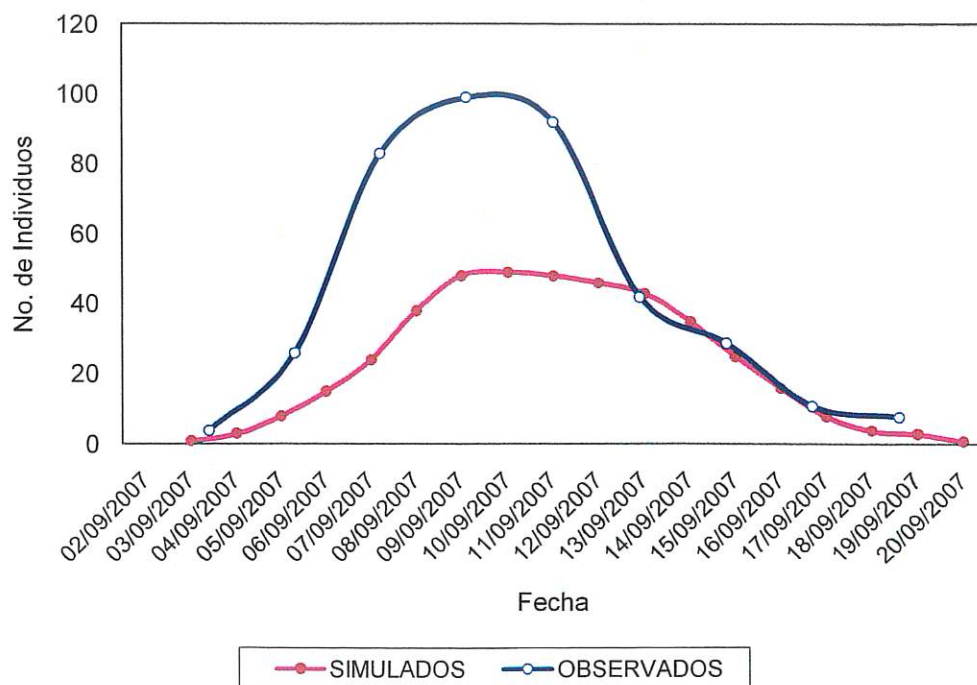


Figura 5. Dinámica poblacional de adultos de *Epilachna varivestis* (datos 2007).

Tomando en cuenta la cantidad de individuos de cada etapa biológica observada en campo (Cuadro I del Apéndice), de los 597 huevos cuantificados sólo 577 eclosionaron, pasando a la etapa de larvas medianas; los 20 huevecillos restantes no fueron capaces de eclosionar debido al salpique ocasionado por las lluvias en la zona, el cual, al golpear las hojas con las masas, derribo a los huevos y los sepultó en la tierra. Para la etapa de larvas medianas, solo se observaron 489 individuos de los 577 registrados en la etapa biológica anterior; los 88 individuos faltantes puede ser que no hayan muerto por el derribo de la lluvia, sino que al estar estos en el suelo y tener la necesidad de alimento entonces buscaron otra planta que se los suministrara y por tal motivo estas larvas ya no se pudieron cuantificar.

En cuanto a los individuos que pasaron a formar parte del grupo de larvas grandes (482 individuos) solo se perdieron 7; en esta etapa las larvas se encuentran dispersas en toda la planta y por tal motivo puede haber mas sitios que las protejan de las condiciones climáticas. De las 482 larvas grandes se observo que solo 447 individuos pasaron a pupas, perdiéndose 35 individuos; como el cultivo para esta época ha perdido follaje debido al efecto de la alimentación de las larvas de la conchuela, así como también a la perdida natural por el termino del ciclo, las larvas se ven obligadas a emigrar a las plantas aledañas para completar su ciclo y pasar al siguiente instar. Al final del ciclo se obtuvieron 394 individuos adultos, perdiéndose 53 individuos del total de pupas registradas, estas por lo general se adhieren a los residuos de hojas presentes aún en la planta o a pequeños tallos, los cuales caen al suelo al terminar el ciclo del frijol y en presencia de fuertes vientos son arrastrados a otros sitios, impidiendo así su contabilidad. En general se perdieron 203 individuos desde que se iniciaron los muestreos (huevecillos) lo cual nos indica que las condiciones ambientales juegan un papel importante en la mortalidad de las larvas de conchuela.

Como el cultivo de frijol se sembró ese mismo año en diferentes fechas, se utilizó otra parcela que coincidió con la presencia de conchuela, donde se contabilizaron masas de huevos (549 huevos) y se continuó la observación de la dinámica poblacional para cada una de las etapas biológicas, hasta completar su ciclo.

En la dinámica poblacional de larvas pequeñas (Figura 6) se percibe una similitud en el comportamiento poblacional, tanto de datos observados como simulados; ya que los picos de máxima población coinciden en el periodo de tiempo comprendido del 20 al 24 de agosto, siendo también el comportamiento similar a medida que el insecto salía de esta etapa biológica para pasar al siguiente instar. Se puede decir que esta grafica representa de manera general el comportamiento poblacional para esta etapa biológica. En esta etapa la estimación total de individuos (499) fue menor en un 5.3% con respecto a la población total observada que fue de 527 individuos.

Con respecto a las gráficas obtenidas en la dinámica poblacional de larvas medianas (Figura 7) se observa una marcada disparidad en las curvas, aunque el patrón es más o menos similar en ambas. Para los datos obtenidos de la observación en campo tenemos que la máxima población de larvas medianas se presentó del 2 al 8 de septiembre, mientras que en los datos simulados este comportamiento se presento del 5 al 11 de septiembre, aunque la diferencia en tiempo no es mucho en la figura se puede percibir con claridad. Para esta etapa la población estimada fue de 447 individuos, siendo mayor en un 1.8% de la población total observada en campo, la cual fue de 439 individuos. Como esta diferencia es mínima se puede decir que el modelo estimó bien la cantidad total de individuos para la etapa biológica de larvas medianas durante la simulación.

En la Figura 8, para larvas grandes, se observa un comportamiento similar en las curvas poblacionales; sin embargo, en este caso la curva de datos observados ocurre después que la obtenida de la simulación, aunque el

comportamiento en ambos casos es muy parecido, presentando ambas un pico de máxima población comprendido del 12 al 20 de septiembre. La población estimada en esta etapa biológica fue de 437 individuos, mayor en un 1.6% con respecto a la población observada, la cual fue de 430 individuos.

Para la dinámica poblacional de pupas (Figura 9) se observa un comportamiento similar en las curvas, ya que durante los primeros valores se puede observar muy bien la representación de la curva poblacional; sin embargo, este comportamiento es diferente después del 26 de septiembre, en donde la población simulada comienza a disminuir, comportamiento que ocurre en los datos observados hasta la fecha 30 de septiembre. La estimación total de individuos (408) fue inferior en un 2.2% con respecto al total de individuos registrados que fue de 417. Esta diferencia es notable en el periodo mencionado anteriormente.

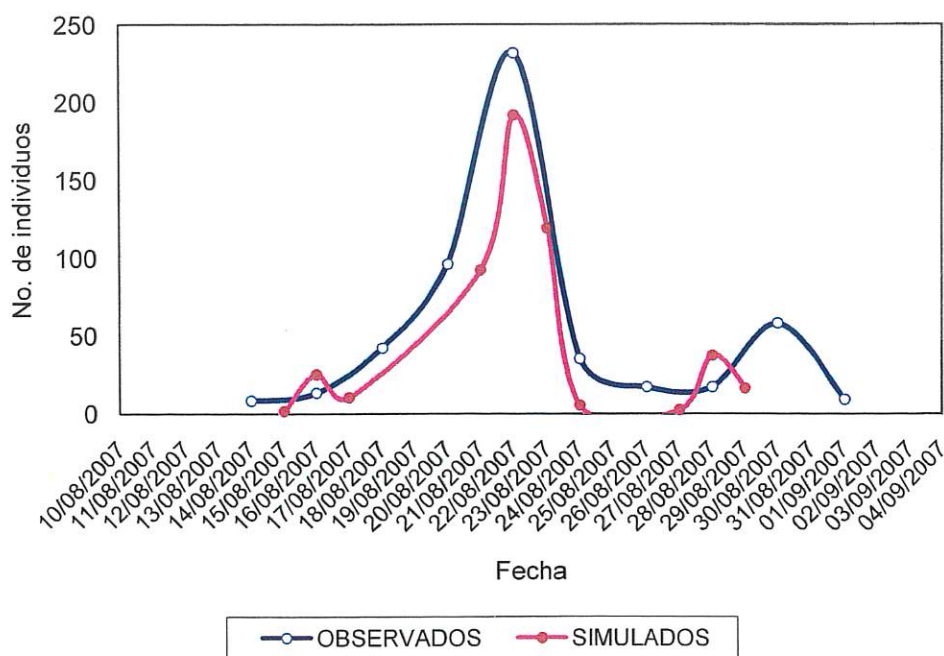


Figura 6. Dinámica poblacional de larvas pequeñas de *Epilachna varivestis* (datos 2007).

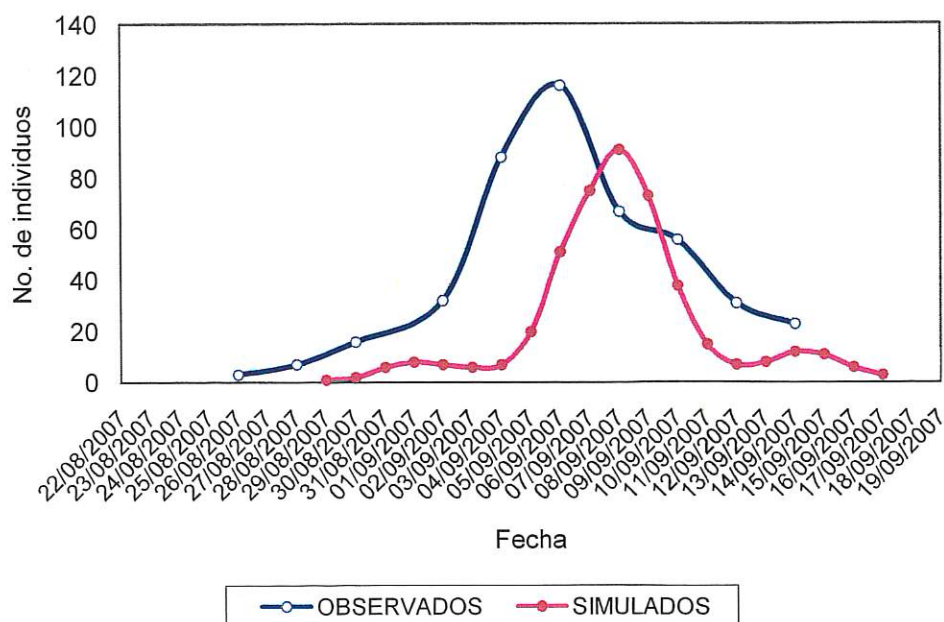


Figura 7. Dinámica poblacional de larvas medianas de *Epilachna varivestis* (datos 2007).

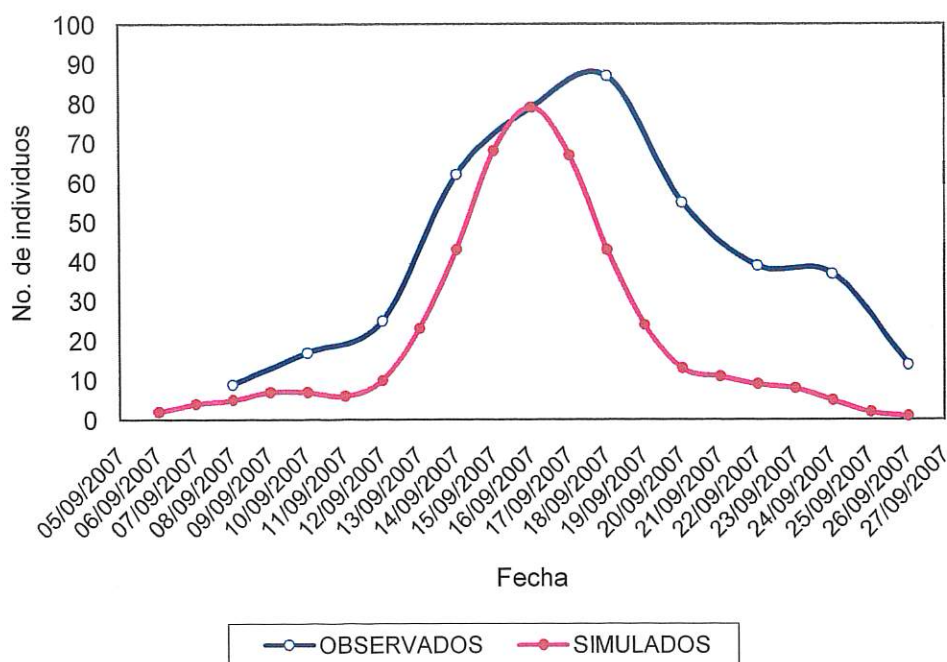


Figura 8. Dinámica poblacional de larvas grandes de *Epilachna varivestis* (datos 2007).

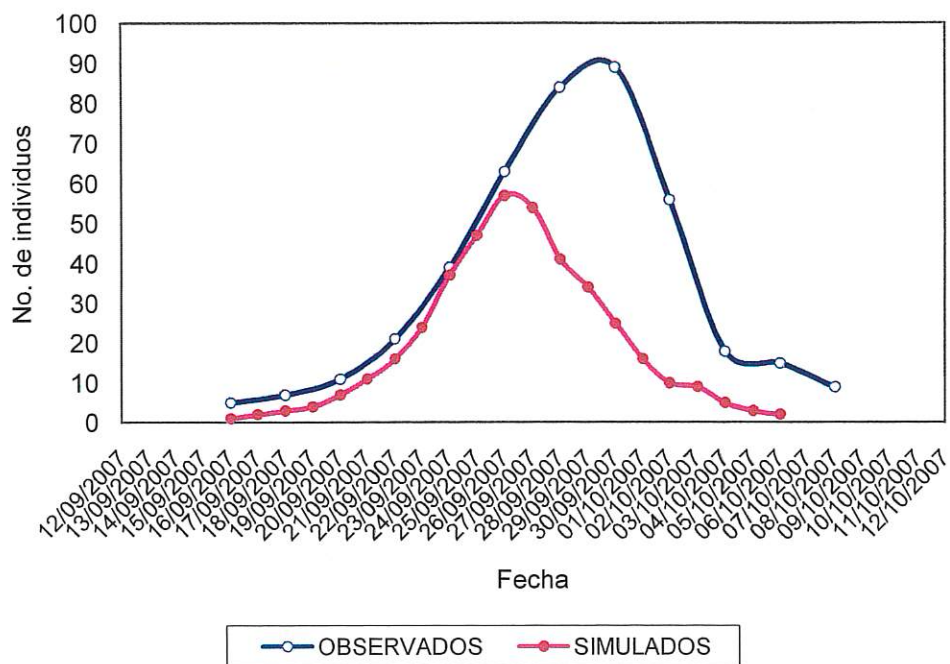


Figura 9. Dinámica poblacional de pupas de *Epilachna varivestis* (datos 2007).

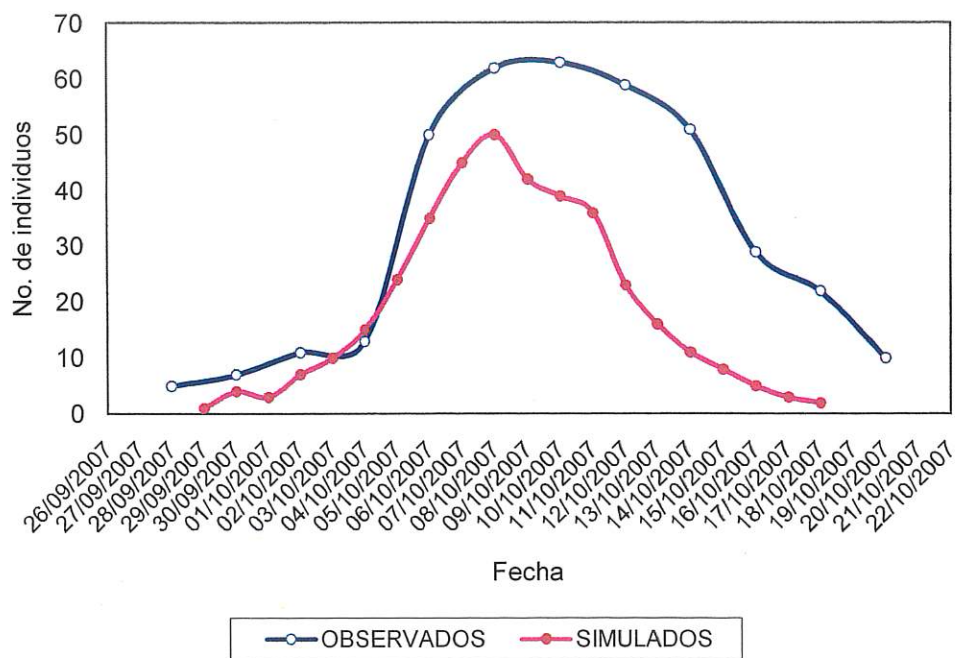


Figura 10. Dinámica poblacional de adultos de *Epilachna varivestis* (datos 2007).

En cuanto a la dinámica poblacional de los adultos (Figura 10) se observa una disparidad de las curvas de datos observados y de los simulados. Hasta el 3 de octubre el comportamiento es similar; sin embargo, la máxima población observada se presentó en la parcela del 6 al 14 de octubre, mientras que en la simulación ésta se presentó del 6 al 9 de octubre. La estimación del total de adultos por el modelo durante toda la simulación tuvo una diferencia del 0.8% en relación a los valores observados en campo (379 contra 382). Aunque para este periodo la temperatura empieza a descender en la región, no fue un impedimento para no completar el ciclo biológico del insecto, ya que el cultivo aún proporcionó alimento a los adultos existentes, mismos que posteriormente emprendieron su viaje a las zonas de hibernación.

De los 549 huevecillos, cuantificados al inicio del segundo ciclo de muestreo para el año 2007 (Cuadro I del Apéndice), solo 382 individuos llegaron al estado adulto. Perdiéndose 167 individuos durante el desarrollo del ciclo biológico del insecto. Del total de huevecillos solo se perdieron 2, pasando 547 individuos a formar parte del grupo de larvas pequeñas. En la etapa de larvas medianas se observó una pérdida de 108 individuos, quedando 439 individuos dentro del grupo, gran parte de esta pérdida se debió al efecto de la lluvia y los vientos; aunque también las labores culturales que se le realizan al cultivo (deshierbes) juegan un papel importante, ya que estas prácticas derriban a las larvas de las hojas, las cuales, si sobreviven, buscan refugio en las plantas cercanas a ellas y las que corren con menos suerte son sepultadas en la tierra y, por consiguiente, mueren. En los muestreos se cuantificaron 430 larvas grandes, perdiéndose solo 9 individuos del instar anterior; estas al ser más grandes escapan a los efectos ambientales mencionados anteriormente.

Algunas larvas se observaron dando una apariencia de estar momificadas (13 individuos) sobre las hojas de frijol, por lo cual no pudieron pasar a formar parte del grupo de pupas, quedando así 417 individuos que continuaron su ciclo para pasar al estado adulto, obteniendo así 382 individuos. En esta etapa se

perdieron 35 individuos; al llegar la época de pérdida de follaje de la planta, muchas pupas fueron arrastradas, junto con los vestigios de hojas, por el viento, impidiendo así su cuantificación real.

4.2. Resultados de las simulaciones con los datos obtenidos en campo en el año 2008

Con respecto a la simulación obtenida de los datos observados en campo durante el ciclo de cultivo 2008, se emplearon los valores de ovoposición registrados en campo (1552 huevos) y las temperaturas promedio diarias de los meses de julio a septiembre³, mes en el que finalizó el cultivo. Asimismo, los parámetros de mortalidad fueron modificados de los reportados por Reyes (1991), ya que se buscaron los valores que mas se ajustaran al modelo de simulación.

Las curvas de la dinámica poblacional de larvas pequeñas (Figura 11) muestran una disparidad en cuanto al patrón de comportamiento; además se puede percibir que aunque las curvas están desfasadas, ambas tienen un crecimiento poblacional y después un descenso en la población el cual es mas marcado en la curva de los datos simulados e inmediatamente después hay un crecimiento de la población de conchuela. Este comportamiento puede ser debido a la temporada de lluvias presente en la zona, lo cual provoca la muerte o retraso en el desarrollo de las larvas mediante la caída y entierro de las larvas en el suelo por el efecto del salpique o por el descenso de la temperatura lo cual pudo haber impedido el desarrollo de las larvas, cosa que no sucedió en campo como en los datos simulados, ya que se pudo generar un microclima dentro de las plantas no cual no afecto demasiado su desarrollo real. El modelo estimó un total de 1412 individuos contra 1435 individuos observados en campo⁴, con una diferencia mínima del 1.6%.

³ Cuadro III del Apéndice

⁴ Cuadro IV del Apéndice

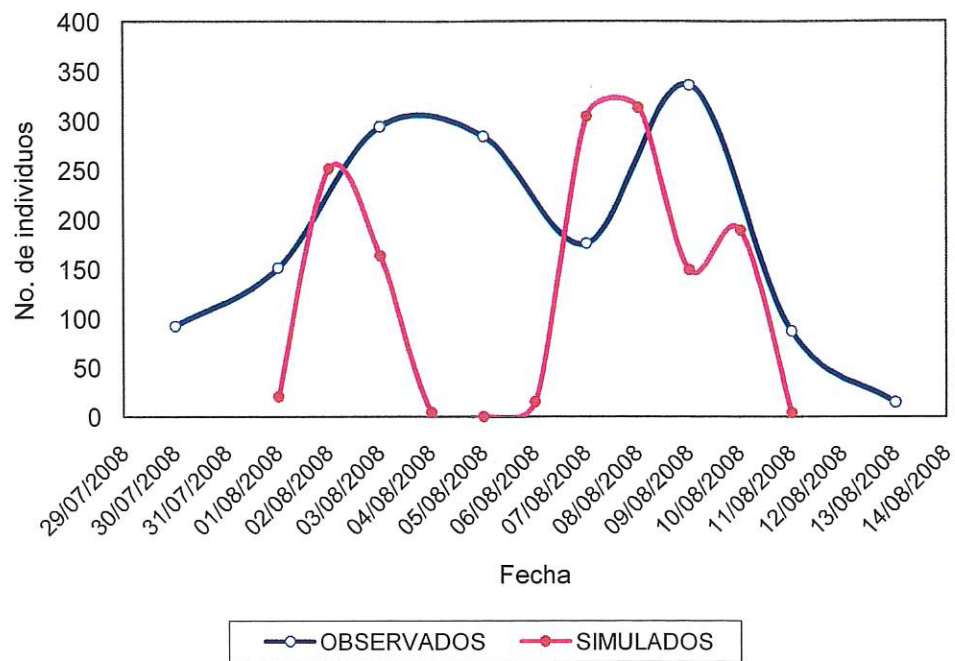


Figura 11. Dinámica poblacional de larvas pequeñas de *Epilachna varivestis* (datos 2008).

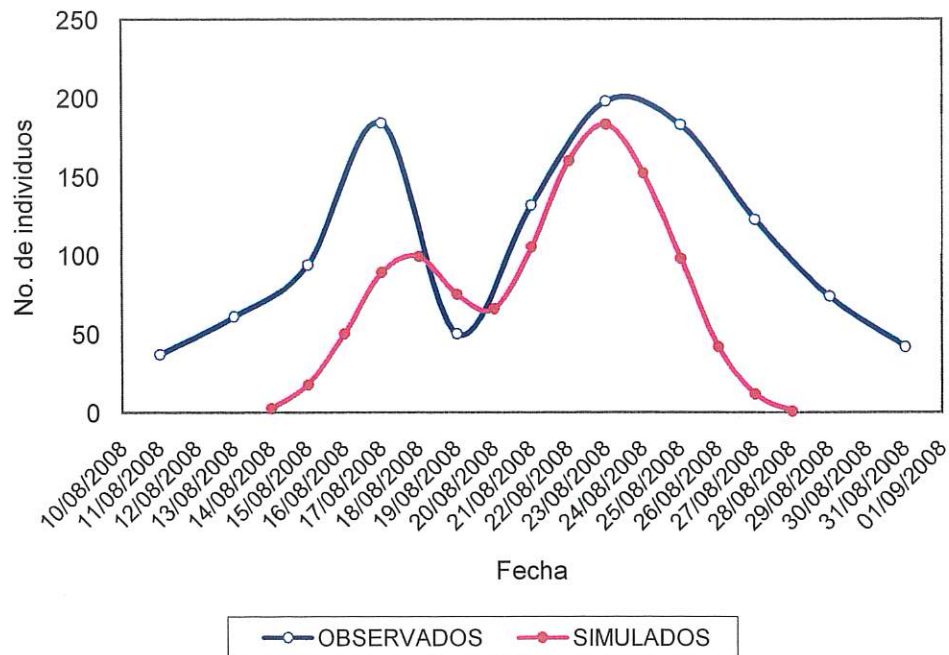


Figura 12. Dinámica poblacional de larvas medianas de *Epilachna varivestis* (datos 2008).

Continuando con la dinámica poblacional de las larvas medianas (Figura 12), las curvas de los datos poblacionales observados y simulados representaron de manera general el comportamiento poblacional para esta etapa biológica, encontrándose estas curvas desfasadas por 3 días; sin embargo, los picos poblacionales máximos coincidieron en fecha. Para esta etapa biológica la población estimada fue de 1153 individuos, siendo menor en un 2.1% del total de individuos observados en campo (1178).

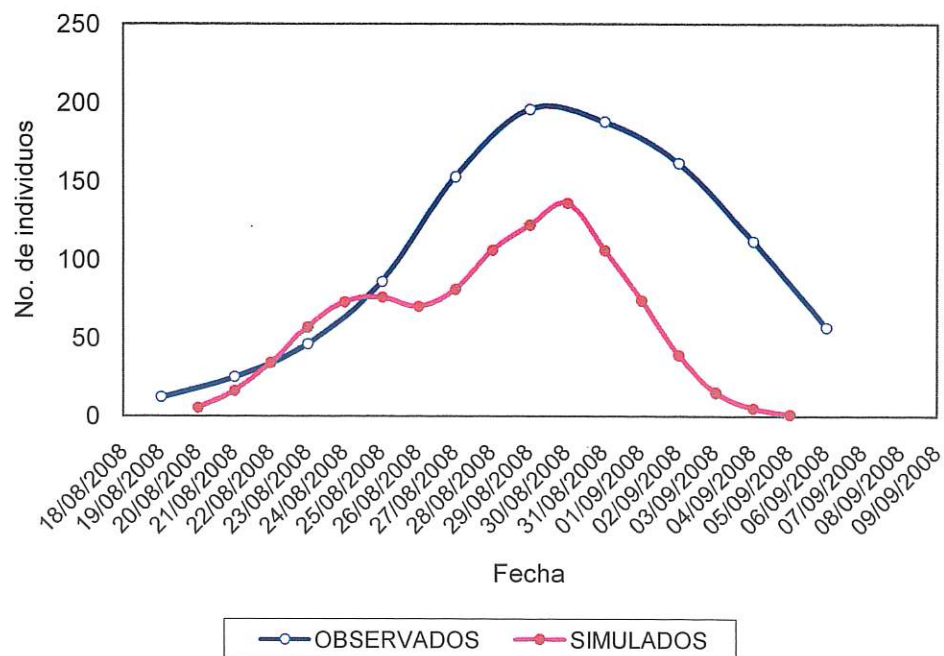


Figura 13. Dinámica poblacional de larvas grandes de *Epilachna varivestis* (datos 2008).

En lo que respecta a los datos de la dinámica poblacional de larvas grandes (Figura 13), se encontró que el comportamiento de ambas curvas tiene un patrón similar, representando de manera general el comportamiento poblacional hasta la fecha 25 de agosto; ya que la curva de datos simulados presento un descenso de la población para posteriormente seguir incrementando hasta el 30 de agosto, y a partir de esta fecha la población disminuyo, cosa que no ocurrió

con la curva de datos observados. En esta etapa la población estimada presento 1016 individuos, un 2% menor del total observado (1037).

En la Figura 14, correspondiente a la dinámica poblacional de pupas, se observa una disparidad en las diferentes curvas ilustradas; aunque se puede detectar que la población coincide en las mismas fechas de aparición y hasta el 2 de septiembre. Sin embargo, la población estimada, en este caso de 817 individuos, fue 0.6% mayor que la población observada, la cual fue de 812 individuos.

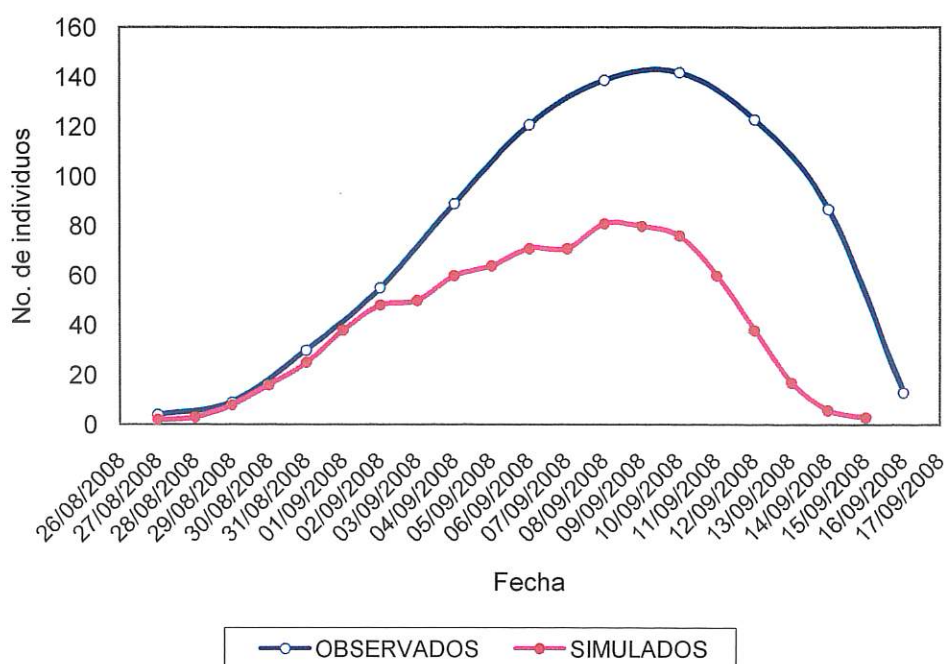


Figura 14. Dinámica poblacional de pupas de *Epilachna varivestis* (datos 2008).

Para la etapa final del desarrollo del insecto (Figura 15), se encontró igual que la etapa anterior, que hay una disparidad en las curvas obtenidas y aunque la población inicial de adultos coincidió en fecha, el comportamiento de las curvas no fue similar. Este comportamiento se debe en gran medida a las imprecisiones arrastradas por el modelo, aunque también a la falta de alimento proporcionada por el cultivo el cual había llegado a su fin, lo cual provocó la

pérdida de datos de campo en cuanto a la dinámica poblacional de adultos. La población estimada fue de 587 individuos, un 42.1% mayor que el número de individuos registrados en la parcela (413).

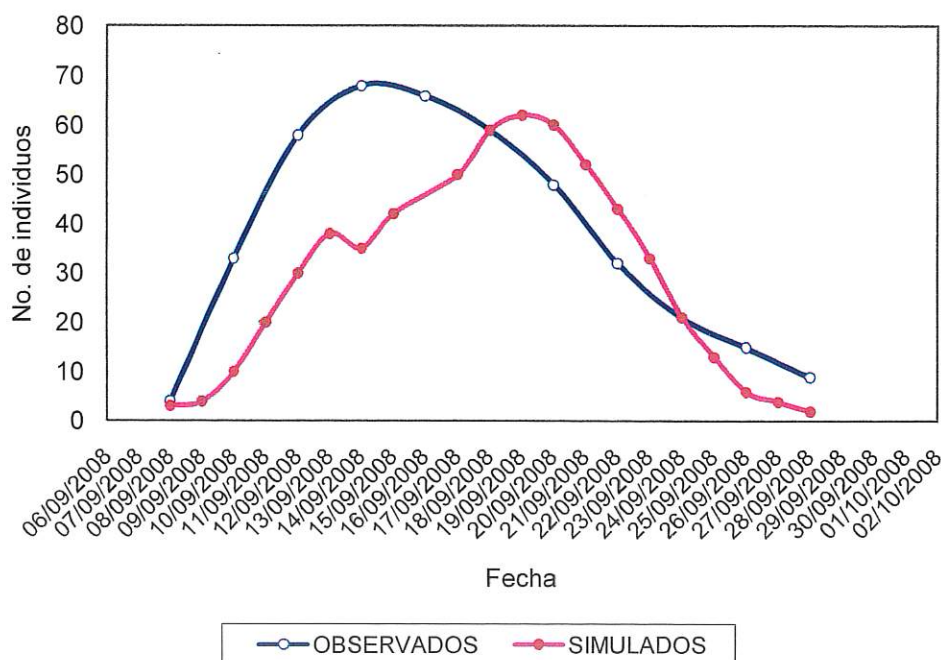


Figura 15. Dinámica poblacional de adultos de *Epilachna varivestis* (datos 2008).

El ciclo de muestreo, para el año 2008, se inicio con 1552 huevecillos cuantificados en campo (Cuadro III del Apéndice). En la diferentes visitas realizadas en la parcela, para seguir el ciclo del insecto, se detectaron dentro de las masas de huevecillos que algunos presentaban una apariencia de estar deshidratados y posteriormente se secaban, tornándose en una coloración café. Esto provocó una perdida de 117 individuos que no llegaron a eclosionar. 1435 individuos formaron parte del grupo de larvas pequeñas y tan solo 1178 pasaron a la siguiente etapa biológica de larvas medianas; perdiéndose en el desarrollo 257 individuos. Las larvas pequeñas se encuentran de forma gregaria en las hojas, que por lo general se localizan en la mitad inferior de la planta, y son mas propensas a caerse al realizarse las labores culturales en le cultivo,

aunque en algunos muestreos se encontraron larvas momificadas adheridas a las hojas, desconociéndose las causas que las originaron.

En el paso de larvas medianas a grandes hubo una pérdida de 141 individuos, muchas de estas larvas comenzaron a desplazarse a las plantas aledañas en busca de alimento, mezclándose con las larvas provenientes de otras masas no consideradas en el muestreo, lo cual impidió la cuantificación real de individuos para esta etapa biológica, quedando tan solo 1037 individuos dentro de este grupo. Durante el desarrollo de ésta etapa, el alimento empezó a escasear debido a la voracidad de las larvas, por lo cual no quedaban muchas hojas en las plantas que pudieran servir como refugio para las pupas; algunas larvas pasaron a la etapa de pupas en las malezas presentes en el cultivo; sin embargo al realizar el deshierbe estas fueron removidas (225 individuos), impidiendo así su contabilidad, quedando 812 pupas dentro de la observación y de éstas tan solo 413 individuos llegaron a la etapa adulta, perdiéndose cerca de la mitad (399 individuos) en el desarrollo de esta etapa biológica.

Es importante recordar que las predicciones de un modelo poblacional de insectos no solamente deben ser adecuadas en relación a la cantidad estimada de individuos de cada etapa biológica de la plaga, sino que también deben ser adecuados con respecto al tiempo de aparición de dichas poblaciones. Al respecto el modelo tuvo una buena predicción de los tiempos de desarrollo y aparición de las poblaciones de cada etapa biológica de la conchuela bajo condiciones de campo.

V. CONCLUSIONES

El modelo de la $\delta Ni / \delta t + \delta Ni / \delta \epsilon = - MiNi - DiNi + Ei$ estimó adecuadamente el desarrollo de las diferentes etapas biológicas de la conchuela del frijol (*Epilachna varivestis*).

Para el año 2007, se encontró que los valores de mortalidad que mejor se ajustaron al modelo fueron 0.092, 0.084, 0.012, 0.046 y 0.054 para huevos, larvas pequeñas, larvas medianas, larvas grandes y pupas, respectivamente.

Para el año 2008, se encontraron valores de mortalidad de 0.092, 0.168, 0.093, 0.183 y 0.216, para huevos, larvas pequeñas, larvas medianas, larvas grandes y pupas, respectivamente.

Las simulaciones del modelo de la dinámica poblacional, determinada para los primeros muestreos del año 2007, para larvas pequeñas, larvas medianas, larvas grandes, pupas y adultos presentaron diferencias del 6.1%, 0.5%, 0.4%, 2% y 5.3%, respectivamente, siendo mayores que las observadas en las etapas biológicas de larvas medianas, pupas y adultos.

Las simulaciones del modelo poblacional fue de 5.3% para larvas pequeñas; 1.8% para larvas medianas, siendo este dato mayor que el observado; 1.6% para larvas grandes, siendo este dato también mayor que el observado; 2.2% para pupas y 0.8% para adultos, en relación a las densidades poblacionales obtenidas en el segundo muestreo del año 2007.

Para los datos de la simulación del modelo poblacional, obtenidos de los datos de muestreo durante el año 2008, para larvas pequeñas, larvas medianas, larvas grandes, pupas y adultos tuvieron diferencias porcentuales de 1.6%, 2.1%, 2%, 0.6% y 42.1%, respectivamente; siendo mayores en las dos últimas etapas que las observadas.

En general las simulaciones del modelo poblacional tuvieron una buena predicción de los tiempos de desarrollo y aparición de las poblaciones de cada etapa biológica de la conchuela del frijol.

VI. LITERATURA CITADA

- Andrewartha, H. G. 1961. Introduction to the study of animal populations. Methuen. London, England. 281 p.
- Andrewartha, H. G. and L. C. Birch. 1954. The distribution and abundance of animals. University of Chicago Press. Chicago. U.S.A. 782 p.
- Anónimo. 1979. Modelos de simulación. *Monetaria* 2, No. 1: 93-112. *Academic Search Complete*, EBSCOhost.
- Anónimo. 1992. Guía fitosanitaria para el cultivo del frijol. Dirección General de Sanidad Vegetal. Sistema Producto Frijol. CIAM. México, D.F. pp. 2-22.
- 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.
- Arneson H., P. 1989. Principios para modelar sistemas en manejo integrado de plagas. Departamento de Parasitología Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 74 p.
- Bancroft T. A. and Brindley T. A. 1956. Methods for estimation on size of corn borer populations. *Proc. X International Congress Entomology*. 2:1003.
- Bernhardt, J. L. and M. Shepard. 1978. Validation of a physiological day equation: development of Mexican bean beetle on snap beans and soybeans. *Environmental Entomology*. 7:131-135.
- Berryman A., A. 1991. Good theories and premature models. *American Entomological Society*. 37:202-204.
- Berryman A., A., N. C. Stenseth and A. S. Isaev. 1987. Natural regulation of herbivorous forest insect populations. *Oecologia* 71:174-184.

- Byerly M., K. F. 1969. Invernación, evaluación de daño y combate químico de la conchuela del frijol (*Epilachna varivestis* Muls. Coleoptera: Coccinellidae). Tesis de Licenciatura. Parasitología Agrícola. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, México. 102 p.
- Byrne D. N., R. Rathman, T. Orum and J. Palumbo. 1996. Localized migration and dispersal by *Bemisia tabaco*. *Oecologia* 105:320-328.
- Caro M., P. 1990. Extractos acuosos vegetales al 10% para el control de la conchuela del frijol *Epilachna varivestis* Mulsant (Coleoptera: Coccinellidae) en Chapingo, México. Tesis de Maestría en Ciencias. Parasitología Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 70 p.
- Carrillo L. A. 1970. Proyecto de investigación sobre muestreo de insectos. Centro de Estadística y Cálculo. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo. México. 56 p.
- CIAT. 1985. Frijol: Investigación y Producción. Cali, Colombia. 417 p.
- 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.
- Ciriaco M., A. 2001. Principales plagas insectiles del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en México. Tesis de Licenciatura. Depto. Parasitología Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 118 p.
- Clark L. R., P. W Geier, R. D. Hughes, and R. F. Morris, 1967, The ecology of insect populations in theory and practice: London, Methuen, 232 p.
- Colunga G. M. 1989. Factores naturales de mortalidad de *Epilachna varivestis* en el cultivo de frijol. Tesis Maestría en Ciencias. Entomología. Colegio de Postgraduados. Montecillos, México. 60 p.

- Colunga G. V. y J. Vera G. 1990. Sobrevivencia y factores de mortalidad de *Epilachna varivestis* en frijol bajo condiciones naturales. Revista Chapingo 67-68:123-125.
- Crispin A., M., J. A. Sifuentes y J. Campos. 1976. Enfermedades y Plagas del frijol en México. Folleto de divulgación técnica No. 39. INIA-SAG. México. 46 p.
- Cruz R. I. 2008. Predicción del rendimiento de dos variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) mediante la simulación del daño por defoliación. Tesis Maestría en Ciencias en Protección Vegetal. Parasitología Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 63 p.
- Dennis B., W. P. Kemp and R. Beckwit. 1986. Stochastic model of insect phenology: estimation and testing. Environmental Entomology. 15:540-547.
- Domínguez R., R. J. L. Ayala O. R. B. Domínguez y H. Sánchez A. 1998. Plagas Agrícolas. Departamento de Parasitología Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 386 p.
- Domínguez S. E. 1991. Fertilidad de *Epilachna varivestis* Mulsant (Coleoptera:Coccinellidae) en tres variedades de frijol bajo condiciones naturales. Tesis de Licenciatura. Parasitología Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 50 p.
- Douglass J. R. 1933. Habits, life history and control of Mexican bean beetle in New Mexico. USDA Technical Bulletin No.376. pp:1-46.
- Eddy C. O. and Clarke W. H. 1929. The Mexican bean beetle 1927-1928. South Carolina. Agricultural Experiment Station. Bulletin 258. 42 p.
- Eddy C. O. and McAllister. 1927. The Mexican bean beetle. South Carolina. Agricultural Experiment Station. Bulletin. 236. 38 p.
- García E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. México, D. F. 217 p.

Harcourt, 1961. Distribution of the immature stages of the diamond blackmoth *Plutella maculipennis* (Curt) (Lepidoptera:Plutellidae) on cabbage. Canadian Entomology. 92:517-521.

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. Environmental Entomology. 15:999-1016.

Hochmuth R. C., R. V. Flanders and C. R. Edwards. 1987. Effect of the ectoparasite mite *Coccipolipus epilachnae* (Acari:Podapolidae) on feeding, fecundity and longevity of soybean fed adult Mexican bean beetles (Coleoptera:Coccinellidae) at different temperatures. Journal of Economic Entomology. 80:612-616.

Hoogenboom G., J. W. Jones and K. J. Boote. 1992. Modeling growth, development, and yield of grain legumes using SOYGRO, PNUTGRO, and BEANGRO: A review. Transactions of the ASAE 35(6):2043-2056.

Howard N. F. 1941. Feeding of the Mexican bean beetle larva. Annals of the Entomological Society of America. 34:766-769.

Howard N. F. and English L. L. 1924. Studies of the Mexican bean beetle in the southeast. U.S.D.A. Depart. Bulletin. 1243. 50 p.

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. Environmental Entomology. 14:674-677.

Kemp, W. P., B. Dennis and R. C. Beckwit. 1986. Stochastic phenology model for the western spruce budworm (Lepidoptera:Tortricidae). Environmental Entomology. 15:541-548.

Landis, B. J. and C. C. Plummer. 1935. The Mexican bean beetle in Mexico. Journal of Agricultural Research. 50:989-1001.

- Lotka A., J. 1931. The structure of a growing population. *Hum. Biol.* 3:459-493.
- Loxdale, H. D., J. Hardie, S. Halbert, R. Footitt, N. Kidd and C. Carter. 1993. The relative importance of short and long range movements of flying aphids. *Biological Reviews.* 68:291-311.
- Lyons L. A. 1964. The spatial distribution of two pine sawflies and methods of sampling for the study of populations dynamics. *Canadian Entomology.* 96:1373-1407.
- Marcovitch, S. and W. W. Stanley. 1930. The climatic limitations of the Mexican bean beetle. *Annals of the Entomological Society of America.* 23:666-686.
- Martínez B., C. 1992. Desarrollo y validación e un modelo de simulación en microcomputadora para la dinámica poblacional de huevecillos de *Epilachna varivestis* Mulsant en el cultivo de frijol en Chapingo, México. Tesis de Licenciatura. Parasitología Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 88 p.
- McAvoy, T. J. and J. C. Smith. 1979. Feeding and development rates of Mexican bean beetle on soybeans. *Journal of Economic Entomology.* 72:835-836.
- McLeod J. M. 1966. The spatial distribution of cocoons of *Neodiprion swaneii* Middleton in a jack pine stand. I. A cartographic analysis of cocoon distribution with special reference to predation by small mammals. *Canadian Entomology.* 98:430-447.
- Mellors, K. W.; A. Allegro and A. M. Wilson. 1984. Temperature-dependent simulation of the effects of detrimental high temperatures on the survival of Mexican bean beetle eggs (Coleoptera:Coccinellidae). *Environmental Entomology.* 18(1):86-94.

- Mellors, W. K. and F. E. Bassow. 1983. Temperature dependant development of Mexican bean beetle (Coleoptera:Coccinellidae) immatures on snap beans and soybean foliage. *Annals of the Entomological Society of America*. 76:692-698.
- Menke, W. W. 1973. A computer simulation model: the velvetbean caterpillar in the soybean agroecosystem. *Florida Entomological Society*. 56:92-102.
- Morris, R. F. 1960. Sampling insect populations. *Annual Review Entomology*. 5:243-264.
- Morris, R. F. 1959. Single factor analysis in population dynamics. *Ecology* 40:580-588.
- Moscardi, F., C. S. Barfield and G. E. Allen. 1981. Effects of temperature on adult velvetbean caterpillar oviposition, egg hatch, and longevity. *Annals of the Entomological Society of America*. 74:167-171.
- Muñoz N., D. 2009. Pronósticos bayesianos usando simulación estocástica. *Cuadernos de Difusión*, 14(26), 7-26. Academic Search Complete, EBSCOhost.
- 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. 1986. Predicción del desarrollo de la conchuela del frijol *Epilachna varivestis* Mulsant (Coleoptera:Coccinellidae) en función de la temperatura y relación fenológica cultivo-plaga. Tesis Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Nava C. U., J. Vera G. Y 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.
- Nicholson A., J. 1958. Dynamics of insect populations. *Annual Review Entomology*. 3:107-136.
- Nottingham, S. F. and J. Hardie. 1989. Migratory and targeted flight in seasonal forms of the black bean aphid, *Aphis fabae*. *Physiological Entomology*. 14:451-458.
- Odum E. P. 1969. *Ecología*. 2nd. Ed. Interamericana. México, D.F. 422 p.
- Pacheco M. F. 1954. Studies with new insecticides against the Mexican bean beetle. M. S. Thesis. University Massachusetts. Amherst, Massachusetts. U.S.A. 68 p.
- Pedgley, D. E. 1993. Managing migratory insect pests: A review. *International Journal of Pest Management*. 39:3-12.
- Pinto, V. M. 2000. Simulación de la dinámica poblacional de la conchuela del frijol, *Epilachna varivestis* Mulsant (Coleoptera:Coccinellidae), mediante un modelo fenológico de desarrollo acumulativo. Tesis Doctor en Ciencias. Entomología y Acarología. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, México. 112 p.
- Rabbinage, R. and C. T. De Witt. 1989. Systems models and simulation. In: R. Rabbinage, S. A. Ward and H. H. Van Laar, (eds.). *Simulation and Systems Management in Crop Protection* Wageningen. The Netherlands. pp. 3-15.
- Reyes C., H. 1991. Modelo base de simulación poblacional de la conchuela del frijol *Epilachna varivestis* Mulsant en Chapingo, México. Tesis de Licenciatura. Depto. Parasitología Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 52 p.

- Reyna R. R. 1969. Studies on the dispersión of insect populations. Ph.D. Thesis. Univ. of London. London, England. 91 p.
- Rojas B. A. 1964. La binomial negativa y la estimación de intensidad de plagas en el suelo. *Fitotecnia Latinoamericana*. 1:27-36.
- Royama, T. 1977. Population persistence and density dependence. *Ecological Monographs*. 47:1-35.
- Sánchez A., H. 1997. Mexican bean beetle, *Epilachna varivestis* Mulsant. University of Florida. Publication Number: ENNY-15. http://www.ifas.ufl.edu/~insect/veg/bean/mexican_bean_beetle.htm
- Sifuentes A., J. 1985. Selección de cultivares de plantas con resistencia a diferentes plagas en México. Folleto Técnico No 83. INIA-SARH. México. 30 p.
- Southwood T. R. E. 1968. Ecological methods with particular reference to the estudy of insect populations. Mathuen. London, England. 391 p.
- Stinner, R. E., A. P. Gutierrez and G. D. Butler Jr. 1974. An algorithm for temperatura-dependent growth rate simulation. *Canadian Entomology*. 106:519-524.
- Stinner, R. E., G. D. Butler, J. S. Batcheler and C Tuttle. 1975. Simulation of temperatura-dependent development in population dynamics models. *Canadian Entomology*. 107:1167-1174.
- Strickland A. H. 1961. Sampling crop pests and their hosts. *A. Rev. Ent.* 6:201-220.
- Sweetman H. L. and H. T. Fernald. 1930. Ecological studies of the Mexican Bean Beetle. Massachusetts Agricultural Experiment Station. Bulletin. 261. 32 p.

- Terrazas L., J. 1947. Contribución al estudio de la conchuela en México. Tesis de Licenciatura. Parasitología Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 61 p.
- Thompson W., R. 1930. The utility of mathematical methods in relation to work in biological control. *Annals of Applied Biology*. 17:641-648.
- Tonhasca, A., J. C. Palumbo and D. N. Byrne. 1994. Distribution patterns of *Bemisia tabaci* (Homoptera:Aleyrodidae) in cantaloupe fields in Arizona. *Environmental Entomology*. 23:949-954.
- Turchin, P. 1990. Rarity of density dependence or population regulation with lags? *Nature* 344:660-662.
- Varley, G. C. 1949. Population changes in German forest pest. *Journal of Animal Ecology*. 18:117-122.
- Volterra, V. 1931. Variations and fluctuations of the number of individuals in animal species living together. *In*: Chapman. R. N. *Animal Ecology*. McGraw-Hill. New York. pp. 409-448.
- Waters W. E. 1955. Sequential sampling in forest insect surveys. *Forest Science*. 1:68-79.
- Waters W. E. 1959. A quantitative measure of aggregation in insects. *Journal of Economic Entomology*. 52:1180-1184.
- White J. W., G. Hoogenboom, J. W. Jones and K. J. Boote. 1995. Evaluation of the dry bean model BEANGRO V1.01 for crop production research in a tropical environment. *Experimental Agriculture*. 31:241-254.
- Wilkerson, G. C., J. W. Mishoe and J. L. Stimac. 1986. Modeling velvet bean caterpillar (Lepidoptera: Noctuidae) populations in soybean. *Environmental Entomology*. 15:809-816.

Yerkes, W., M. A. Crispín y D. Barnes. 1959. Enfermedades y plagas del frijol en México. Folleto de Divulgación No. 29. INIA-SAG. México. 39 p.

VII. APENDICE

Cuadro I. Fechas, temperaturas promedio diarias, y valores de la dinámica poblacional de la conchuela del frijol *Epilachna varivestis* observados en campo durante el ciclo 2007.

Fecha	Temperatura Media (°C)	Huevos	Larvas Pequeñas	Larvas Medinas	Larvas Grandes	Pupas	Adultos
Jul - 16	20.0						
17	16.7						
18	18.6						
19	19.8	493					
20	18.2						
21	18.8						
22	17.2						
23	17.4	104	81				
24	17.9	597					
25	17.3		130				
26	18.4						
27	19.7		184				
28	19.9						
29	20.7		118				
30	19.9						
31	18.7		6				
Ago-01	20.3						
02	20.8		47				
03	19.1						
04	18.8		11				
05	20.2		577				
06	18.9			24			
07	18.5						
08	19.3	40		39			
09	19.0						
10	20.1			83			
11	17.1						
12	19.1			109	4		
13	19.8						
14	19.3	448	8	104	55		
15	19.8						
16	20.2		13	65	115		
17	20.8						
18	19.5		42	53	115		
19	18.4	61					
20	19.9	549	96	12	69	9	
21	19.7			489			
22	13.2		252		51	25	
23	17.2						
24	18.7		35		47	55	
25	17.8						
26	18.6		17	3	26	89	
27	18.3				482		
28	20.1		17	7		93	
29	18.5						
30	18.2		58	16		64	

Sep-01	16.8						
02	17.4		9	32		56	4
03	18.4		547				
04	18.9			88		37	26
05	18.8						
06	18.9			116		19	83
07	16.3					447	
08	18.5			67	9		99
09	17.9						
10	16.5			56	17		92
11	16.5						
12	16.6			31	25		42
13	18.3						
14	18.7			23	62		29
15	18.7			439			
16	18.5				79	5	11
17	18.3						
18	17.0				87	7	8
19	17.3						394
20	18.6				55	11	
21	18.9						
22	17.6				39	21	
23	18.1						
24	18.7				37	39	
25	18.4						
26	19.6				14	63	
27	17.6						
28	15.2				6	84	5
29	18.1				430		
30	19.1					89	7
Oct-01	17.7						
02	19.0					56	11
03	18.2						
04	18.5					18	13
05	18.3						
06	19.5					15	50
07	19.2						
08	18.7					9	62
09	15.8					417	
10	17.3						63
11	18.6						
12	18.2						59
13	18.8						
14	19.6						51
15	19.6						
16	18.8						29
17	20.2						
18	19.8						22
19	19.5						
20	16.3						10
21							382

Cuadro II. Datos de la simulación (*) de la dinámica poblacional de la conchuela del frijol *Epilachna varivestis* comparados con los datos observados (**) en campo durante el ciclo 2007.

Fecha	Larvas Pequeñas (*)	Larvas Pequeñas (**)	Larvas Medianas (*)	Larvas Medianas (**)	Larvas Grandes (*)	Larvas Grandes (**)	Pupas (*)	Pupas (**)	Adultos (*)	Adultos (**)
Jul - 16										
17										
18										
19										
20										
21										
22										
23				81						
24										
25				130						
26										
27	41	184								
28	320									
29	87	118								
30	1									
31	40	6								
Ago-01	52									
02	1	47								
03	542									
04		11								
05		577								
06										
07				24						
08										
09			2	39						
10			12							
11			43	83						
12			77							
13			107	109		4				
14			100							
15	1	8	63	104	1	55				
16	25	13	36	65	7					
			27		24	115				

24					5	37	37	39		
25					2		47			
26					1	14	57	63		
27					437		54			
28						6	41	84		5
29						430	34		1	
30							25	89	4	7
Oct-01							16		3	
02							10	56	7	11
03							9		10	
04							5	18	15	13
05							3		24	
06							2	15	35	50
07							408		45	
08								9	50	62
09								417	42	
10									39	63
11									36	
12									23	59
13									16	
14									11	51
15									8	
16									5	29
17									3	
18									2	22
19									379	
20										10
21										382

Cuadro III. Fechas, temperaturas promedio diarias, y valores de la dinámica poblacional de la conchuela del frijol *Epilachna varivestis* observados en campo durante el ciclo 2008.

Fecha	Temperatura Media (°C)	Huevos	Larvas Pequeñas	Larvas Medinas	Larvas Grandes	Pupas	Adultos
Jul - 24	20.4						
25	19.4	482					
26	16.5						
27	18.9						
28	19.7						
29	20.6						
30	19.5	713	92				
31	19.4						
Ago-01	19.6	357	151				
02	18.5	1552					
03	18.1		294				
04	19.9						
05	19.3		284				
06	18.6						
07	18.0		176				
08	18.1						
09	19.8		336				
10	21.0						
11	18.9		87	37			
12	19.0						
13	18.4		15	61			
14	20.0		1435				
15	20.4			94			
16	19.3						
17	20.0			184			
18	20.1						
19	20.2			50	12		
20	20.5						
21	19.8			132	25		
22	19.1						
23	19.5			198	46		
24	19.7						
25	20.8			183	86		
26	20.0						
27	19.6			123	153	4	
28	18.7						
29	17.9			74	196	9	
30	20.0						
31	18.4			42	188	30	
Sep-01	19.8			1178			
02	19.6				162	55	
03	18.1						
04	20.1				112	89	
05	18.4						
06	17.8				57	121	
07	15.7				1037		
08	19.2					139	4
09	18.4						
10	20.7					142	33
11	21.2						
12	21.6					123	58
13	20.2						

14	16.5					87	68
15	19.2						
16	16.9					13	66
17	18.1					812	
18	18.3						59
19	18.4						
20	18.3						48
21	17.3						
22	18.5						32
23	18.9						
24	18.6						21
25	16.1						
26	15.9						15
27	13.5						
28	13.7						9
29	15.1						413
30	16.2						
31	15.8						

25					98	183	76	86				
26					42		70					
27					12	123	81	153		2	4	
28					1		106			3		
29					1153	74	122	196		8	9	
30							136			16		
31						42	106	188		25	30	
Sep-01						1178	74			38		
02							39	162		48	55	
03							15			50		
04							5	112		60	89	
05							1			64		
06							1016	57		71	121	
07								1037		71		
08										81	139	3
09										80		4
10										76	142	10
11										60		20
12										38	123	30
13										17		38
14										6	87	35
15										3		42
16										817	13	0
17											812	50
18												59
19												62
20												60
21												52
22												43
23												33
24												21
25												13
26												6
27												4
28												2
29												587
												413