

Sistema de alerta contra el gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Insecta: Lepidoptera: Noctuidae)

Ricardo Yáñez López²
Antonio Vázquez Ortega²
José Honorato Arreguín Centeno²
Jesús Soria Ruíz¹
Juan Ángel Quijano Carranza^{1§}

¹Programa de Agroclimatología y Modelaje-Campo Experimental Bajío-INIFAP. Carretera Celaya-San Miguel de Allende km 6.5, Celaya, Guanajuato. CP. 38010. ²Ciencias en Producción Agroalimentaria-Instituto Tecnológico de Roque. Carretera Celaya-Juventino Rosas km 8, Celaya, Guanajuato. CP. 38110.

§Autor para correspondencia: quijano.juanangel@inifap.gob.mx.

Resumen

El manejo integrado de plagas se puede entender como un sistema de información que apoya a la toma de decisiones en cuanto al manejo fitosanitario de los cultivos. Este sistema se construye en torno al entendimiento de la dinámica poblacional del organismo plaga en su interacción con el hospedante y el ambiente. En México en el año 2003 se estableció el sistema de alerta fitosanitaria del estado de Guanajuato (SIAFEG), como un instrumento para evaluar el impacto de las principales plagas y enfermedades de algunos cultivos de importancia económica en el estado. En 2010 se iniciaron los estudios para construir el modelo del gusano cogollero, incorporándose al SIAFEG en 2011. Los elementos que se conjuntaron para integrar el sistema de alerta para *S. frugiperda* fueron: la información de la red de estaciones agrometeorológicas de INIFAP-COFUPRO en Guanajuato, un modelo de simulación dinámica del crecimiento y desarrollo del insecto y datos sobre la dinámica poblacional del insecto. El modelo estima la dinámica poblacional del gusano cogollero. Comparando las estimaciones del modelo con los datos del trapeo de adultos se encontró una relación significativa, lo cual indica que el modelo se puede usar de manera confiable. Aplicado a estudios de largo plazo (2 o más años), el modelo puede ser de gran utilidad para entender las causas de la variación en los niveles de población y de daño a los cultivos de un año a otro.

Palabras clave: *Spodoptera frugiperda*, dinámica poblacional, modelos de simulación.

Recibido: enero de 2019

Aceptado: marzo de 2019

Introducción

Dado que el concepto de manejo integrado de plagas (MIP) puede ser interpretado de diferentes maneras, es importante aclarar que en el presente trabajo se asume una definición amplia del término, en la cual el MIP se entiende como una estrategia que busca mantener las poblaciones de los organismos plaga por debajo del umbral económico de daño de un cultivo, planeando e implementando acciones o medidas que no pongan en riesgo a las personas, al ambiente o a otras especies. En este sentido amplio, el MIP se conceptualiza como un sistema de información que apoya la toma de decisiones en cuanto al manejo fitosanitario de los cultivos.

Este sistema de información se construye en torno al entendimiento de la dinámica poblacional del organismo plaga en su interacción con el hospedante y el ambiente, representado este último principalmente por las condiciones meteorológicas. Como en cualquier sistema de apoyo a la toma de decisiones, el uso de modelos matemáticos permite complementar a los datos provenientes del muestreo o trampeo del organismo plaga.

Este tipo de enfoque ha sido aplicado con éxito en apoyo al manejo fitosanitario de cultivos desde finales del siglo pasado, destacándose los desarrollos alcanzados en la Universidad de California Davis en el manejo fitosanitario de hortalizas y frutales y los obtenidos en el manejo del tizón tardío de la papa (Krause *et al.*, 1975). Estos ejemplos han servido de referencia para la aplicación del enfoque MIP como sistema de apoyo a la toma de decisiones prácticamente en todo el mundo.

En México, en 2003 se estableció el primer sistema de este tipo en el estado de Guanajuato; a través, de la colaboración de la autoridad federal y estatal en materia de sanidad vegetal con el Comité Estatal de Sanidad Vegetal del Estado de Guanajuato (CESAVEG) y el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) (Quijano y Rocha, 2011). Este sistema denominado Sistema de Alerta Fitosanitaria del Estado de Guanajuato (SIAFEG) actualmente es operado por el CESAVEG, en apoyo a la planeación, programación y operación de las campañas fitosanitarias en el estado de Guanajuato.

Originalmente se incluyeron en el SIAFEG solo tres problemas fitosanitarios que eran el gusano de raíz del maíz (*Diabrotica virgifera zea* K. y S.), la roya del frijol (*Uromyces phaseoli* Reben) y el chapulín de la milpa (*Sphenarium purpurascens* Charpentier). Después se fueron agregando otros problemas fitosanitarios de acuerdo con las prioridades estatales. En 2010 se iniciaron los estudios para construir el modelo del gusano cogollero, incorporándose al SIAFEG en 2011.

Los noctuidos (Lepidoptera: Noctuidae) posiblemente constituyan la familia más amplia de los macrolepidópteros con 20 000 especies. De estas, algunas son plagas de gran importancia económica al nivel mundial. Esta familia durante algunas décadas ha sido objeto de numerosos estudios relacionados con su biología, distribución, fenología, métodos de control, enemigos naturales, etc. El gusano cogollero *S. frugiperda* es una plaga de importancia económica y amplia distribución en el continente americano.

Considerando que la fenología de los insectos varía de acuerdo a la cantidad de calor en su ambiente, es posible pronosticar la tasa de desarrollo con cierta precisión mediante el uso de unidades calor expresadas como grados día, anticipando el momento de aparición en campo de algunos insectos en estado de desarrollo, sobre todo aquéllos susceptibles de ser controlados químicamente.

El objetivo de este trabajo fue diseñar un sistema de alerta, basado en información meteorológica, datos de trampeo y simulaciones de la dinámica poblacional del insecto que permita explicar las variaciones interanuales en la incidencia del gusano cogollero en Guanajuato.

Materiales y métodos

Estructura del sistema de alerta

Los elementos que se conjuntaron para integrar el sistema de alerta para *S. frugiperda* fueron: la información de la red de estaciones agrometeorológicas de INIFAP-COFUPRO en Guanajuato, un modelo de simulación dinámica del crecimiento y desarrollo del insecto y datos sobre la dinámica poblacional del insecto. Para la parametrización del ciclo de vida del insecto se utilizó la información generada por Ramírez *et al.* (1987) y que relaciona la respuesta fenológica de *S. frugiperda* con la temperatura. Los datos de fluctuación poblacional fueron obtenidos mediante trampas con feromonas de atracción sexual establecidas por el Comité Estatal de Sanidad Vegetal del Estado de Guanajuato (CESAVEG) en 2010 en diferentes localidades del estado de Guanajuato.

Este trampeo de adultos de *S. frugiperda* lo lleva a cabo de manera sistemática el CESAVEG desde 2008 con fines de apoyo al monitoreo y control de esta plaga. Estos datos se utilizaron para validar el modelo de simulación. A manera de verificación del desempeño del modelo bajo diferentes condiciones meteorológicas se utilizaron también datos de trampeo reportados por el INIFAP en Zacatecas en 2013.

La red agrometeorológica de INIFAP-COFUPRO, es operada por la Fundación Guanajuato Produce AC y cuenta actualmente con 55 estaciones distribuidas en las principales zonas agrícolas del estado. Esta red ofrece registros cada 15 min de 7 variables meteorológicas, entre las cuales la temperatura, precipitación, humedad relativa y dirección predominante del viento son las más utilizadas para alimentar el sistema de alerta. Para complementar los datos de trampeo y estimar la dinámica poblacional de *S. frugiperda* se construyó un modelo dinámico del crecimiento y desarrollo del insecto, el cual se alimenta con la información meteorológica.

Caracterización del ciclo de vida de *Spodoptera frugiperda*

El ciclo biológico de este insecto comprende los estadios de huevo, 6 o más instares larvales, prepupa, pupa y adulto (Casmuz *et al.*, 2010). En la Figura 1, se muestran las curvas de respuesta a la temperatura para los días de desarrollo (a) y los porcentajes de mortalidad (b) en los diferentes estadios de *S. frugiperda*, de acuerdo con los datos publicados por Ramírez *et al.* (1987), destacándose una clara evidencia mayor sensibilidad a la temperatura del estadio de pupa.

En el Cuadro 1 se presentan los valores de la temperatura umbral mínima y el requerimiento de unidades calor para cada estadio de este insecto. En ambos casos la información se obtuvo del estudio de Ramírez *et al.* (1987).

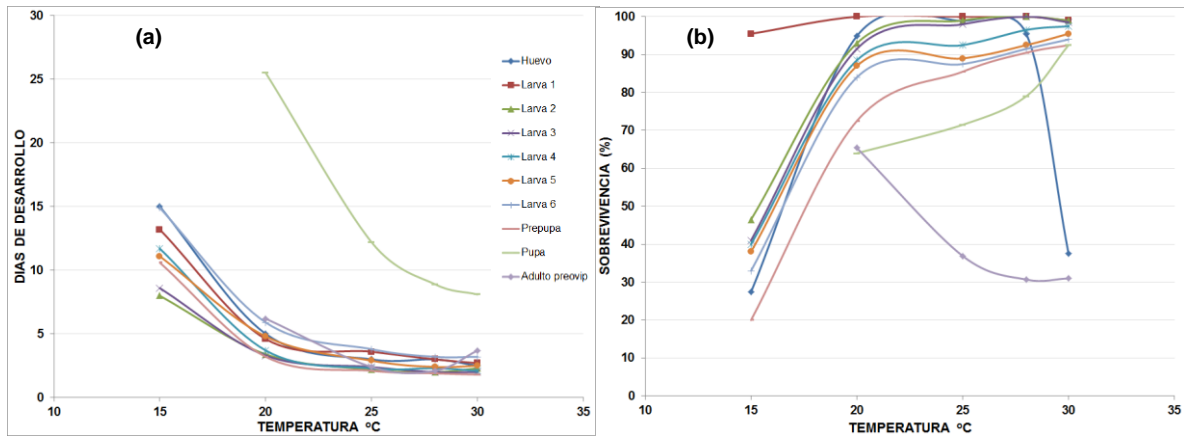


Figura 1. Curvas de respuesta a la temperatura para los días de desarrollo (a) y porcentajes de sobrevivencia (b) de *S. frugiperda* en función de la temperatura.

Cuadro 1. Temperatura umbral y unidades calor para cada estadio de *Spodoptera frugiperda*.

Estado biológico	Temperatura umbral	Unidades calor
Huevecillo	11.2	46.7
Larva	9.9	278.7
I	9.9	53.9
II	8	42.6
III	9.5	38.2
IV	10.4	38.6
V	10.5	44.8
VI	10.4	58.9
Prepupa	10.8	32.8
Pupa	15.4	116
Preoviposición	15.7	24.4
Huevo-preoviposición	10.9	559.1

La tasa de oviposición (a) y el período de oviposición; y (b) se estimaron en función de la temperatura, a partir de las funciones que se muestran en la Figura 2. Para la construcción de estas funciones se tomaron como base los valores reportados por Murua y Virla (2004).

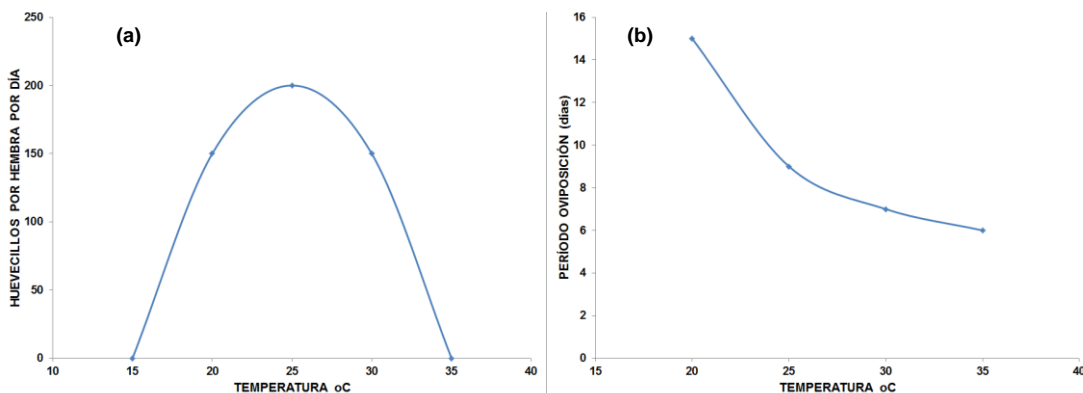


Figura 2. a) tasa de oviposición; b) período de oviposición de *S. frugiperda* en función de la temperatura.

Modelo fenológico de *S. frugiperda*

El algoritmo computacional del modelo se desarrolló en la plataforma Vensim, versión 5.9, el cual cuenta con una interface gráfica que permite escribir el código del programa a partir del diagrama de flujo del mismo. Las constantes (tasas de desarrollo, mortalidad, oviposición) del modelo se establecieron a partir de los datos de Ramírez *et al.* (1987) y los datos experimentales obtenidos mediante el trapeo de adultos. Los procesos incluidos en este modelo son:

- Apareamiento y reproducción, donde se tomaron en cuenta la prolificidad promedio de las hembras y la fracción de hembras fértiles en la población.
- Oviposición, proceso que se modeló en función de la temperatura y disponibilidad de hospedante.
- Eclosión y desarrollo de ninfas, procesos dependientes de la temperatura.
- Maduración y longevidad de los adultos, el cual depende de la temperatura.

En la Figura 3 se muestra el diagrama de flujo del modelo en el cual se incluyen los procesos descritos. La estructura principal del modelo la conforman 11 rectángulos o niveles, que representan la cantidad de individuos en cada estadio de desarrollo y 22 llaves o flujos, que regulan la cantidad de individuos que entran y salen de los niveles. Las variables meteorológicas, como temperatura y precipitación se alimentan externamente al modelo con periodicidad horaria o diaria según la disponibilidad, mientras que la radiación solar y la evapotranspiración potencial, las cuales se utilizan para determinar la disponibilidad de hospedante se estiman a través del modelo.

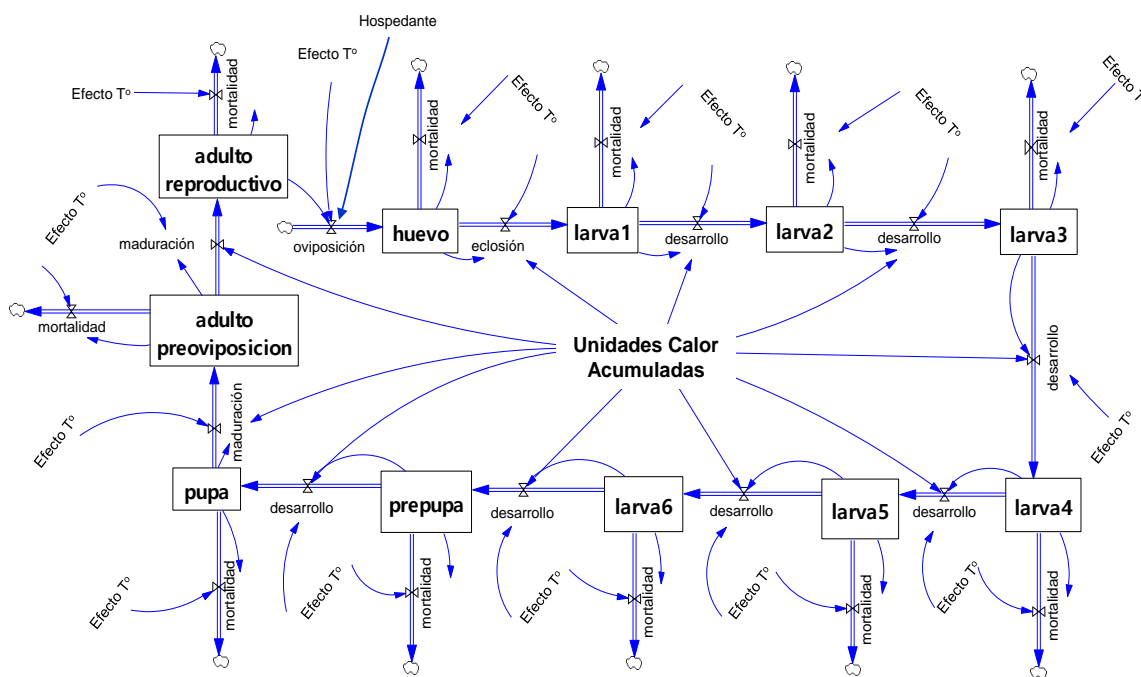


Figura 3. Diagrama de flujo del módulo de ciclo de vida de *S. frugiperda*.

El modelo puede configurarse para simular varios meses, un año o un período de varios años. En cada simulación es necesario especificar la etapa del ciclo de vida del insecto en que se inicia, especificando las unidades calor (UC) acumuladas. Cada vez que se completa una generación, el modelo reinicia el cálculo de las unidades calor para el inicio de una nueva generación.

El modelo procesa los datos de temperatura diaria para calcular las unidades calor por día (UC). Al inicio de la simulación solo se tiene presencia de individuos en estado de pupa y adulto pre-oviposición. La temperatura media y la presencia de hospedantes determinan el momento de inicio de la oviposición y por tanto del inicio de la primera generación. A partir de este momento el modelo inicia el cálculo del número de individuos y su tasa de desarrollo en función de las UC acumuladas. La aparición sucesiva de generaciones requiere que en el proceso de oviposición haya disponibilidad de hospedero, la cual se estima a partir de un balance de humedad que involucra a la precipitación y la evapotranspiración potencial. Al término de cada nueva generación se calcula nuevamente la tasa de oviposición y el inicio de la siguiente generación.

Variaciones interanuales en la dinámica poblacional de *S. frugiperda*

Los daños ocasionados por *S. frugiperda* en cultivos como el maíz y el sorgo por lo general varían de un año a otro, dificultando la planeación y aplicación oportuna de medidas preventivas. Dentro del enfoque MIP diversos autores han intentado desarrollar algoritmos o modelos para predecir la fluctuación poblacional de este organismo (Martínez-Jaime *et al.*, 2011) generaron un modelo estacionario autoregresivo a partir de una serie de tiempo de datos de capturas de adultos, el cual al no considerar ninguna variable meteorológica es aplicable básicamente al sitio en el cual se generaron los datos. Por su parte, Valdez-Torres *et al.* (2012) desarrollaron un modelo fenológico de la tasa de desarrollo en función de la temperatura para lo cual ajustaron polinomios de segundo grado.

En particular, la tasa de desarrollo de cultivos, plagas y enfermedades, en función de la temperatura ambiental permite calcular sus temperaturas umbrales máximas y mínimas y sus temperaturas óptimas de desarrollo (Zalom *et al.*, 1983). Con esta información es posible construir modelos matemáticos del desarrollo fenológico para cultivos, plagas y enfermedades en función de sus requerimientos térmicos (Damos y SavopoulouSoulani, 2012), los cuales permiten pronosticar eventos desfavorables para el cultivo, a través del monitoreo de variables meteorológicas como temperatura, radiación y humedad relativa (Agrawal y Metha, 2007).

Al no incluir de manera explícita el tiempo este enfoque se queda en el nivel descriptivo y su aplicabilidad se limita también a los sitios experimentales. El enfoque aplicado en el estudio consiste en una serie de ecuaciones diferenciales, en las cuales el tiempo es una componente explícita y se incluyen variables que son decisivas en el comportamiento del sistema como son las meteorológicas. El sistema se resuelve mediante métodos numéricos lo cual facilita el incluir tantas variables como sea necesario y le confiere al modelo la capacidad de representar el comportamiento del sistema bajo diferentes ambientes (Peart y Curry, 1988; Thornley y France, 2007).

El modelo desarrollado en este estudio se utilizó para tratar de entender las variaciones interanuales en la dinámica poblacional de *S. frugiperda*, tomando como referencia al estado de Guanajuato en el período 2012 a 2014. Después de realizar algunas simulaciones preliminares se determinó que este insecto regularmente se mantiene como pupa durante la temporada invernal, lo cual coincide

con el señalamiento de Martínez-Jaime *et al.* (2011) de que este insecto probablemente pasa el invierno como pupa en el suelo, emergiendo en el mes de febrero cuando ya hay maíz dulce disponible para su alimentación. Por lo tanto, los escenarios que se presentan en este estudio parten de la asunción de que existen poblaciones del insecto en la región en estadio de pupa y también arriban a la misma adultos en fase de preoviposición (EPPO, 1997).

Resultados y discusión

En la Figura 4 se muestra la comparación entre los datos simulados (línea) y observados (puntos), para el estadio de adulto reproductivo en las localidades de Abasolo (a) y Apaseo el Alto (b) en el estado de Guanajuato en 2010.

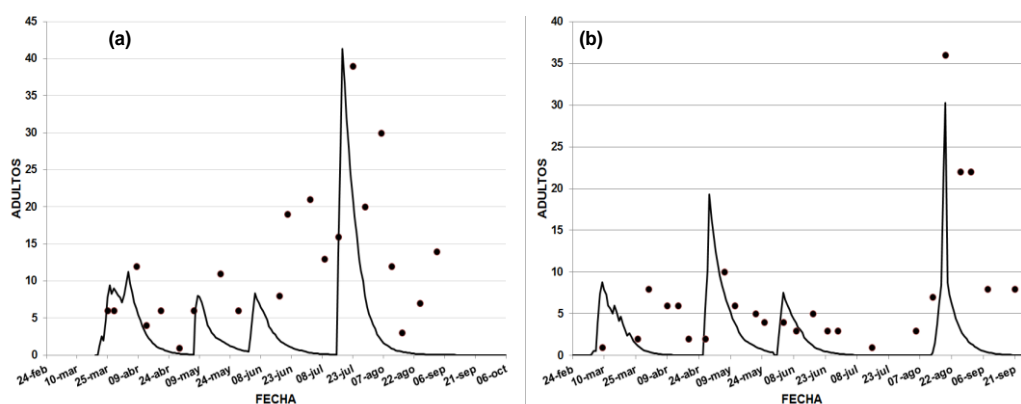


Figura 4. Dinámica poblacional simulada y observada de Adultos de *S. frugiperda* en las localidades de Abasolo (a) y Apaseo el Alto (b), Guanajuato 2010.

En el caso de la localidad de Abasolo el inicio de la actividad del insecto se presentó a finales del mes de marzo, además se muestran varios picos que indican la diversidad de condiciones que determinan la presencia del adulto principalmente a finales de julio y principios de agosto. En el caso de la localidad de Apaseo el Alto el inicio de la actividad se presentó a mediados del mes de marzo y la mayor presencia fue a mediados de agosto y principios de septiembre. En ambos casos se puede observar que el modelo genera un comportamiento similar al de los trampeos de adultos realizados por el CESAVEG. Con base en esta validación del modelo, se diseñó un boletín sobre la dinámica poblacional de este insecto, el cual se publica semanalmente en la página del SIAFEG desde 2011.

En la estimación que sirve de base a este boletín se incluye la fecha de capturas de adultos a partir de las cuales se calcula la oviposición y el desarrollo de los instares larvarios de *S. frugiperda*. Esta información se utiliza como base para la recomendación de aplicaciones preventivas en el manejo integrado de este organismo. En la Figura 5 se muestra un ejemplo de este boletín para la localidad de San Lorenzo en Acámbaro, Guanajuato (www.siafeg.org.mx).

Con el fin de ampliar los datos de validación de este modelo, en 2013 se evaluó su desempeño bajo las condiciones de otros estados. En la Figura 6a se presenta la comparación entre los resultados de la simulación con el modelo y los datos de trampeo de adultos registrados por el INIFAP en el estado de Zacatecas en la localidad de Calera de Víctor Rosales en 2013. Estos datos se tomaron del sitio de alerta fitosanitaria de Zacatecas (www.zacatecas.inifap.gob.mx/plaga/).

Al igual que en el caso de Guanajuato se puede apreciar que existe concordancia entre los datos de trapeo y los datos estimados con el modelo, ubicándose el inicio de actividad a principios del mes de abril, con un pico poblacional a finales del mes de junio. Mediante el análisis de regresión se realizó una prueba de ajuste entre los datos estimados y observados, encontrándose una relación significativa entre ambas series con un coeficiente de determinación de 0.74 para la línea 1:1 (Figura 6b).

ACAMBARO ▼ El Español ▼

En cada fila se estima el ciclo de desarrollo de gusano cogollero a partir de la fecha de captura de adulto. Para identificar los estadios que posiblemente estén presentes en tu parcela es importante que ubiques dentro de estas filas la fecha actual.

Los datos meteorológicos empleados para el análisis se obtuvieron de la siguiente estación meteorológica debido a que es la más cercana a su área de cultivo.

Estación meteorológica San Lorenzo

Gusano Cogollero									
Fecha de Captura	Huevecillo	Larva 1	Larva 2	Larva 3	Larva 4	Larva 5	Larva 6	Pupa	Adulto
3 Septiembre	7 Septiembre - 12 Septiembre	17 Septiembre - 20 Septiembre	22 Septiembre - 25 Septiembre	28 Septiembre - 1 Octubre	5 Octubre - 8 Octubre	8 Octubre - 13 Octubre	18 Octubre - 23 Octubre	12 Noviembre - 23 Noviembre	1 Diciembre - 7 Diciembre
27 Agosto	31 Agosto - 5 Septiembre	9 Septiembre - 12 Septiembre	14 Septiembre - 17 Septiembre	19 Septiembre - 22 Septiembre	25 Septiembre - 28 Septiembre	1 Octubre - 6 Octubre	8 Octubre - 13 Octubre	29 Octubre - 9 Noviembre	18 Noviembre - 24 Noviembre
20 Agosto	25 Agosto - 30 Agosto	3 Septiembre - 6 Septiembre	8 Septiembre - 11 Septiembre	13 Septiembre - 16 Septiembre	18 Septiembre - 21 Septiembre	22 Septiembre - 27 Septiembre	2 Octubre - 7 Octubre	20 Octubre - 31 Octubre	6 Noviembre - 12 Noviembre
13 Agosto	17 Agosto - 22 Agosto	26 Agosto - 29 Agosto	31 Agosto - 3 Septiembre	5 Septiembre - 8 Septiembre	10 Septiembre - 13 Septiembre	14 Septiembre - 19 Septiembre	22 Septiembre - 27 Septiembre	8 Octubre - 19 Octubre	25 Octubre - 31 Octubre
6 Agosto	10 Agosto - 15 Agosto	19 Agosto - 22 Agosto	24 Agosto - 27 Agosto	29 Agosto - 1 Septiembre	3 Septiembre - 6 Septiembre	6 Septiembre - 11 Septiembre	15 Septiembre - 20 Septiembre	1 Octubre - 12 Octubre	15 Octubre - 21 Octubre

Figura 5. Boletín semanal de gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*). SIAFEG. 2014.

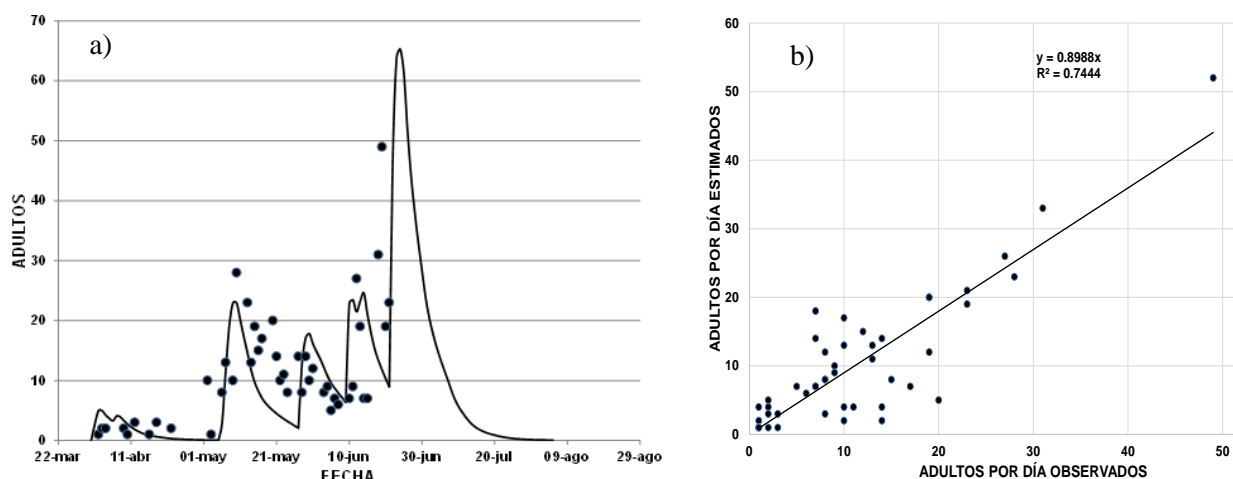


Figura 6. a) Dinámica poblacional simulada y observada de adultos de *S. frugiperda* en la localidad de Calera de VR, Zacatecas en 2013; b) prueba de ajuste de los datos a una línea 1:1.

Estos resultados indican que el modelo puede utilizarse con confiabilidad para apoyar el manejo de este organismo en diferentes ambientes. Como ejemplo de una estimación de largo plazo para tratar de entender la variación interanual en el comportamiento de este organismo en la Figura 7 se observan los resultados de la simulación con el modelo para los estadios de pupa, adulto, huevo y larva 4 en la localidad de Celaya, Guanajuato en el periodo de 2012 a 2014.

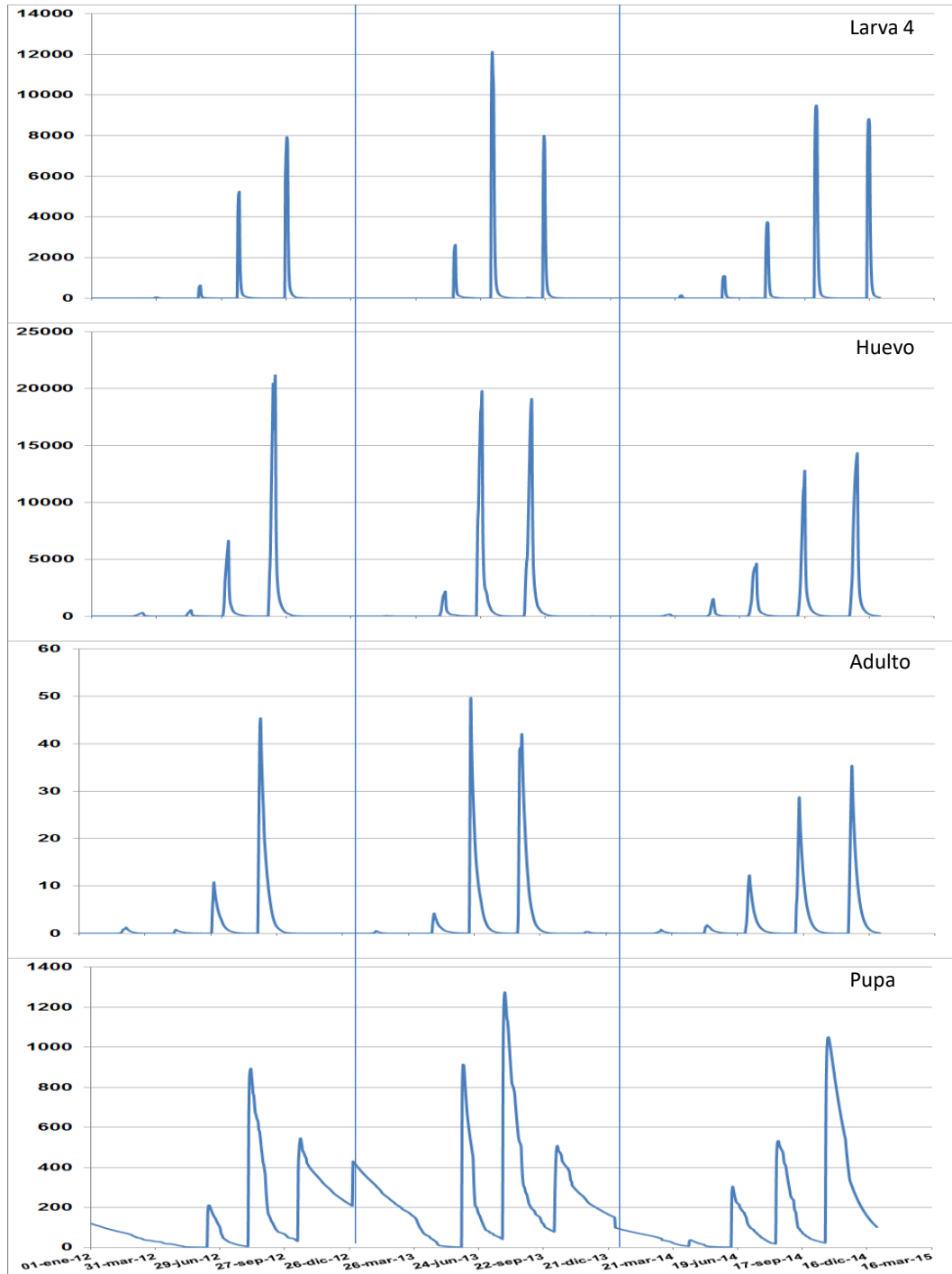


Figura 7. Dinámica poblacional (número de individuos) simulada de *S. frugiperda* en el período 2012-2014 en Celaya, Guanajuato.

El modelo de simulación se corrió con 150 pupas iniciales a partir de las cuales se generó la dinámica poblacional que representa el comportamiento de las diferentes etapas del gusano cogollero durante los tres años de su análisis. Dadas las condiciones favorables de temperatura a finales de 2012 los individuos en etapa de pupa se mantuvieron con un nivel de población alto en el invierno, lo cual favoreció que en 2013 la población del insecto se incrementara desde el mes de mayo. Esto coincide con los reportes de daños severos causados por esta plaga en los cultivos de maíz y sorgo en esos meses.

Coincidiendo con (Andrews, 1988; Willink *et al.*, 1993; Artigas., 1994; Virla *et al.*, 1999; Clavijo y Pérez Greiner, 2000; Pogue, 2002), que mencionan las pérdidas causadas por *S. frugiperda* se deben a su poder de adaptación a diferentes condiciones lo cual ha permitido que su distribución geográfica sea amplia y duradera.

A finales de 2013 las condiciones de temperatura determinaron que la población de pupas disminuyera considerablemente con respecto al invierno anterior. Esta condición determinó que en 2014 nuevamente los niveles altos de población se trasladaran hacia los meses de septiembre y octubre. De no presentarse condiciones extremas de frío en los meses remanentes de este año se podría esperar una población alta de pupa, lo cual determinaría altas poblaciones tempranas de este insecto en 2015. En regiones tropicales y subtropicales los daños regularmente son superiores a 60% (Andrews, 1988; Willink *et al.*, 1993).

Conclusiones

De los resultados anteriores se puede concluir que los modelos ecológicos son una herramienta analítica de utilidad para entender las variaciones interanuales en el comportamiento de los organismos plaga, ya que éste tipo de modelos permiten incluir las variables que influyen mayormente en el desarrollo de los organismos plaga.

Las capacidades de este tipo de modelos se pueden potenciar planteando hipótesis sobre aquéllos componentes del ciclo de vida del insecto que son de difícil medición o verificación. En el caso de *S. frugiperda*, este estudio permite apoyar la hipótesis de que la población inicial del insecto en cada ciclo estará probablemente compuesta por una cantidad (x) de pupas que completaran lentamente su desarrollo en el suelo, además de una cantidad (y) de adultos en fase de preoviposición que proceden de otras regiones. Esta población compuesta iniciará su ciclo de reproducción en cuanto existan las condiciones apropiadas de temperatura y disponibilidad de hospedante. Los niveles poblacionales de estos estadios al final de cada ciclo determinarán el potencial de crecimiento de las poblaciones de gusano cogollero en el ciclo subsecuente.

En todos los casos, la capacidad predictiva de los estudios basados en los modelos de simulación se incrementará ampliando el período de observación-simulación de manera que las condiciones que determinan altas poblaciones y probablemente daños severos en etapas tempranas a los cultivos se analicen no solamente en el ciclo actual, sino a través de varios ciclos. Por otra parte, las estimaciones obtenidas mediante la simulación constituyen una excelente referencia para decidir qué estadios verificar mediante el monitoreo físico y en qué momento hacerlo para alertar oportunamente sobre incrementos significativos en la población de la plaga.

Literatura citada

- Agrawal, R. and Metha, S. C. 2007. Weather based forecasting of crop yields, pests and diseases-IASRI models. *J. Ind. Soc. Agric. Stati.* 61(2):255-263.
- Andrews, K. L. 1988. Latin America research on *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Florida Entomol.* 71(4):630-653.
- Artigas, J. N. 1994. Entomología económica. Insectos de interés agrícola, forestal, médico y veterinario (nativos, introducidos y susceptibles de ser introducidos). Ediciones Universidad de Concepción, Concepción. Vol. 2.
- Ayala, R. O.; Navarro, F. and Virla, E. G. 2011. Evaluation of the attack rates and level of damages by the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae), affecting corn-crops in the northeast of Argentina. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo.* 12 p.
- CABI-EPPO. 1997. Data Sheets on quarantine pests. *Spodoptera frugiperda*. 5 p.
- Casmuz, A.; Juárez, M. L.; Socías, M. G.; Murúa, M. G.; Prieto, S.; Medina, S.; Willink, E. y Gastaminza G. 2010. Revisión de hospederos del gusano cogollero del maíz, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Rev. Soc. Entomol. Argent.* 69(3-4):209-231.
- Clavijo, S. y Pérez, G. 2000. Protección y Sanidad Vegetal (Capítulo 6). *In: Fontana, N. H. y González, N. C. (Eds.). Insectos plagas del maíz (Sección 2). Fundación Polar. Caracas, Venezuela.* 345-361.
- Damos, P. and Savopoulou, M. S. 2012. Temperature-driven models for insect development and vital thermal requirements: Psyche. doi:10.1155/2012/123405.
- Krause, R. A.; Massie, L. B. and Hyre, R. A. 1975. Blitecast: a computerized forecast of potato late blight. *Plant Disease Reporter* 59:95-98.
- Martínez, J. O. A.; Salas, A. M. D.; Bucio, V. C. M. y Salazar, S. E. 2011. Modelo de predicción de la densidad poblacional de adultos de *Spodoptera frugiperda* (Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae). *Entomotropica.* 26(2):79-87.
- Murúa, G. y Virla, E. 2004. Population parameters of *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lep.: Noctuidae) fe don corn and two predominant grasses in tucuman (Argentina). *Acta Zoológica Mexicana.* 20(1):199-210.
- Peart, R. M. and Curry, R. B. 1998. Agricultural systems modeling and simulation. Marcel, D. Inc. New York.
- Pogue, M. G. 2002. A world revision of the genus *Spodoptera* Guenée (Lepidoptera: Noctuidae). *Memoirs Am. Entomol. Soc.* 43:1-202.
- Quijano, C. J. A. y Rocha, R. R. 2011. Sistema de alerta fitosanitaria del estado de Guanajuato. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Campo Experimental Bajío. Celaya, Guanajuato México. Folleto técnico núm. 10.
- Ramírez, G. L.; Bravo, M. H. y Llanderal, C. C. 1987. Desarrollo de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) bajo diferentes condiciones de temperatura y humedad. Centro de Entomología y Acarología, Colegio de Postgraduados, Chapingo, Estado de México. 161-171 pp.
- Thornley, J. H. M. and France, J. 2007. Mathematical models in agriculture. Quantitative methods for the plant, animal and ecological sciences. 2nd. (Ed.). Chapters 1, and 2. UK. CABI Publishing.

- Valdez, T. J.; Soto-Landeros, B. F.; Osuna-Enciso, T. y Báez-Sañudo, M. A. 2012. Modelos de predicción fenológica para maíz blanco (*Zea mays* L.) y gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda* J.E. Smith). *Agrociencia*. 46:399-410.
- Virla, E. A; Álvarez, F.; Loto, L. M.; Pera and M. Baigorí. 2008. Fall armyworm strains (Lepidoptera: Noctuidae) in Argentina, their associate host plants and response to different mortality factors in laboratory. *Fla. Entomol.* 91(1):63-69.
- Willink, E.; Osores, V. M. y Costilla, M. A. 1993. Daños, pérdidas y niveles de daño económico por *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) en maíz. *Rev. Ind. y Agric. de Tucumán*. 70(1-2):49-52.
- Zalom, F.; Goodell, P.; Wilson, L.; Barnett, W. and Bentley, W. 1983. Degree-days: the calculation and use of heat unit in pest management. Division of Agricultural and Natural Resources, University of California, Davis, CA, USA. 10 p.