

Modelo de predicción de la densidad poblacional de adultos de *Spodoptera frugiperda* (Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae).

Martínez-Jaime Oscar Alejandro, Salas-Araiza Manuel Darío, Bucio-Villalobos Carlos Manuel y Salazar-Solís Eduardo.

*Departamento de Agronomía, División Ciencias de la Vida, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato. Ex-Hacienda "El Copal", Km. 9; carretera Irapuato-Silao; C.P. 36500; Irapuato, Guanajuato, México. Teléfono y Fax 01 462 624 18 89. oscarja@ugto.mx, salasm@ugto.mx, buciovillalobos@yahoo.com.mx y salazare@ugto.mx.

Resumen.

MARTÍNEZ-JAIME OA, SALAS-ARAIZA MD, BUCIO-VILLALOBOS CM, SALAZAR-SOLÍS E. 2011. Modelo de predicción de la densidad poblacional de adultos de *Spodoptera frugiperda* (Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae). ENTOMOTROPICA 26(2): 79-87.

El propósito de este estudio fue determinar un modelo de predicción de la densidad poblacional de adultos de *Spodoptera frugiperda* (Smith, 1797) en Irapuato, Guanajuato, México. Se aplicó el método de Box y Jenkins a la serie temporal obtenida con los registros mensuales de nueve años de capturas en trampas con lámpara de luz negra. En el proceso de identificación del modelo, el mejor ajuste se obtuvo con la transformación logarítmica de las observaciones registradas. La serie observada se aproximó con un modelo estacionario autorregresivo de orden 1, y se confirmó su capacidad de predicción al compararse con los datos reales del décimo año de captura, logrando pronosticar el último año, con diferencias numéricas no mayores al 21.5 % en promedio.

Palabras clave adicionales: Gusano cogollero, series de tiempo, modelo autorregresivo, predicción de plagas.

Abstract.

MARTÍNEZ-JAIME OA, SALAS-ARAIZA MD, BUCIO-VILLALOBOS CM, SALAZAR-SOLÍS E. 2011. Prediction model for adult population density of *Spodoptera frugiperda* (Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae). ENTOMOTROPICA 26(2): 79-87.

The purpose of this study was to determine a prediction model of the population density of adult *Spodoptera frugiperda* (Smith, 1797) in Irapuato, Guanajuato, Mexico. The Box and Jenkins method was applied to the time series obtained from the monthly records of nine years of catches in traps with black light. In the process for identifying the model, the best fit was obtained with the logarithmic transformation of the recorded observations. The observed series was fitted to a stationary autoregressive model of order 1, and its predictive capability was confirmed when it was compared with the real data of the tenth year, achieving to forecast the last year with numerical differences no greater than 21.5 % on average.

Additional key words: Fall armyworm, time series, autoregressive model, pest prediction.

Introducción.

En el 2009 en el estado de Guanajuato, México, se sembraron aproximadamente 383 253,88 ha de maíz, de las cuales se cosecharon 179 741,25

ha con un rendimiento medio de 4,7 t/ha (Anuario Estadístico de la Producción Agrícola 2009).

Una de las plagas de mayor importancia económica en varios cultivos del estado de Guanajuato es el gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* (Smith 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) (Lopez-Edwards et al. 1999). Esta plaga se encuentra ampliamente distribuida en el Nuevo Mundo, donde ataca al maíz en regiones tropicales y subtropicales (Murúa y Virla 2004), tiene hábitos migratorios y polífagos (Meagher y Nagoshi 2010), y puede ocasionar severos daños a los cultivos de maíz y sorgo afectando el punto de crecimiento (Salas-Araiza et al. 2002). Su ciclo biológico es de 24 a 40 días, con una duración de tres a cinco días como huevo, la etapa larvaria es de 14 a 22 días, la pupa requiere 7 a 13 días y el estado adulto 10 a 12 días (Bayer CropScience México 2007). Las larvas ocasionan pérdidas en la producción que van del 10 al 100 %, sobre todo si la planta es atacada cuando tiene entre 40 y 60 centímetros de altura (Banda et al. 1981). Durante el día los adultos permanecen entre la hojarasca, la maleza o en sitios sombreados y se vuelven activos durante la noche, son atraídos por la luz y se pueden desplazar a varios kilómetros de distancia (Ángulo 2000). Dada la importancia económica de *S. frugiperda*, es necesario realizar un control integrado de la misma, el cual puede ser aún más eficiente, si se realizan estudios que permitan conocer e incluso pronosticar la dinámica poblacional no solamente de sus larvas, sino también de los adultos.

Los modelos ecológicos son una herramienta importante para describir la dinámica de las poblaciones, las interacciones tróficas y la ecología del comportamiento (Hilker y Westerhoff 2007). Sin embargo, un modelo ecológico que refleje las variaciones poblacionales, no se mostrará claramente sin instrumentos analíticos, como los modelos de predicción. Estos juegan un papel importante en describir la demografía de la dinámica poblacional, pueden mostrar la persistencia de la población en las interacciones tróficas, incluyendo depredador-

presa o huésped-parásito, las cuales se presentan a menudo en los programas de manejo integrado de plagas. La mejor aproximación a los sistemas ecológicos es la simplificación matemática. Un modelo matemático es en esencia un prototipo del sistema, que gracias a lo simple de su estructura, facilita su utilización práctica e interpretación (Lima et al. 2009).

Como consecuencia del número y complejidad de las variables que intervienen en la modelación matemática del comportamiento de la densidad poblacional de una determinada plaga a través de varias generaciones de la misma, se ha recurrido a la utilización de modelos estocásticos relativamente simples, conocidos como series temporales, los cuales permiten no solamente estimar la tendencia de la densidad poblacional de un insecto a través del tiempo, sino también ayudan a realizar predicciones con facilidad y rapidez. Este tipo de modelación originalmente fue propuesta por Box y Jenkins (1976). Específicamente se trata de modelos univariados que utilizan procesos autorregresivos en los que la consideración exclusiva de los valores pasados de una variable, para explicar su evolución en el futuro, representa la ventaja de no necesitar más variables que compliquen su estimación. Sin embargo, la confiabilidad en el pronóstico requiere ser validada para confirmar la capacidad de predicción del modelo estimado.

Se han realizado algunos trabajos que han empleado la metodología de Box y Jenkins buscando modelar dinámicas poblacionales con fines de predicción en algunas especies de insectos, tal es el caso de Pinto et al. (1990), quienes estudiaron el comportamiento de dos poblaciones de *Zabrotes subfasciatus* (Boheman, 1833) (Coleoptera: Bruchidae) las cuales fueron criadas bajo condiciones de laboratorio. Ellos realizaron registros periódicos cada cinco días durante 18 meses, y consiguieron representar y predecir el comportamiento de ambas densidades, a través de dos modelos autorregresivos de tipo estacionario. Asimismo,

William y Liebhold (1995) utilizaron información de 1938 a 1992, y obtuvieron dos modelos autorregresivos de procesos móviles de primer y segundo orden, para explicar la sincronía en la emergencia casi simultánea de la especie *Lymantria dispar* (Linnaeus, 1758) (Lepidoptera: Lymantriidae), en cuatro estados con patrones de clima parecidos, en los Estados Unidos de América. Por su parte, Hernández et al. (2009), estimaron de manera eficiente dos fluctuaciones poblacionales de larvas del minador de la hoja del crisantemo *Liriomyza huidobrensis* (Blanchard, 1926) (Diptera: Agromyzidae), correspondientes a dos ciclos de cultivo, obtuvieron una representación adecuada y una predicción satisfactoria mediante dos modelos autorregresivos de tipo estacionario de orden 1.

Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue obtener un modelo para pronosticar la densidad poblacional de adultos de *Spodoptera frugiperda* en Irapuato, Guanajuato, México, mediante una serie temporal generada con capturas en trampas con lámpara de luz negra.

Materiales y Métodos.

Período y lugar del estudio. El presente trabajo se llevó a cabo durante el período comprendido entre enero de 1993 y diciembre de 2002 en el campo experimental de la División de Ciencias de la Vida (DICIVA) de la Universidad de Guanajuato (UG), ubicado en la Ex-Hacienda “El Copal”, Municipio de Irapuato, Guanajuato, México, situado a una altura de 1 757 m sobre el nivel del mar, en las coordenadas lat 20°44'39"N y long 101°19'39"O, con clima BS(hw)(h)(e) semicálido subhúmedo con lluvias en verano (García 1987), temperatura media anual de 19,6 °C y una precipitación media de 575 mm (INEGI 2011).

Toma de datos. Las palomillas se recolectaron mediante trampas con lámpara de luz negra de 15 watts de 50 cm de largo según el diseño

propuesto por Cantelo (1990). Los insectos fueron muertos con acetato de etilo colocado en el recipiente de captura en un algodón dentro de una bolsa de plástico con pequeños orificios. La trampa se colocó en el borde de los terrenos de cultivo. La recolecta de las palomillas se hizo vaciando el contenedor de captura en una bolsa zip, para posteriormente realizar el conteo de los insectos en el Laboratorio de Entomología de la DICIVA-UG. Se mantuvieron ejemplares de referencia en la Colección Entomológica “Leopoldo Tinoco Corona” del Departamento de Agronomía de la Universidad de Guanajuato. Las palomillas se recolectaron mensualmente durante diez años (1993 a 2002).

Análisis de datos. La metodología para el estudio de esta serie de tiempo se basó en analizar sus componentes: tendencia, estacionariedad y la componente irregular. La tendencia es la dirección de la variable en todo el período de observación, o más claramente, el cambio a largo plazo de la media de la serie; mientras que la estacionariedad se presenta cuando las fluctuaciones periódicas de la variable, no crecen ni decrecen a lo largo del tiempo, finalmente la componente irregular son los residuales que pueden o no ser totalmente aleatorios (Gottman 1981). La serie temporal observada se analizó a través del método de Box y Jenkins (1976), las primeras 108 observaciones mensuales correspondientes a los primeros nueve ciclos anuales (1993 a 2001) se utilizaron para estimar el modelo, conservando los datos observados en el último ciclo anual (2002) para comprobar la capacidad de predicción del modelo obtenido y así validar su eficacia. El análisis completo de la serie fue realizado con el programa Statgraphics (Statgraphics Plus Ver. 5.1 Professional 2001).

Resultados y Discusión.

Análisis descriptivo de la serie temporal. En la Figura 1 se muestra la serie temporal para el número de adultos de *S. frugiperda* con 108 observaciones mensuales correspondientes a

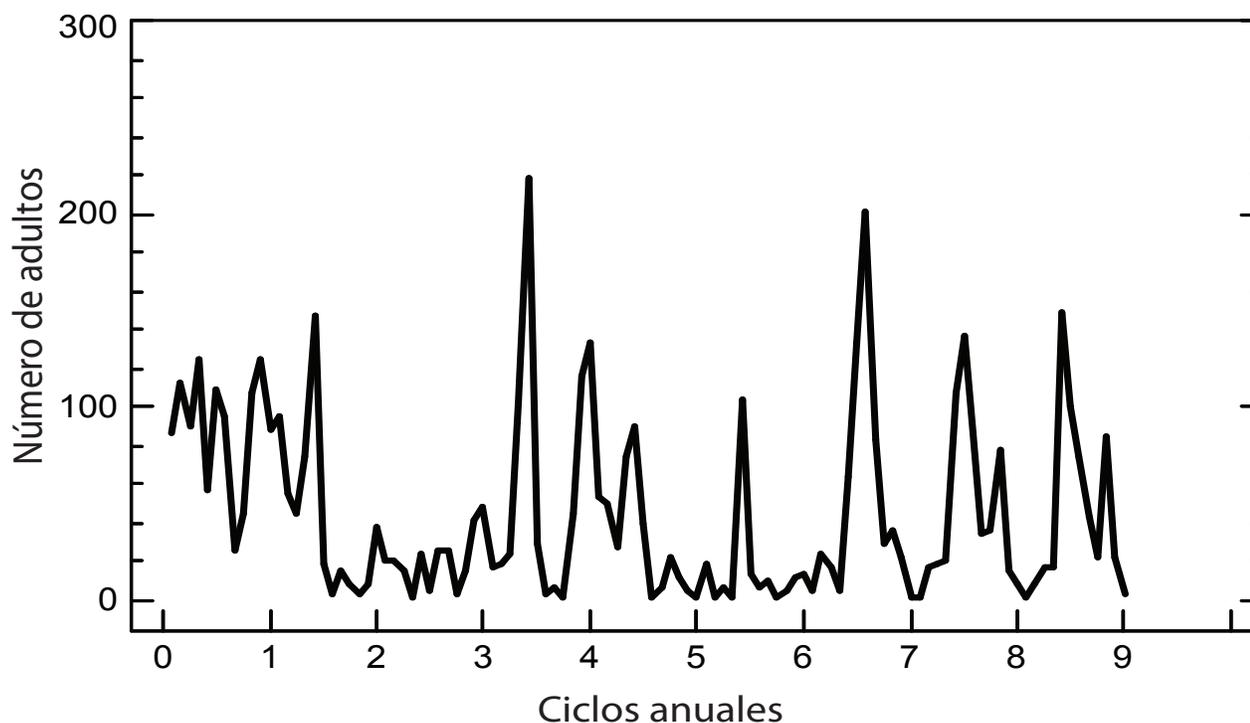


Figura 1. Serie de tiempo para el número de adultos de *S. frugiperda* durante nueve ciclos anuales en Irapuato, Gto.

nueve ciclos anuales. Se aprecia en cuanto a la tendencia de esta serie, que la media mensual presenta ligeros aumentos y disminuciones a lo largo del período estudiado, mientras que para la estacionariedad de la serie se presenta una irregularidad de un ciclo a otro, a excepción de los últimos tres años en que los ciclos muestran un patrón que comienza a ser sistemático. En este sentido, Chapman y Lienk (1981) mencionan que este noctuido es de hábitos migratorios y se caracteriza por su amplia variación anual cuando se captura en trampa de luz. Indican que presenta incrementos notables de sus poblaciones luego de varios años, tal como se pudo observar en este trabajo, lo cual posiblemente sea consecuencia de que las condiciones no sean las óptimas en los sitios de hibernación y esto disminuya las poblaciones migratorias.

En la Figura 2 se presenta el gráfico estacional (mensual) para esta serie, donde las líneas horizontales representan las medias mensuales y las líneas verticales son las observaciones

de cada uno de los nueve años. En este caso se reafirma el comportamiento de la serie en cuanto a la falta de una clara tendencia de la misma, lo cual implica que posiblemente se trate de una serie con estabilidad en la media. Sin embargo, se observa que las palomillas del gusano cogollero registran su número más alto en mayo y junio, mientras que en septiembre presentan el menor número de ejemplares. Posiblemente las poblaciones fueron mayores en esos meses debido a la disponibilidad de maíz y sorgo, pues esta especie tiene una gran especificidad por estas gramíneas (Meagher y Nagoshi 2004). Además, las primeras capturas del año probablemente se originaron de pupas que pasan el invierno en el suelo y emergen de éste para alimentarse de maíz dulce en febrero, y de sorgo y maíz posteriormente, o también de palomillas migratorias que llegaron del norte; entonces, para fines prácticos, sólo hay una generación al año que es precisamente en los meses de mayo y junio cuando se incrementan

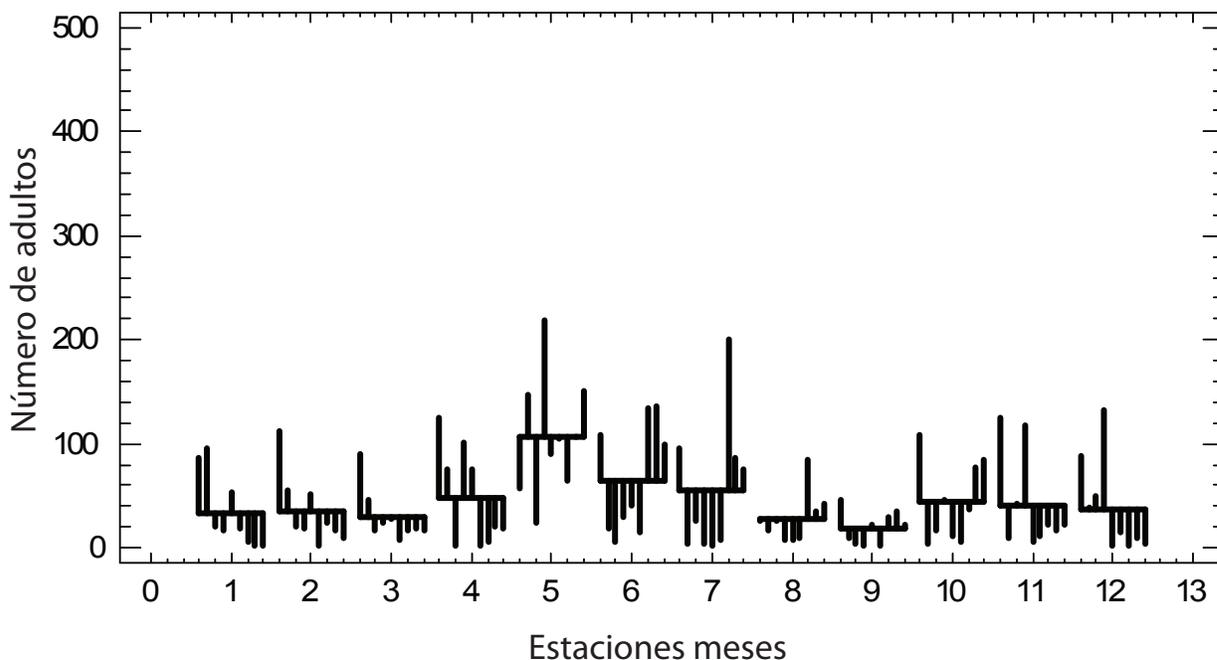


Figura 2. Estaciones (meses) de la serie temporal para el número de adultos de *S. frugiperda* durante nueve ciclos anuales en Irapuato, Gto.

considerablemente sus poblaciones. Luego las larvas pupan en el suelo y las palomillas emigran a otras regiones. En zonas de clima frío como el norte de Estados Unidos, tienen hábitos migratorios y similarmente presentan una sola generación anual (Meagher y Nagoshi 2004).

Identificación del modelo para representar la serie temporal. Para definir el modelo y analizar la estacionariedad de la serie se emplearon las funciones de autocorrelación (FAC) y de autocorrelación parcial (FACP). La FAC mide la correlación entre los valores de la serie distanciados por lapsos similares de tiempo y es el conjunto de coeficientes de autocorrelación desde uno hasta un máximo que no puede exceder la mitad de los valores observados. Análogamente, la FACP también mide la correlación entre parejas de valores equidistantes, pero eliminando el efecto debido a la correlación producida por los retardos previos a cada valor. La FACP se presenta además con intervalos de confianza, lo que ayuda a detectar fácilmente aquellos valores significativos cuya

posición en el eje horizontal indican la probable presencia de un factor de estacionariedad para ese valor de retardo (Chatfield 2003). Tanto la FAC presentada en la Figura 3, como la FACP mostrada en la Figura 4, sugieren la presencia de estacionariedad, ya que la mayoría de sus coeficientes se consideran estadísticamente nulos al no superar los límites de significatividad (líneas punteadas) y como la FACP se interrumpe únicamente en la autocorrelación parcial 1, existe entonces suficiente evidencia como para ajustar los datos observados de la serie temporal estacionaria a un modelo autorregresivo de orden 1, denotado por AR(1) (Peña et al. 2001).

En el proceso de identificación del modelo, se encontró que la serie no presentó estabilidad en la varianza, por lo que la transformación logarítmica (logaritmo natural) fue la más adecuada para ajustar los datos al modelo AR(1) (Chatfield 2003), el cual quedó definido por:

$$Y_t = \phi Y_{t-1} + \delta + \varepsilon_t$$

donde,

Y_t : pronóstico de la serie temporal.

ϕ : coeficiente de autorregresión.

δ : constante del modelo.

ε_t : error aleatorio.

En los modelos autorregresivos AR, se establece generalmente que el término del error aleatorio ε_t cumple un proceso de “ruido blanco” cuando se satisfacen las tres condiciones siguientes: su media es nula, su varianza es constante y la covarianza entre errores correspondientes a observaciones diferentes también es nula (Glass et al. 2008).

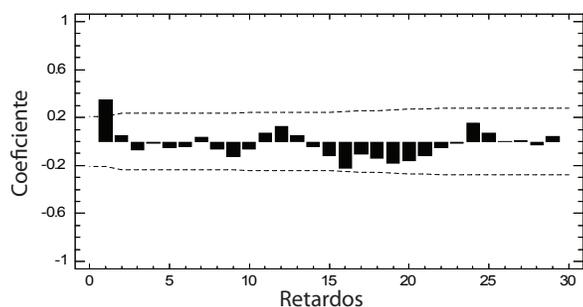


Figura 3. Función de autocorrelación (FAC) de la serie temporal para el número de adultos de *S. frugiperda* durante nueve ciclos anuales en Irapuato, Gto. Las líneas punteadas corresponden a \pm dos veces el valor estándar de los coeficientes de correlación.

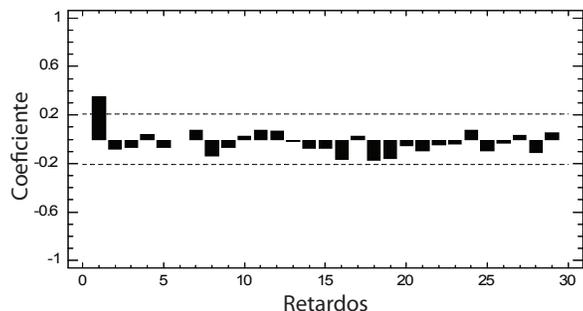


Figura 4. Función de autocorrelación parcial (FACP) de la serie temporal para el número de adultos de *S. frugiperda* durante nueve ciclos anuales en Irapuato, Gto. Las líneas punteadas corresponden a \pm dos veces el valor estándar de los coeficientes de correlación.

Estimación de los parámetros del modelo.

La estimación de los parámetros del modelo AR(1) seleccionado, una vez que los datos de la serie fueron transformados con el logaritmo natural, se presentan en el Cuadro 1, de donde se concluye que el modelo estimado puede escribirse como:

$$Y_t = 0,5827 Y_{t-1} + 2,4303$$

Con esta estimación del coeficiente de autorregresión ($\phi=0,5827$), se reafirma que el modelo AR(1) es estacionario, puesto que cumple con la condición necesaria y suficiente de ser menor a 1 (Peña et al. 2001).

Verificación del modelo. En las Figuras 5 y 6 se presentan las funciones FAC y FACP de los residuales para los datos ajustados con transformación logarítmica, donde se observa que los errores cumplen las condiciones para el proceso de “ruido blanco” (Glass et al. 2008), lo cual da evidencia que el modelo seleccionado representa un ajuste adecuado a los datos observados en la serie. Este modelo presentó un criterio de Akaike de AIC=0,2402, el cual se fundamenta en la correlación residual de la serie ajustada y el número de parámetros que intervienen en su estimación, reflejando una valoración cuantitativa de la parsimonia del modelo, siendo un criterio de utilidad cuando se comparan modelos autorregresivos, debiendo preferir aquel modelo que arroje el menor valor de AIC, que es precisamente el que posee menos parámetros.

Predicción del modelo AR(1). En la Figura 7 se muestra la secuencia de tiempo para los registros observados de la serie temporal (puntos) y su aproximación con el modelo estimado AR(1) (línea) de nueve ciclos anuales, así como la predicción del siguiente ciclo anual. Para verificar la capacidad de ajuste que tiene este modelo en la predicción obtenida, en el Cuadro 2, se presenta la comparación de las doce observaciones originales registradas del décimo ciclo anual (109 a 120) que se conservaron para

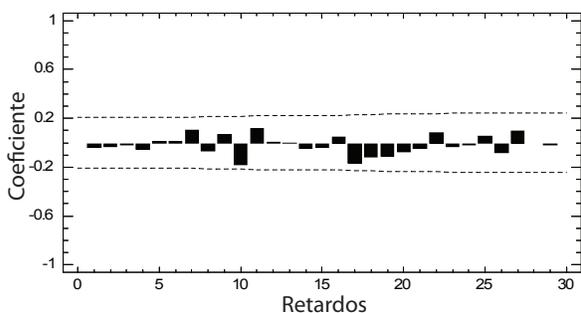


Figura 5. Función de autocorrelación (FAC) de los residuos del modelo AR de orden 1 de la serie de tiempo para el número de adultos de *S. frugiperda* durante nueve ciclos anuales en Irapuato, Gto. Las líneas punteadas corresponden a \pm dos veces el valor estándar de los coeficientes de correlación.

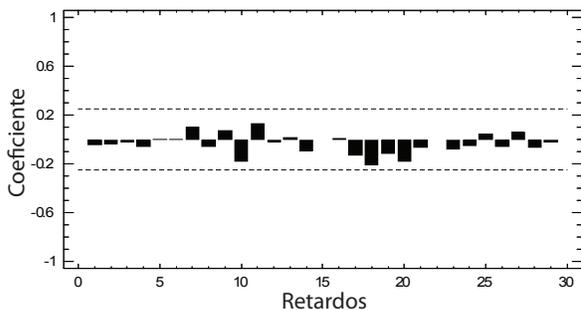


Figura 6. Función de autocorrelación parcial (FACP) de los residuos del modelo AR de orden 1 de la serie de tiempo para el número de adultos de *S. frugiperda* durante nueve ciclos anuales en Irapuato, Gto. Las líneas punteadas corresponden a \pm dos veces el valor estándar de los coeficientes de correlación.

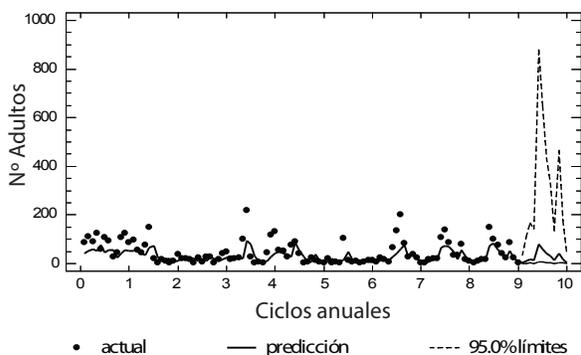


Figura 7. Gráfico de secuencia de tiempo con el modelo AR(1) con un ciclo anual de predicción de la serie temporal para el número de adultos de *S. frugiperda* durante nueve ciclos anuales en Irapuato, Gto.

Cuadro 1. Estimación de los parámetros del modelo AR(1) seleccionado para representar la serie de tiempo para el número de adultos de *S. frugiperda* durante nueve ciclos anuales en Irapuato, Gto.

Parámetro	Valor Estimado	Error Estándar	Valor de T	Valor de P
ϕ	0.5827	0.0791	7.3670	0.0000
Media	5.8245	0.6131	9.5001	0.0000
δ	2.4303			

Cuadro 2. Número de adultos de *S. frugiperda* de la serie observada y del modelo estimado AR(1) con sus límites de confianza al 95%, para el décimo ciclo anual.

Observación	Serie observada	Modelo estimado (predicción)	Límite inferior	Límite superior
109	3	4.77	0.65	35.07
110	10	11.58	1.22	110.01
111	19	15.92	1.52	166.49
112	20	13.35	1.25	143.04
113	97	81.15	7.49	878.85
114	67	59.34	5.46	644.31
115	45	39.83	3.66	433.03
116	35	30.35	2.79	330.07
117	18	12.47	1.15	135.67
118	51	42.71	3.93	464.47
119	16	15.81	1.45	172.06
120	5	3.32	0.31	36.14

este fin, con las observaciones estimadas que arrojó el modelo, concluyendo que el modelo seleccionado AR(1) realiza un pronóstico de por lo menos un ciclo anual posterior, con diferencias no mayores al 21.5 % en promedio entre los datos reales y los estimados con la serie ajustada, similarmente a lo reportado por Hernández et al. (2009). Estos autores, con la misma metodología utilizada en este trabajo, generaron dos modelos estacionarios de tipo AR(1) que representaron a las 55 observaciones de las series observadas de *L. huidobrensis* en dos ciclos de cultivo, aproximándose al comportamiento real de sus poblaciones y logrando predecir seis valores, pues al ser contrastados con los seis datos observados, confirmaron la efectividad en

el pronóstico de cada uno de los modelos que obtuvieron.

Conclusiones.

El comportamiento real de la densidad poblacional de los adultos de *S. frugiperda* en los nueve años de capturas utilizados, fue ajustado adecuadamente con el modelo AR(1) generado, confirmando su capacidad de predicción al comparar la estimación con el registro observado de las doce observaciones correspondientes al décimo año de captura.

El modelo AR(1) así obtenido tiene un número de parámetros mínimo, lo que facilita el cálculo de la densidad poblacional de *S. frugiperda* en el futuro.

Este resultado aporta información al conocimiento de la fluctuación poblacional de esta especie, la cual puede ser de utilidad sobre todo para tomar medidas en el manejo y control de esta plaga en los cultivos de maíz y sorgo en la región del municipio de Irapuato, Guanajuato, México.

Referencias.

ÁNGULO JM. 2000. Manejo del gusano cogollero del maíz utilizando extractos de plantas. (<http://www.turipana.org>, consulta on-line: 8 abril 2011).

ANUARIO ESTADÍSTICO DE LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA. 2009. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Secretaría de Agricultura, Ganadería Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. México. (<http://www.siap.gob.mx>, consulta on-line: 10 marzo 2011).

BANDA TJF, ENKERLIN SD, DE ALBA FG, GARZA BLE. 1981. Importancia económica de *Heliothis zea* (Boddie) y determinación del umbral económico, distribución matemática y muestreo secuencial de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) en maíz criollo. *Fitofilo* 85: 101-118.

BAYER CROPSCIENCE MÉXICO. 2007. Bayer de México, S.A. de C.V. México. (<http://www.bayercropscience.com.mx>, consulta on-line: 11 marzo 2011).

BOX GEP, JENKINS GM. 1976. *Time series analysis: forecasting and control*. Holden-Day. Oakland, California, U.S.A. 575 p.

CANTELO WW. 1990. Comparative efficacy of a blacklight trap and a Robinson trap in trapping moths. *Southwestern Entomologist* 15(2): 159-162.

CHAPMAN PJ, LIENK SE. 1981. *Flight periods of adults of cutworms, armyworms, loopers and others (family Noctuidae) injurious to vegetable and field crops*. Search Agriculture Number 14. New York State Agricultural Experiment Station Geneva. New York State College of Agriculture and Life Sciences. Cornell University. 43 p.

CHATFIELD C. 2003. *The analysis of time series: an introduction*. Sixth edition. Ed. Chapman and Hall/ CRC Texts in Statistical Science. London, England. 326 p.

GARCÍA E. 1987. Modificaciones al sistema de clasificación climática de *Koepfen*: para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. Offset/Larios S.A. Cuarta edición. México, D.F. 217 p.

GLASS GV, WILLSON VL, GOTTMAN JM. 2008. *Design and analysis of time series experiments*. Information Age Publishing Inc. Charlotte, North Carolina, U.S.A. 244 p.

GOTTMAN JM. 1981. *Time series analysis: A comprehensive introduction for social scientists*. Cambridge University. Cambridge, U.S.A. 400 p.

HERNÁNDEZ RE, VERA GJ, RAMÍREZ VG, PÉREZ ES, LÓPEZ CJ, BAUTISTA MN, PINTO VM. 2009. Pronóstico de la fluctuación poblacional del minador de la hoja de crisantemo *Liriomyza huidobrensis* Blanchard (Diptera: Agromyzidae), mediante modelos de series de tiempo. *Acta Zoologica Mexicana* 25(1): 21-32.

HILKER FM, WESTERHOFF FH. 2007. Preventing extinction and outbreaks in chaotic populations. *American Naturalist* 170: 232-241.

[INEGI] INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA. 2011. Biblioteca Digital Colección InfoINEGI. México. (<http://www.inegi.org.mx>, consulta on-line: 22 abril 2011).

LIMA EABF, FERREIRA CP, GODOY WAC. 2009. Ecological modeling and pest population management: a possible and necessary connection in a changing world. *Neotropical Entomology* 38(6): 699-707.

- LÓPEZ-EDWARDS M, HERNÁNDEZ-MENDOZA JL, PESCADOR-RUBIO A, MOLINA-OCHOA J, LEZAMA-GUTIÉRREZ R, HAMM JJ, WISEMAN BR. 1999. Biological differences between five populations of fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) collected from corn in Mexico. *Florida Entomologist* 82(2): 254-262.
- MEAGHER JRL, NAGOSHI RN. 2004. Population dynamics and occurrence of *Spodoptera frugiperda* host strains in southern Florida. *Ecological Entomology* 29: 614-620.
- MEAGHER JRL, NAGOSHI RN. 2010. Identification of fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) host strains using male-derived spermatophores. *Florida Entomologist* 93(2): 191-197.
- MURÚA G, VIRLA EG. 2004. Contribution to the biological knowledge of *Euplectrus platyhyphenae* (Hymenoptera: Eulophidae) a parasitoid of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in Argentina. *Folia Entomológica Mexicana* 43(2): 171-180.
- PEÑA D, TIAO G, TSAY RS. 2001. *A course in time series analysis*. John Wiley and Sons. New York. 460 p.
- PINTO VM, VERA JG, SOTRES DR, GONZÁLEZ FC. 1990. Predicción de la fluctuación poblacional de *Zabrotes subfasciatus* Boh. (Coleoptera: Bruchidae) a través de modelos de series de tiempo. *Agrociencia. Serie Matemáticas Aplicadas, Estadística y Computación* 1(1):135-137.
- SALAS-ARAIZA MD, SALAZAR-SOLÍS E, MARÍN-JARILLO A. 2002. *Manual para la identificación y control de insectos plaga de los cultivos en el Bajío*. Universidad de Guanajuato, INIFAP. Guanajuato, Gto. 141 p.
- Statgraphics Plus Ver. 5.1 Professional. 2001. STSC and Statistical Graphics Corporation. Bakersville Maryland.
- WILLIAM DW, LIEBHOLD AM. 1995. Influence of weather on the synchrony of gypsy moth (Lepidoptera: Lymantriidae) outbreaks in New England. *Environmental Entomology* 24(5): 987-995.