



# **COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

**CAMPUS MONTECILLO**  
POSTGRADO DE FITOSANIDAD  
ENTOMOLOGÍA Y ACAROLOGÍA

**PRONÓSTICO DE LA FLUCTUACIÓN POBLACIONAL DE *Liriomyza*  
*huidobrensis* Blanchard (DIPTERA: AGROMYZIDAE) MEDIANTE  
MODELOS DE SERIES DE TIEMPO**

EVELIA HERNÁNDEZ REGALADO

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRA EN CIENCIAS**

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2007

La presente tesis titulada: **Pronóstico de la fluctuación poblacional de *Liriomyza huidobrensis* Blanchard (Diptera: Agromyzidae) mediante modelos de series de tiempo**, realizada por la alumna: **Evelia Hernández Regalado**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para la obtención del grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS  
FITOSANIDAD  
ENTOMOLOGÍA Y ACAROLOGÍA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:

---

Dr. Jorge Vera Graziano

ASESOR:

---

Dr. Gustavo Ramírez Valverde

ASESOR:

---

Dr. Néstor Bautista Martínez

ASESOR:

---

Dr. José López Collado

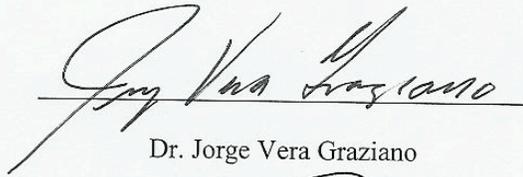
Montecillo, Texcoco, Estado de México, diciembre de 2007.

La presente tesis titulada: **Pronóstico de la fluctuación poblacional de *Liriomyza huidobrensis* Blanchard (Diptera:Agromyzidae) mediante modelos de series de tiempo**, realizada por la alumna: **Evelia Hernández Regalado**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para la obtención del grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS  
FITOSANIDAD  
ENTOMOLOGÍA Y ACAROLOGÍA

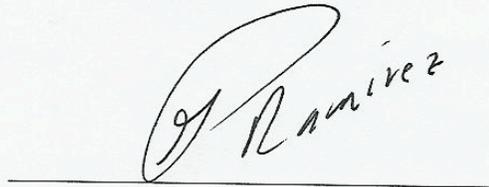
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:



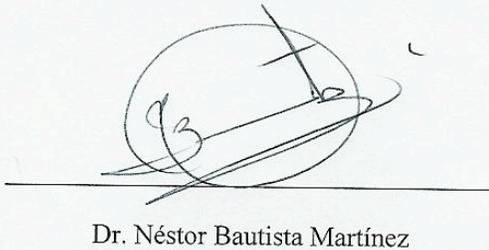
Dr. Jorge Vera Graziano

ASESOR:



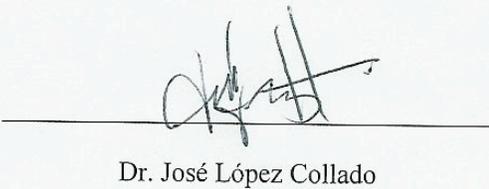
Dr. Gustavo Ramírez Valverde

ASESOR:



Dr. Néstor Bautista Martínez

ASESOR:



Dr. José López Collado

Montecillo, Texcoco, Estado de México, diciembre de 2007.

**PRONÓSTICO DE LA FLUCTUACIÓN POBLACIONAL DE *Liriomyza huidobrensis*  
Blanchard (DIPTERA: AGROMYZIDAE) MEDIANTE MODELOS DE SERIES DE  
TIEMPO**

**Evelia Hernández Regalado, M.C.**

**Colegio de Postgraduados, 2007**

El presente trabajo se realizó con el propósito de modelar la fluctuación poblacional del minador de la hoja de crisantemo *Liriomyza huidobrensis* (Blanchard). Se propuso encontrar modelos de predicción mediante la metodología de Box-Jenkins, que pudieran representar y predecir adecuadamente la densidad de población del insecto en su etapa larval. Se trabajó en dos ciclos de cultivo con duración de cuatro meses cada uno obteniéndose dos series. El número de insectos se registró periódicamente cada 2 días obteniendo 61 observaciones para cada ciclo de cultivo; por fecha de lectura se anotó el número de larvas vivas; obteniéndose dos series de tiempo. Las primeras 55 observaciones de cada serie se analizaron para la obtención del modelo de acuerdo a la metodología de Box y Jenkins y las 6 observaciones finales ayudaron a validar la capacidad de predicción del modelo encontrado. En el proceso de identificación del modelo para la representación de cada una de las series observadas se probaron transformaciones de éstas, encontrándose para la serie 1 que el ajuste más adecuado fue la transformación con raíz cuadrada, y para la serie 2 la transformación de Box-Cox con potencia (0.387455) fue la más adecuada. En ambas series las autocorrelaciones (FAC) denotaron estacionariedad y las autocorrelaciones parciales (FACP) se interrumpieron en la autocorrelación 1. El modelo estimado para la serie 1 fue  $Y_t = 0.246842 + 0.978041 Y_{t-1}$  y para la serie 2 fué  $Y_t = 0.283874 + 0.985939 Y_{t-1}$ . La verificación del modelo ajustó bien los datos al obtener ruido blanco en los residuales de la FAC y FACP de los modelos estimados. Se generaron dos modelos estacionarios de series de tiempo autoregresivo del tipo AR (1) que representaron a las series observadas de *L. huidobrensis*, ajustando bien al comportamiento real de sus poblaciones y logrando predecir satisfactoriamente valores futuros de la fluctuación poblacional del insecto.

**Palabras clave:** *Liriomyza huidobrensis*, modelos matemáticos, ARIMA, predicción de plagas.

**PREDICTION OF POPULATION FLUCTUATION OF *Liriomyza huidobrensis*  
Blanchard (DIPTERA: AGROMYZIDAE) BY MODELS OF TIME SERIES**

**Evelia Hernández Regalado, M.C.**

**Colegio de Postgraduados, 2007**

The present study had the objective of modeling population fluctuation of chrysanthemum leaf miner (*Liriomyza huidobrensis* Blanchard), using Box-Jenkins methodology, in order to find prediction models, which could represent and adequately predict population density of the insect at its larval stage. The work was carried out in two crop cycles of four months' duration each obtaining two series. The number of insects was recorded periodically every two days, resulting 61 observations for each crop cycle; the number of live larvae was registered by reading date, obtaining two time series. The first 55 observations of each series were analyzed to set the model according to Box and Jenkins' methodology, and the 6 final observations helped to validate the prediction capacity of the found model. In the process of identifying the model for the representation of each of the observed series, their transformation was tested, finding for series 1 that the transformation with square root was the most adequate fitting, and for series 2 the transformation of Box-Cox with power (0.387455) was the most adequate. In both series, the autocorrelations (FAC) showed stationarity, and partial autocorrelations (FACP) were interrupted in autocorrelation 1. The model estimated for series 1 was  $Y_t = 0.246842 + 0.978041 Y_{t-1}$ , and for series 2, it was  $Y_t = 0.283874 + 0.985939 Y_{t-1}$ . The checking of the model fitted the data well, obtaining white noise in the residuals of FAC and FACP of the estimated models. Two stationary models of autoregressive time series of the AR (1) type were generated, representing the observed series of *L. huidobrensis*, well fitting the true behavior of their populations and achieving to forecast satisfactorily future values of the insect population fluctuation.

Key words: *Liriomyza huidobrensis*, mathematical models, ARIMA, pest prediction.

## AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo económico que me brindó para realizar mis estudios de postgrado.

Al Colegio de Postgraduados, Instituto de Fitosanidad para concluir dicha formación.

Al Dr. Jorge Vera Graziano por su excelente y constante apoyo en la dirección del proyecto, para él, mi amistad y respeto.

Al Dr. Gustavo Ramírez Valverde por su valiosa asesoría, guía y motivación brindada para concluir mis estudios de postgrado.

Al Dr. Néstor Bautista y Dr. José López Collado por su tiempo dedicado y por las sugerencias realizadas al presente trabajo.

Al Dr. Sergio Pérez Elizalde, por su gran apoyo y paciencia en el análisis de resultados.

Agradezco infinitamente al Sr. Antonio Segura y familia por permitirme realizar en sus instalaciones de producción el proyecto que concluyo en éste trabajo de investigación.

Al Sr. Trinidad Ramírez por su desinteresada e incondicional ayuda durante la fase de campo del proyecto.

Al M. C. Emilio Castillo Mendoza, gracias por tu leal amistad.

**Dedico esta tesis:**

A mi esposo Ambrocio Bobadilla Saucedo y a mi hijo Luis Fernando Bobadilla Hernández por ser -la cariñosa mitad del alma mía- el impulso de lucha y superación.

A mis padres: Evelia y José Mercedes practicantes jubilosos del credo de las puertas siempre abiertas de su corazón, de su casa y de su mesa.

A mis hermanos José Víctor, María Isabel, Héctor y Ana Luisa, a mis tíos Virginia y Julián, primos y primas, que han derrochado conmigo sus consejos, generosidad y alegría.

## CONTENIDO

	Páginas
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVO.....	2
3. REVISIÓN DE LITERATURA.....	2
3.1.- Generalidades.....	2
3.1.1.- Importancia del crisantemo.....	2
3.1.2.- Principales plagas del crisantemo.....	2
3.1.3.- Minador de la hoja de crisantemo <i>Liriomyza huidobrensis</i> Blanchard.....	3
3.2.- Series de tiempo.....	3
3.2.1.- Metodología de Box y Jenkins.....	5
3.2.1.1.- Identificación del modelo.....	6
3.2.1.2.- Estimación de los parámetros.....	6
3.2.1.3.- Pruebas de diagnóstico.....	7
3.2.2.- Aplicación de modelos de series de tiempo en insectos.....	7
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	9
4.1.- Localización del experimento.....	9
4.2.- Periodo experimental.....	9
4.3.- Muestreo.....	9
4.4.- Fluctuación poblacional de <i>Liriomyza huidobrensis</i> .....	10
4.5.- Análisis de la información.....	10
4.5.1.- Identificación de un modelo tentativo-Metodología de Box y Jenkins.....	10
4.5.2.- Predicción.....	10
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	11
5.1.- Serie 1.....	11
5.1.1.- Identificación del modelo.....	11
5.1.2.- Estimación de los parámetros del modelo.....	13
5.1.3.- Verificación del modelo AR (1).....	13
5.1.4.- Predicción de la serie 1 con el modelo AR (1).....	15
5.2.- Serie 2.....	15
5.2.1.- Identificación del modelo.....	16
5.2.2.- Estimación de los parámetros del modelo.....	17
5.2.3.- Verificación del modelo AR (1).....	18
5.2.4.- Predicción de la serie 2 con el modelo AR (1).....	19
6. CONCLUSIONES.....	20
7. LITERATURA CITADA.....	21
8. APÉNDICE.....	28

## LISTA DE CUADROS

	Páginas
Cuadro 1. Estimadores de los parámetros del modelo AR (1). Serie 1.....	13
Cuadro 2. Observaciones finales de la serie 1, su predicción a través del modelo AR (1) y sus límites de predicción al 95% .....	15
Cuadro 3. Estimadores de los parámetros del modelo AR (1). Serie 2.....	17
Cuadro 4. Valores observaciones de la serie 2, su predicción a través del modelo AR (1) y sus límites de predicción al 95%.....	20

## LISTA DE FIGURAS

		Páginas
Figura 1.	Figura 1. Número de minas observadas de <i>L. huidobrensis</i> en cada fecha de muestreo. Serie 1.....	12
Figura 2.	Figura 2. FAC de la serie 1.....	12
Figura 3.	Figura 3. FACP de la serie 1.....	12
Figura 4.	Figura 4. FAC de los residuales del modelo AR (1). Serie 1.....	14
Figura 5.	Figura 5. FACP de los residuales del modelo AR (1). Serie 1.....	14
Figura 6.	Figura 6. Ajuste del modelo AR (1) a la serie 1.....	14
Figura 7.	Figura 7. Comparación de la serie observada y serie predicha de las últimas 6 observaciones para la serie 1 con límites de predicción al 95%.....	15
Figura 8.	Número de minas observadas de <i>L. huidobrensis</i> en cada fecha de muestreo. Serie 2.....	16
Figura 9.	FAC de la serie 2.....	16
Figura 10.	FACP de la serie 2.....	17
Figura 11.	FAC de los residuales del modelo AR (1). Serie 2.....	18
Figura 12.	FACP de los residuales del modelo AR (1). Serie 2.....	18
Figura 13.	Ajuste del modelo AR (1) a la serie 2.....	19
Figura 14.	Comparación de la serie 2 observada, las predicciones de las últimas 6 observaciones, con límites de predicción al 95%.....	19

# CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. OBJETIVO .....	2
3. REVISIÓN DE LITERATURA .....	2
3.1.- Generalidades .....	2
3.1.1.- Importancia del crisantemo .....	2
3.1.2.- Principales plagas del crisantemo .....	2
3.1.3.- Minador de la hoja de crisantemo <i>Liriomyza huidobrensis</i> Blanchard .....	3
3.2.- Series de tiempo .....	3
3.2.1.- Metodología de Box y Jenkins .....	5
3.2.1.1.- Identificación del modelo .....	6
3.2.1.2.- Estimación de los parámetros .....	6
3.2.1.3.- Pruebas de diagnóstico .....	7
3.2.2.- Aplicación de modelos de series de tiempo en insectos .....	7
4. MATERIALES Y MÉTODOS .....	9
4.1.- Localización del experimento .....	9
4.2.- Periodo experimental .....	9
4.3.- Muestreo .....	9
4.4.- Fluctuación poblacional de <i>Liriomyza huidobrensis</i> .....	10
4.5.- Análisis de la información .....	10
4.5.1.- Identificación de un modelo tentativo-Metodología de Box y Jenkins .....	10
4.5.2.- Predicción .....	10
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	11
5.1.- Serie 1 .....	11
5.1.1.- Identificación del modelo .....	11
5.1.2.- Estimación de los parámetros del modelo .....	13
5.1.3.- Verificación del modelo AR (1) .....	13
5.1.4.- Predicción de la serie 1 con el modelo AR (1) .....	15
5.2.- Serie 2 .....	15
5.2.2.- Estimación de los parámetros del modelo .....	17
5.2.3.- Verificación del modelo AR (1) .....	18
5.2.4.- Predicción de la serie 2 con el modelo AR (1) .....	19
6. CONCLUSIONES .....	20
7. LITERATURA CITADA .....	21
8. APÉNDICE .....	28

## INTRODUCCIÓN

En México se siembran alrededor de 2,300 ha de crisantemo *Dendranthema grandiflora* Tzvelev (Anuario Estadístico de la Producción Agrícola, 2005). Una de las plagas primarias más importante de este cultivo es el complejo de minadores de la hoja (Parrella *et al.*, 1981; Parrella, 1987). En la región productora de crisantemo de Texcoco, Estado de México se han documentado tres especies de minadores identificadas por Michael von Tschirhaus, de la Fakultät Biologie, de la Universität of Bielefeld, Alemania en el año 2000: *Liriomyza trifolii* Burges, *L. sativa* Blanchard y *L. huidobrensis* Blanchard ; de ellas, *Liriomyza huidobrensis* es la dominante (Huerta, 2000). El control de *L. huidobrensis* se complica debido a que se carece de estudios que pronostiquen la dinámica poblacional con el objetivo de identificar los factores que influyen en los cambios en la densidad de población (Chandler y Thomas, 1983; Harvir Singh *et al.*, 1996). A pesar de que los modelos estocásticos representan un método eficaz para la predicción de la fluctuación poblacional de plagas, su uso es limitado y no se ha estudiado su utilidad en minadores de la hoja del crisantemo. Dentro de los modelos estocásticos se encuentran la técnica del análisis de serie de tiempo, el cual permite realizar una pronta predicción de series biológicas. Infante *et al.* (1983) destacan las ventajas de la metodología de Box y Jenkins para un adecuado pronóstico de poblaciones biológicas. Los principales objetivos de la metodología desarrollada por Box y Jenkins son: la de encontrar modelos de series de tiempo que posean una máxima simplicidad, es decir, que el cuadrado medio de la desviación entre el dato observado y el predicho, sea lo más pequeño posible y a partir de ello tener la capacidad de predicción confiable de los valores futuros que dicho fenómeno puede experimentar.

La metodología propuesta por Box y Jenkins (1976) para la generación de modelos de series de tiempo es una alternativa para la descripción y predicción de la fluctuación poblacional del minador de la hoja de crisantemo *Liriomyza huidobrensis*.

## OBJETIVO

Generar un modelo de predicción de la densidad de población de larvas del minador de crisantemo *Liriomyza huidobrensis* Blanchard a través de modelos de series de tiempo.

## REVISIÓN DE LITERATURA

### 3.1.- Generalidades

#### 3.1.1.- Importancia del crisantemo

El crisantemo es una planta originaria de Asia oriental cuyo valor ornamental es apreciado por la gran diversidad de formas y colores de sus flores (Dole y Wilkins, 2005). En México el cultivo de crisantemo reviste gran importancia dentro del contexto de la floricultura como flor de corte, al ocupar el 3<sup>er</sup> lugar en lo que respecta a especies más demandadas después de las rosas y los claveles. En México, en 2005 se reportaron 2,338 ha sembradas, con una producción de 8, 662, 468 toneladas que alcanzaron un valor de 932 millones de pesos siendo el principal productor el Estado de México (Anuario Estadístico de la Producción Agrícola, 2005).

#### 3.1.2.- Principales plagas del crisantemo

Los problemas fitosanitarios ocurren cada año en todas las etapas fenológicas del crisantemo atacando partes aéreas como tallo, meristemo apical y flores. Entre las plagas insectiles de importancia económica que atacan al cultivo de crisantemo se encuentran: minadores de hoja (*Liriomyza trifolii* Burgess, *L. huidobrensis* Blanchard, *L. brassicae* Riley, *L. languei* Frich), gusano soldado (*Spodoptera exigua* Hubner, *S. littoralis* Boisduval), pulgones (*Macrosiphoniella chrysantemi*, *M. sanborni* Gillette, *Macrosiphum rosae* L., *Rhopalosiphon rufomaculatus*, *Aphis fabae*, *A. gossypii* Glover, *Myzus persicae* Sulzer, *Brachycaudus hilichrysi* Kaltenbacch), trips (*Thrips tabaci* Lind., *Frankliniella occidentalis* Pergande, *F. fortissima* Priesner) mosquita blanca (*Trialeurodes vaporariorum* Westwood, *Bemisia tabaci* Gennadius) como plagas principales. (García, 1981; Parrella, 1987; Arbos, 1992; Cortés *et al.*, 1996; Romero, 1996; Alcántara, 1998).

### **3.1.3.- Minador de la hoja de crisantemo *Liriomyza huidobrensis* Blanchard**

El agromizido *L. huidobrensis* fue reportado por primera vez en Brasil por Blanchard en 1926. Es considerado como una especie cosmopolita, importante en la producción ornamental en varias partes del mundo (Hamity y Neder de Roman, 1981; Parrella *et al.*, 1981; Parrella, 1987; Romero, 1996; Scheffer, 2000; He *et al.*, 2002; Reitz y Trumble, 2002).

El minador *L. huidobrensis* es un insecto que tiene alrededor de 400 especies de plantas hospedantes catalogadas en más de 10 familias botánicas diferentes, incluyendo especies de importancia económica como hortalizas y ornamentales (Parrella, 1987; Spencer, 1987; Weintraub y Horowitz, 1995; Shepard *et al.*, 1998; Scheffer, 2000; He *et al.* 2002). Los minadores son difíciles de controlar una vez que se han establecido dentro de invernaderos. Las galerías que las larvas producen en las hojas afectan la capacidad fotosintética de la planta y reducen el valor comercial del cultivo (Parrella *et al.*, 1981; Foster y Sánchez, 1988).

### **3.2.- Series de tiempo**

La inquietud antropogénica de explicar las dinámicas poblacionales ha conllevado a la utilización de métodos estadísticos para la modelación de poblaciones naturales. Por ejemplo, modelos de simulación, o bien podrían construirse modelos para la exploración, explicación, proyección, o predicción de plagas (Richards, 1961; Watt, 1961; Watt, 1962; Coulson y Witter, 1984). La prueba final de un modelo de población se mide por la capacidad de predecir que éste tiene (Varley y Gradwell, 1970).

Un modelo es la representación abstracta de un sistema, que analiza sus atributos según los objetivos que se persiguen (Edminister, 1978; Arneson, 1989; Odum, 1971). Las ventajas de modelar la fluctuación de poblaciones biológicas son resumir el conocimiento actual de un sistema, realizar estudios a corto plazo, así como permitir la repetición de un evento que ocurre solamente una vez en el sistema real, para estimar la probabilidad de que este ocurra en el futuro. En condiciones naturales probablemente ningún fenómeno obedece a un mecanismo predeterminado ya que siempre existirán factores desconocidos que intervengan en el desarrollo de una población (Allen, 1992). No obstante, se puede derivar un modelo para

calcular la probabilidad de un valor futuro que queda entre dos límites especificados; tal como los llamados modelos probabilísticos o estocásticos (Box y Jenkins, 1976).

Dentro de los modelos estocásticos se encuentran los modelos de series de tiempo, los cuales se definen como un conjunto de mediciones de cierto fenómeno o experimento registradas secuencialmente y a intervalos iguales de tiempo y cuya característica fundamental es que las observaciones presentan dependencia entre ellas (Brockwell y Davis, 1991). La construcción de modelos de predicción de plagas se ha orientado a la escala de población, pudiéndose utilizar únicamente la fluctuación poblacional a través del tiempo ya que toma en cuenta la dependencia que puede existir entre los diferentes valores de la población. La secuencia de observaciones de una serie son medidas sobre una variable en particular, en los tiempos 1, 2, 3, ...,n representando los valores que preceden a la predicción de valores futuros (Vera *et al.*, 2002).

El primer paso en el análisis de series de tiempo, consiste en graficar la serie. Eso permite detectar si existe uno o más de los componentes de la serie, los cuales son:

a) Tendencia. Representa el comportamiento predominante de la serie. Esta puede ser definida vagamente como el cambio de la media a lo largo de un período (Harvey, 1985).

b) Ciclos. Son los movimientos recurrentes hacia arriba y hacia abajo alrededor de los niveles de tendencia. Estos movimientos oscilatorios pueden tener una duración de varios años (Harvey, 1985).

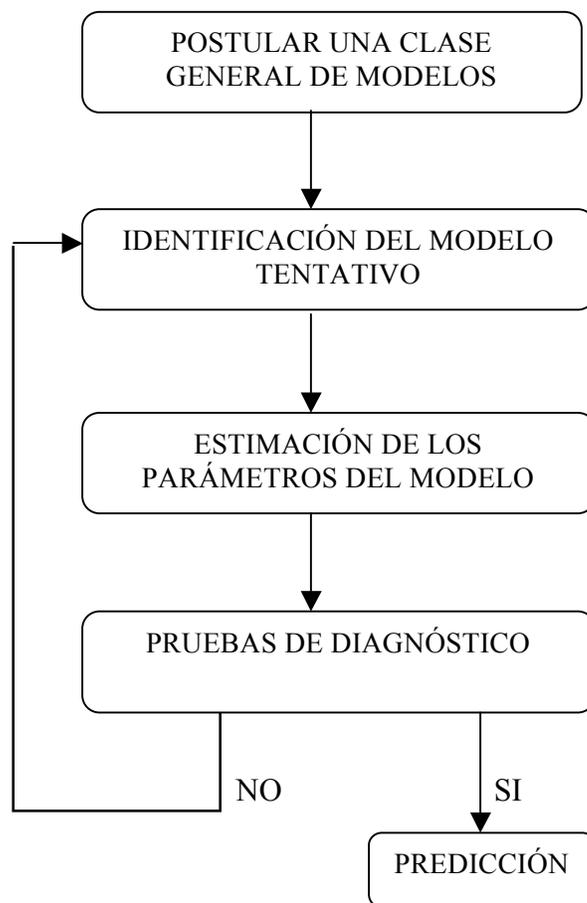
c) Variación estacional. Representa un movimiento periódico de la serie de tiempo (Harvey, 1985).

d) Variaciones aleatorias. Son movimientos sin un patrón regular. Estos movimientos pueden ser tan intensos que incluso pueden modificar la tendencia de la serie.

Dentro de las diversas técnicas para el análisis de una serie de tiempo, con el fin de realizar una pronta predicción de series biológicas, Infante *et al.* (1983) destacan las ventajas de la metodología de Box y Jenkins para un adecuado pronóstico de poblaciones biológicas.

### 3.2.1.- Metodología de Box y Jenkins

Bajo la estrategia de Box y Jenkins (1976), la selección de un modelo de serie de tiempo se realiza mediante un proceso que consiste en la postulación de una clase general de modelos, identificación de un modelo tentativo, estimación de parámetros del modelo tentativo y la verificación del modelo. Si el modelo no cubre las expectativas se regresa a la estimación de parámetros del modelo tentativo, si sucede lo contrario se procederá al uso del modelo para predecir como se muestra en el siguiente método iterativo.



El principal objetivo de la metodología desarrollada por Box y Jenkins es: la de encontrar un modelo de series de tiempo que posea máxima simplicidad, es decir, que el cuadrado medio de las desviaciones entre el dato observado y el predicho sea lo más pequeño posible (Box y Jenkins, 1976) y a partir de ello tener la capacidad de predicción confiable de los valores futuros que dicho fenómeno puede experimentar. A continuación se explica brevemente cada uno de los pasos iterativos de la metodología de Box y Jenkins.

### **3.2.1.1.- Identificación del modelo**

En esta etapa se especifica un modelo ARIMA (Autorregresive Integrated Moving Average Models) para el proceso generador de los datos con base en las autocorrelaciones y autocorrelaciones parciales estimadas. La clase general de modelos de series de tiempo ARIMA o ARIPM (Modelos Autorregresivos Integrados de Promedios Móviles) que comprende los diversos procesos diseñados en esta metodología, también son conocidos como ARMA (p,d,q), donde: p es el grado de la parte autorregresiva; d es el grado de diferenciación y q es el grado del proceso de promedios móviles. Si  $d=0$ , los modelos son comúnmente referidos como modelos ARMA (p,q).

Si las autocorrelaciones disminuyen lentamente o no se desvanecen del todo, esto indica no estacionaridad y se sugiere diferenciar hasta que se obtenga estacionaridad. Entonces se puede identificar un modelo ARMA para las series diferenciadas. Para un modelo MA (q) de autocorrelaciones (FAC) sus autocorrelaciones disminuyen lentamente. Para determinar el punto de corte de la función de autocorrelación, se emplean las autocorrelaciones muestrales. Para un modelo AR (p) con autocorrelaciones parciales (FACP) las autocorrelaciones disminuyen lentamente, el punto de corte de la función de autocorrelación puede determinarse comparando los estimadores con  $\pm 2/\sqrt{T}$  ya que  $1/\sqrt{T}$  es el valor aproximado de la desviación estándar de los estimadores FACP.

### **3.2.1.2.- Estimación de los parámetros**

Una vez obtenido el modelo tentativo, es necesario estimar el valor de sus parámetros. Los parámetros de procesos AR puros pueden ser estimados usando los métodos de regresión

convencionales. Si están involucrados términos MA, la minimización de la suma de errores al cuadrado o la función de máxima verosimilitud requiere de métodos de estimación no lineal.

### **3.2.1.3.- Pruebas de diagnóstico**

En este paso se pueden utilizar dos pruebas de comprobación: hacer análisis de los residuos, y ampliar el modelo especificado. El análisis de residuos se basa en el supuesto de que los residuos de un modelo adecuado son aproximadamente “ruido blanco”, o bien el análisis de los residuales, consiste en eliminar las diferencias entre los datos observados y las predicciones de los modelos tentativos. Se puede entonces probar la significancia de las autocorrelaciones residuales estimadas usando los límites  $\pm 2\sqrt{T}$ , en donde T es el tamaño muestral usado al computar los estimadores.

Si el modelo es rechazado en esta etapa, el ciclo de construcción del modelo debe repetirse, comenzando con una nueva identificación, de lo contrario, una vez que el modelo se acepta podrá usarse con fines de predicción. Predecir es estimar el futuro utilizando información del presente y del pasado. El conocimiento del futuro nos capacita para planificar, prever o prevenir. El objetivo en este último paso es predecir el valor de la variable aleatoria  $X_{t+h}$  con base en la información captada hasta el tiempo T (Box y Jenkins, 1976; Bowerman y O’Connell, 1979; Chatfield, 1996; Weigend y Gershenfeld, 1994; Bandt, 2005).

### **3.2.2.- Aplicación de modelos de series de tiempo en insectos**

Los modelos de series de tiempo se han empleado para el estudio y predicción de fenómenos físicos (meteorología, astronomía), biológicos, así como en economía (tasas de desempleo, índice de precios), geofísica, demografía, por citar algunas (Gottman, 1981; Scargle, 1982; Weigend y Gershenfeld, 1994; Jones y Hulme, 1996; Zeger *et al.*, 2000).

Así mismo las series de tiempo han permitido comparar y modificar modelos de predicción establecidos adecuándolos a las necesidades del investigador en base al comportamiento que se describe en la serie (Bandt, 2005).

Infante *et al.* (1983), con observaciones semanales del díptero *Oxysarcodexia ventricosa* (Diptera: Sarcophagidae), realizaron un análisis de series de tiempo con modelos autorregresivos integrados de promedios móviles (ARIMA) obteniendo satisfactoriamente modelos que predijeron las densidades futuras del insecto.

Mawby y Gold (1984), con lecturas mensuales de la fluctuación poblacional de *Dendroctonus frontalis* Zim.(Coleoptera: Scolytidae), durante 18 años, y utilizando la metodología de Box y Jenkins, obtuvieron una función de autocorrelación que sugirió una posible periodicidad de ocurrencia de la plaga de por lo menos cada 3 años.

Pinto *et al.* (1990) se basaron en el análisis de series de tiempo empleando la metodología de Box y Jenkins para describir y predecir el comportamiento de dos poblaciones de *Zabrotes subfasciatus* (Coleoptera: Bruchidae) en condiciones de laboratorio, obteniendo dos modelos, ambos de tipo estacional.

Turchin *et al.* (1991) concluyeron que las densidades más altas *Dendroctonus frontalis* Zimm. no son manejadas por las fluctuaciones estocásticas de tiempo. El análisis de series de tiempo evidenció que factores denso-dependientes eran los causantes de la fluctuación poblacional del escarabajo.

Williams y Liebhold (1995), mediante un análisis de series de tiempo (de información recabada durante 55 años), determinaron dos procesos autoregresivos de 1er y 2do orden que evidenciaron la sincronización de la emergencia del lepidóptero *Lymantria dispar* L en 3 estados de Estados Unidos de Norteamérica.

Morrison *et al.* (1995), mediante datos semanales de la fluctuación de la mosca *Lutzomya longipalpis*, generaron un modelo autorregresivo de promedios móviles, así mismo, correlacionaron la abundancia del insecto con condiciones ambientales previas, favorables para su desarrollo como son lluvia y humedad relativa.

Delgado (1999) generó cuatro modelos de tipo estacional para describir la fluctuación de la captura de adultos de *Anastrepha obliqua* y *A. ludens* (Diptera: Tephritidae).

Redfern y Hunter (2005) desarrollaron cuatro modelos de predicción mediante series de tiempo al monitorear cada año desde 1966 al 2002 dos poblaciones de *Taxomyia taxi* (Diptera: Cecidomyiidae) y de dos especies de parasitoides *Mesopolobus diffinis* y *Torymus nigratarsus*. Detectaron que el comportamiento de las poblaciones se repite en ciclos de 14 años. Observaron que tanto el parasitoide y huésped regulan su población por ser ambos denso-dependientes.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1.- Localización del experimento

La toma de datos de la fluctuación poblacional en campo se llevó a cabo en las instalaciones de la empresa MICROPLAS en la Col. Netzahualcóyotl, municipio de Texcoco, Estado de México, ubicado geográficamente a 2241 msnm en las coordenadas 19° 30' Latitud Norte y 98° 51' Longitud Oeste, con clima Cb(w<sub>1</sub>)(w)(i')g, temperatura media anual de 15.9 °C y precipitación media anual de 710.3 mm (García, 1987).

### 4.2.- Periodo experimental

Se trabajó en dos ciclos de cultivo con duración de cuatro meses cada uno, en los cuales se trasplantaron 3,600 plántulas de crisantemo de la variedad “diamante blanco” (flor tipo pompom), libres de plagas y enfermedades, bajo superficie de invernadero de 180 m<sup>2</sup>. El primer ciclo, trasplantado el 22 de septiembre de 2006 y el segundo ciclo trasplantado el 22 de enero del 2007. El manejo del cultivo fue similar al utilizado regionalmente, exceptuando cualquier tipo de aplicación de insecticidas.

### 4.3.- Muestreo

Para una población total de 3,600 plantas de crisantemo se tomó una muestra de 180 plantas bajo un muestreo sistemático de uno en 20. Las plantas fueron examinadas en su tercio medio

de donde se tomó una submuestra consistente de cinco hojas en las cuales se registró el número de minas con larva viva (Castillo, 2005).

#### **4.4.- Fluctuación poblacional de *Liriomyza huidobrensis***

La lectura de la fluctuación poblacional se hizo con una frecuencia de cada dos días de manera ininterrumpida hasta completar un total de 61 observaciones para cada ciclo del cultivo; por fecha de lectura se anotó el número de larvas vivas por hoja en su probable desarrollo larval L<sub>3</sub> y L<sub>4</sub>. Con estos muestreos se obtuvieron dos series de tiempo.

#### **4.5.- Análisis de la información**

La información recabada de los muestreos de larvas de *Liriomyza huidobrensis* a través del tiempo (23 septiembre de 2006 a 21 de enero de 2007 y del 23 de enero al 23 de mayo de 2007) se trabajó con modelos de series de tiempo utilizando la metodología de Box y Jenkins (1976), tomando para cada serie las primeras 55 observaciones de ésta para el análisis de los datos, conservándose las 6 observaciones finales para determinar la capacidad de predicción del modelo encontrado para validar su ajuste.

El análisis de la información de *L. huidobrensis* se realizó con el programa Statgraphics 5.1 (Statgraphics, 2001) para la obtención de los modelos de series de tiempo.

##### **4.5.1.- Identificación de un modelo tentativo-Metodología de Box y Jenkins**

El análisis de la información inicio por un análisis gráfico para detectar la existencia o ausencia de algún componente esencial para cada una de las series de tiempo. Posteriormente se realizó un análisis inicial e identificación del modelo con base en el análisis de la función de autocorrelación (FAC) y función de autocorrelación parcial (FACP).

##### **4.5.2.- Predicción**

Una vez seleccionado un modelo, se procedió al pronóstico de valores de dicha serie. El siguiente paso fue el cálculo de intervalos de confianza para los valores predichos (Box y Jenkins, 1976).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El díptero *L. huidobrensis* expresó un comportamiento exponencial durante el desarrollo de su fluctuación poblacional para cada una de las series. Al inicio de cada ciclo de cultivo denota una clara tendencia a mantener su población cercana a cero debido a la presencia del 100% de humedad relativa no apta para el desarrollo óptimo de la población del insecto (Parrella, 1987; Reitz y Trumble, 2002) en los primeros dos días después del trasplante de la plántula de crisantemo, aunado al pequeño número de progenitores que iniciaron cada una de las poblaciones. Posteriormente mientras cada una de las poblaciones se establecía, paulatinamente incrementó el número de individuos de acuerdo a la cantidad de progenitores que llegaron a poblar el área de cultivo, y la capacidad reproductiva de los mismos.

La diferencia tan marcada en el número máximo de minas contadas en la serie 1 (103 minas) y la serie 2 (890 minas) se debe a la época en la que se desarrolló cada ciclo de cultivo, tendiendo a haber mayor cantidad de individuos en las condiciones más cálidas, acortándose su ciclo de vida (Lange, *et al.*, 1957).

### 5.1.- Serie 1

La Figura 1 muestra la gráfica de la serie de tiempo obtenida para la serie 1 en donde se detecta un bajo número de especímenes en las observaciones 1 a la 36. La parte complementaria de la serie muestra una clara tendencia ascendente a partir de las observaciones 37 a 55 (Cuadro 1 del Apéndice).

#### 5.1.1.- Identificación del modelo

La función de autocorrelación (FAC) de esta serie (Figura 2, Cuadro 2 del Apéndice) tiene caída exponencial que da evidencia de la estacionariedad de la serie. La FACP (Figura 3, Cuadro 3 del Apéndice) interrumpe en la autocorrelación parcial 1, y conjuntamente con el comportamiento de la FAC sugiere que los datos se ajustan a un modelo AR (1).

En el proceso de identificación del modelo se revisó el ajuste del modelo y sus supuestos, encontrando que el ajuste más adecuado fue la transformación con raíz cuadrada de los datos.

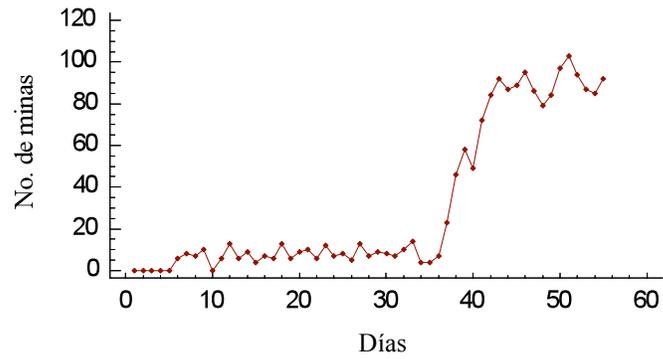


Figura 1. Número de minas observadas de *L. huidobrensis* en cada fecha de muestreo. Serie 1.

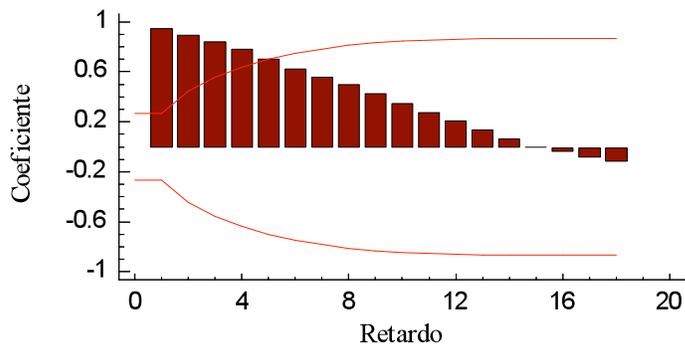


Figura 2. FAC de la serie 1.

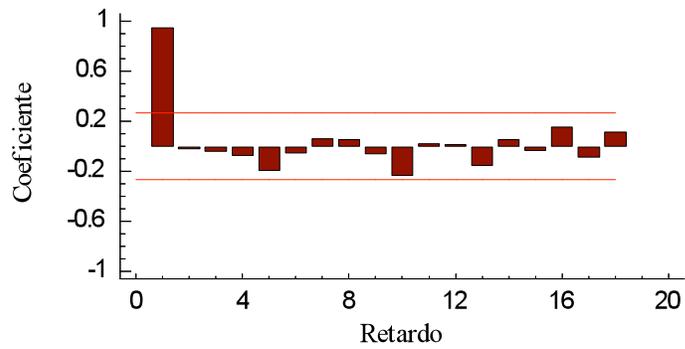


Figura 3. FACP de la serie 1.

### 5.1.2.- Estimación de los parámetros del modelo

El modelo que mejor ajustó la serie 1 fue un modelo autoregresivo de orden 1 que se expresa como:

$$Y_t = \delta + \phi_1 Y_{t-1} + a_t$$

Donde:

$Y_t$  = pronóstico de la serie de tiempo (valor de la serie en el tiempo t)

$\delta$  = constante del modelo

$\phi_1$  = coeficiente de autoregresión

$a_t$  = error aleatorio

Los valores estimados de los parámetros del modelo se anotan en el Cuadro 1, por lo que el modelo estimado es:

$$\hat{Y}_t = 0.246842 + 0.978041 Y_{t-1}$$

Cuadro 1. Estimadores de los parámetros del modelo AR (1). Serie 1.

Parámetro	Valor estimado	Error estándar	Valor de T	Valor de P
$\phi_1$	0.978041	0.0432154	22.6318	0.000000
Media	11.2412	12.0905	0.929755	0.356713
$\delta$	0.246842			

### 5.1.3.- Verificación del modelo AR (1)

Las Figuras 4 y 5 (Cuadro 4 y 5 del Apéndice) muestran que los residuales son ruido blanco; evidencia de que el modelo escogido ajusta bien a los datos.

La Figura 6 (Cuadro 1 del Apéndice) muestra la capacidad de ajuste del modelo autorregresivo de orden 1 a la serie 1. Puede notarse que el ajuste fue satisfactorio ya que el comportamiento de la serie estimada se apega al comportamiento de las observaciones realizadas del insecto *L. huidobrensis*.

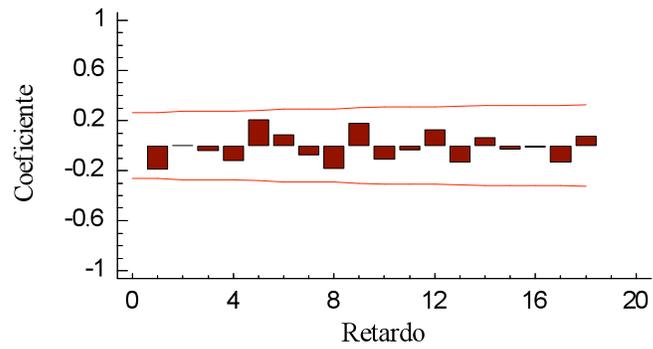


Figura 4. FAC de los residuales del modelo AR (1). Serie 1.

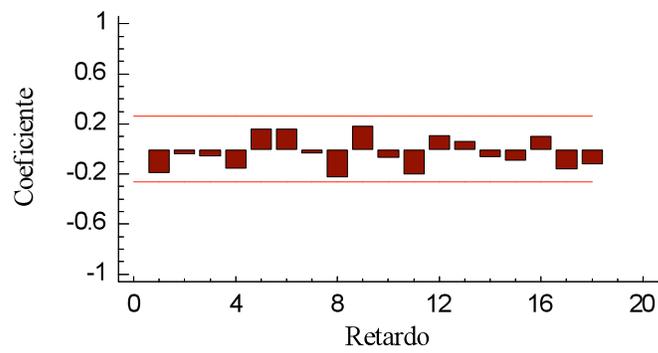


Figura 5. FACP de los residuales del modelo AR (1). Serie 1.

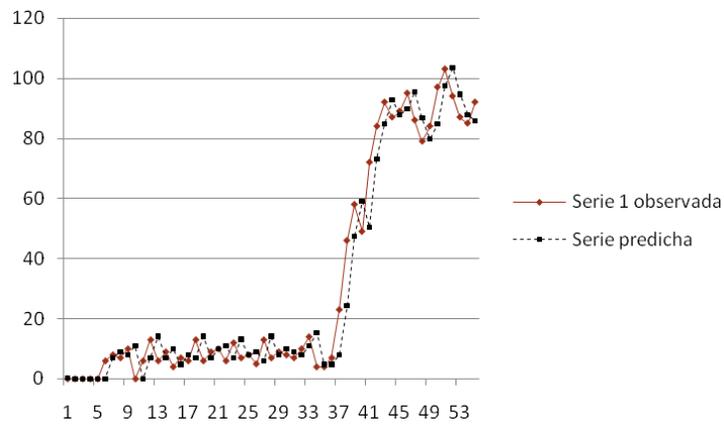


Figura 6. Ajuste del modelo AR (1) a la serie 1.

### 5.1.4.- Predicción de la serie 1 con el modelo AR (1)

Para validar la capacidad de predicción del modelo seleccionado se tomaron las primeras 55 observaciones (Cuadro 1 del Apéndice) para la estimación del modelo y las restantes seis observaciones finales se conservaron para medir el ajuste de las mediciones.

Cuadro 2. Observaciones finales de la serie 1, su predicción a través del modelo AR (1) y sus límites de predicción al 95%.

Periodo	Serie observada	Serie predicha	95 % confianza	
			Límite inferior	Limite superior
56	113	92.6962	57.4199	136.38
57	126	93.3796	46.1777	157.031
58	97	94.0504	38.733	173.51
59	109	94.7088	33.2137	187.705
60	120	95.355	28.8928	200.358
61	105	95.9891	25.3973	211.855

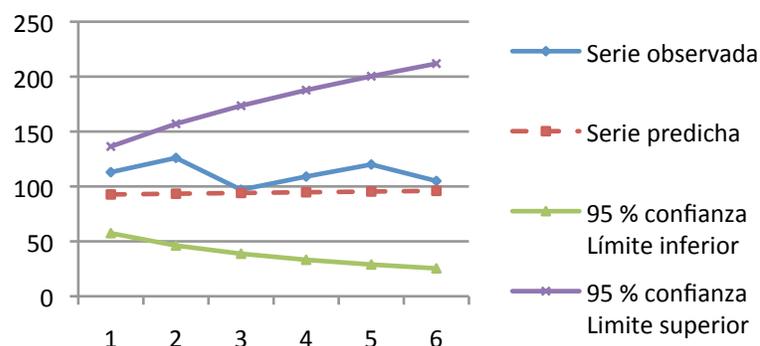


Figura 7. Comparación de la serie observada y serie predicha de las últimas seis observaciones para la serie 1 con límites de predicción al 95%

### 5.2.- Serie 2

En la Figura 8 se observa el comportamiento de la población 2 de *L. huidobrensis*, el número de minas observadas incrementó notablemente a partir de la observación 10 mostrando tener tendencia ascendente de su fluctuación poblacional (Cuadro 6 del Apéndice). El banco de pupas que existía en la superficie del suelo ayudó al incremento del número de individuos que

fungieron como progenitores para colonizar el cultivo. Así mismo, existen datos relacionados al hecho de que el pico máximo en la fluctuación población del género *Liriomyza* alcanza el pico máximo de crecimiento entre los meses de abril y mayo (Spencer, 1973) como se presentó en el caso de las observaciones 47 a la 55 en esta serie.

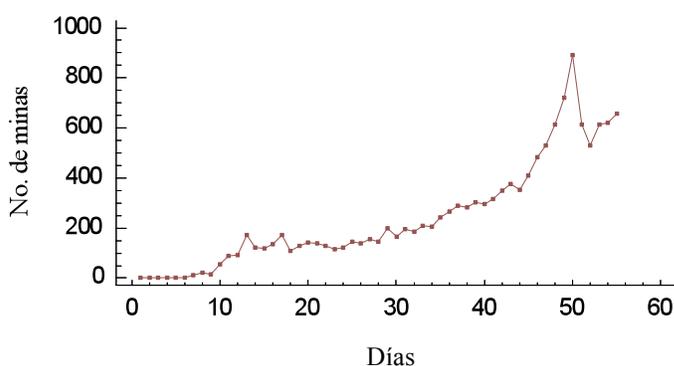


Figura 8. Número de minas observadas de *L. huidobrensis* en cada fecha de muestreo. Serie 2.

### 5.2.1. Identificación del modelo

La FAC de la serie 2 (Figura 9, Cuadro 7 del Apéndice) muestra caída exponencial, lo cual denota estacionariedad de la serie. La FACP señala que la autocorrelación de orden 1 es significativa lo que sugiere que los datos se ajustan a un modelo AR (1) (Figura 10, Cuadro 8 del Apéndice).

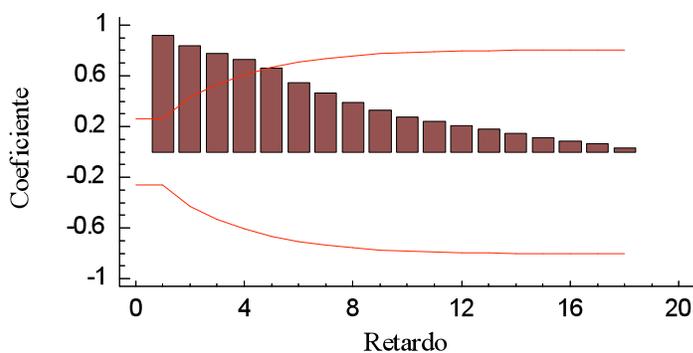


Figura 9. FAC de la serie 2.

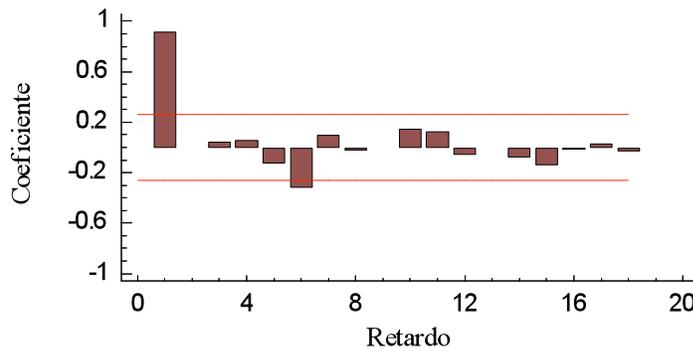


Figura 10. FACP de la serie 2.

En el proceso de identificación del modelo para la representación de la serie 2 se probaron varias transformaciones de la serie observada, encontrándose que la transformación de Box-Cox con potencia (0.387455) fue la más adecuada. Finalmente se eligió el modelo AR (1) con constante.

### 5.2.2.- Estimación de los parámetros del modelo

Los valores estimados del modelo se anotan en el Cuadro 3, sustituidos en el modelo propuesto se tiene:

$$Y_t = \delta + \phi_1 Y_{t-1} + a_t$$

$$Y_t = 0.283874 + 0.985939 Y_{t-1}$$

Cuadro 3. Estimadores de los parámetros del modelo AR (1). Serie 2.

Parámetro	Valor estimado	Error estándar	Valor de T	Valor de P
$\phi_1$	0.985939	0.0226921	43.4486	0.000000
Media	20.1885	17.7897	1.13484	0.261548
$\delta$	0.283874			

### 5.2.3.- Verificación del modelo AR (1)

En las Figuras 11 y 12 se observa que los residuales son ruido blanco, ya que las autocorrelaciones son significativas, por lo que el modelo elegido ajusta bien a los datos (Cuadro 9 y 10 del Apéndice).

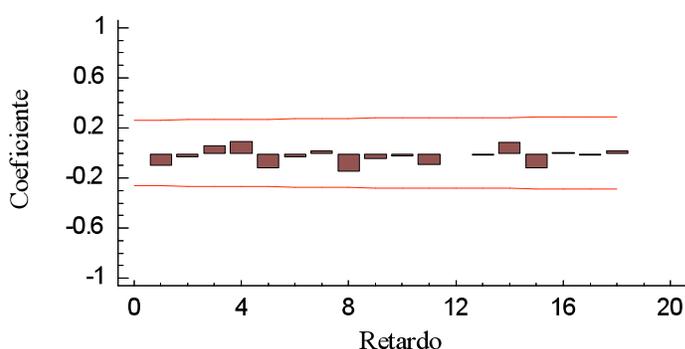


Figura 11. FAC de los residuales del modelo AR (1). Serie 2.

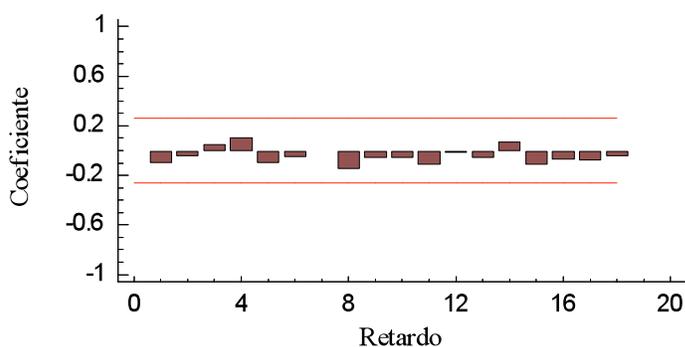


Figura 12. FACP de los residuales del modelo AR (1). Serie 2.

La Figura 13 muestra el ajuste del modelo AR (1) a la serie 2. De tal forma que puede indicarse que el modelo predijo la fluctuación del número de minas de *L. huidobrensis* en forma satisfactoria ya que el comportamiento de la serie predicha se apega al comportamiento de la serie observada (Cuadro 6 del Apéndice).

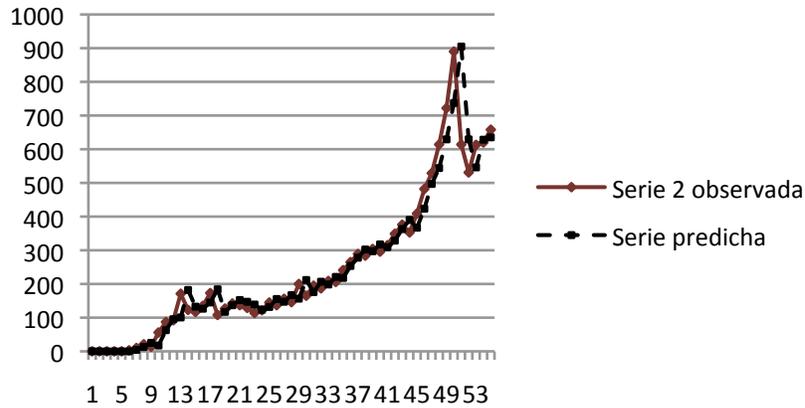


Figura 13. Ajuste del modelo AR (1) a la serie 2.

#### 5.2.4.- Predicción de la serie 2 con el modelo AR (1)

Los valores predichos por el modelo son bastante acertados en relación a los valores originalmente observados en la serie 2 como lo muestra el Cuadro 4 y la Figura 14.

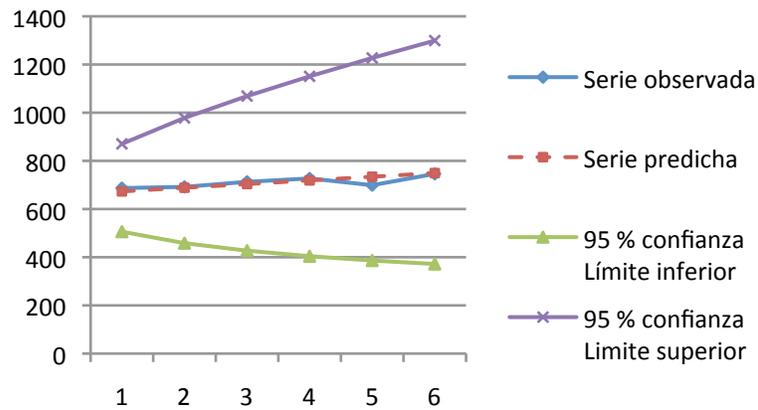


Figura 14. Comparación de la serie 2 observada, las predicciones de las últimas seis observaciones, con límites de predicción al 95%.

Cuadro 4. Valores observados de la serie 2, su predicción a través del modelo AR (1) y sus límites de predicción al 95%.

Periodo	Serie observada	Serie predicha	95 % confianza	
			Límite inferior	Limite superior
56	687	673.23	506.007	870.599
57	692	688.473	458.383	978.265
58	713	703.698	427.183	1068.94
59	727	718.909	404.197	1150.83
60	699	734.102	386.29	1227.06
61	746	749.272	371.875	1299.23

## CONCLUSIONES

Se generaron dos modelos de predicción de la densidad de población de larvas del minador de la hoja de crisantemo *Liriomyza huidobrensis* Blanchard mediante la metodología de Box-Jenkins..

La densidad de población de *L. huidobrensis* incrementa su número en base a la época del año en la que se presente.

Los dos modelos de series de tiempo AR (1) estimados para representar las fluctuaciones poblacionales observadas de *L. huidobrensis*, lograron un buen ajuste al comportamiento real de sus poblaciones.

En ambas series se ajustaron modelos AR (1), lo que implica que se puede predecir las series observadas con un número mínimo de parámetros.

## LITERATURA CITADA

- Alcántara H., F. 1998. Las plagas del crisantemo (*Chrysanthemum morifolium* Ramat): una base para su manejo en el área florícola de Texcoco, México. Tesis profesional. Especialidad de Parasitología Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 108 p.
- Allen, J. C. 1992. Nonlinear dynamic and chaos in insect population models: basics of insect modeling. Monograph 10. American Society of Agricultural Engineers. Minnesota, USA. 221 p.
- Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. 2005. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, D.F. México. [www.siap.sagarpa.gob.mx/ar-comdeanuadin.html](http://www.siap.sagarpa.gob.mx/ar-comdeanuadin.html)
- Arbos L., A. M. 1992. El crisantemo, cultivo, multiplicación y enfermedades. Mundi-Prensa. Madrid, España. 170 p.
- Arneson, H. P. 1989. Principios para modelar sistemas en Manejo Integrado de Plagas. Departamento de Parasitología Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 74 p.
- Bandt, C. 2005. Ordinal time series analysis. *Ecological Modelling* 182(3/4):229-238.
- Blanchard, E. 1926. A dipterous leaf miner on *Cineraria*, new to science. *Rev. Soc. Entomol. Argent.* 1:10-11.
- Brockwell, P. J. and R. A. Davis. 1991. Time series: theory and methods. 2<sup>nd</sup> edition. Springer-Verlag. Colorado, U.S.A. 577 p.

- Bowerman, B. L. and R. T. O'Connell. 1979. Time series analysis forecasting. Duxbury Press. Belmont, California, U.S.A. pp 125-144.
- Box, G. E. P. and G. M. Jenkins. 1976. Time series analysis: forecasting and control. Holden-Day. Oakland, California, U.S.A. 575 p.
- Castillo M., L. E. 2005. Elementos de muestreo de poblaciones. 2<sup>da</sup> edición. Departamento de Parasitología Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 267 p.
- Cortés L., J. J., J. F. Solís A., A. Pérez V. y R. Peña M. 1996. Identificación de pulgones (Homoptera: Aphididae) que atacan los cultivos florícolas de la región de Villa Guerrero, Estado de México. Revista Chapingo. Serie Protección Vegetal 3(1):55-58.
- Coulson, R. N. and J. A. Witter. 1984. Forest Entomology: ecology and management. New York: Wiley. U.S.A. 669 p.
- Chandler, L. D. and C. E. Thomas. 1983. Seasonal population trends and foliar damage of agromyzid leafminers on cantaloupe in the lower Rio Grande Valley. J. Ga. Entomol. Soc. 18:112-120.
- Chatfield, C. 1996. The análisis of time series an introduction. 5<sup>th</sup> edition. Chapman & Hall/CRC. London, England. 280 p.
- Delgado M., A. 1999. Predicción de la fluctuación poblacional de dos especies de *Anasthepha schiner* (Diptera: Tephritidae) en huertos de mango de Actopan, Veracruz mediante modelos de series de tiempo. Tesis de Maestría en Ciencias. Protección Vegetal. Departamento de Parasitología Agrícola. Chapingo, México. 91 p.
- Dole, J.M. and H.F. Wilkins. 2005. Floriculture: principles and species. 2<sup>nd</sup> edition. Pearson Prentice Hall. Upper Saddle River, New Jersey, U.S.A. 1023 p.

- Edminister, T. W. 1978. Concepts for using modeling as a research tool. Technical Manual 520, U. S. Department of Agriculture. Beltsville. 18 p.
- Foster, R. E. and C. A. Sanchez. 1988. Effect of *Liriomyza trifolii* (Diptera: Agromyzidae) larval damage on growth, yield, and cosmetic quality of celery in Florida. *Journal of Economic Entomology* 81: 2380-2384.
- García, E. 1987. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen: para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. Offset/Larios S. A. 4<sup>ta</sup> edición. México, D.F. 217p.
- García M., C. 1981. Lista de insectos y ácaros perjudiciales a los cultivos en México. Fitófilo. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Dirección General de Sanidad Vegetal. México, D.F.. Año XXV, Núm. 86. 196 p.
- Gottman, J. M. 1981. Time-series analysis a comprehensive introduction for social scientists. Cambridge University. 400 p.
- Hamity, A. M. G. de, y L. E. Nader de Roman. 1981. Distribución y fluctuaciones de las poblaciones de *Liriomyza huidobrensis* (Blanchard) en zonas de altura de Jujuy (Diptera: Agromyzidae). *Neotropica* 27: 33-37.
- Harvey, A. C. 1985. Trends and cycles in macroeconomic time series. *Journal of Business & Economic Statistics* 3(3):216-227.
- Harvir Singh, V. S. Malik and Mukesh Kumar. 1996. Role of abiotic factors in seasonal abundance and biology of American serpentine leaf miner, *Liriomyza trifolii* Burgess (Diptera: Agromyzidae) on castor. *Indian Journal of Ecology* 23(1):34-38.

- He, L., Y. Zhang, N. Xiao, J. Wei and R. Kuang. 2002. *Liriomyza huidobrensis* in Yunnan, China: current distribution and genetic structure of a recently established population. *Entomología Experimentalis et Applicata* 102: 213-219.
- Huerta P., R. A. 2000. Diagnóstico agroecológico del cultivo de crisantemo en Texcoco, Méx. y propuestas de manejo para el control de plagas. Tesis de Maestro en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo. Montecillo, México. 170 p.
- Infante G., S., M. O. Álvarez y J. Vera G. 1983. Una aplicación de series de tiempo para poblaciones naturales de insectos. Memoria del V Congreso Nacional sobre Estadísticas Agropecuarias y Forestales. SARH. México. pp. 321-333.
- Jones, P. D. and M. Hulme. 1996. Calculating regional climatic time series for temperature and precipitation: methods and illustrations. *International Journal of Climatology* 16(4):361-377.
- Lange, W. H., A. A. Gricarick, E. C. Carlson. 1957. Serpentine leafminer damage. *California Agriculture* 11:3-5.
- Mawby, W. D. and H. J. Gold. 1984. A reference curve and space-time series analysis of the regional population dynamics of the southern pine beetle (*Dendroctonus frontalis* Zimmermann). *Researches on Population Ecology* 26(2):261-274.
- Morrison, A. C., C. Ferro, R. Pardo, M. Torres, B. Devlin, M. L. Wilson, and R. B. Tesh. 1995. Seasonal abundance of *Lutzomyia longipalpis* (Diptera: Psychodidae) at an endemic focus of visceral leishmaniasis in Colombia. *Journal of Medical Entomology* 32(4):538-548.
- Odum, E. P. 1971. *Fundamentals of ecology*. 3<sup>th</sup> edition. Saunders. Philadelphia, U.S.A. 574 p.
- Parrella, M.P. 1987. Biology of *Liriomyza*. *Annual Review of Entomology* 32:201-224.

- Parrella, M. P., W. W. Allen and P. Marischita. 1981. Leafminer species cause California chrysanthemum growers new problem. *California Agriculture* 35: 28-30.
- Pinto, V. M., J. Vera G., D. Sotres R. y F. Gonzalez C. 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):135-157.
- Redfern, M. and Hunter M. D. 2005. Time tells: long-term patterns in the population dynamics of the yew gall midge, *Toxomyia taxi* (Cecidomyiidae), over 35 years. *Ecological Entomology* 30(1):86-95.
- Reitz, S. R. and J. T. Trumble. 2002. Interspecific and intraspecific differences in two *Liriomyza* leafminer species in California. *Entomología Experimentalis et Applicata* 102: 101-113.
- Richards, O. W. 1961. The theoretical and practical study of natural insect populations. *Annual Review of Entomology* 6:147-162.
- Romero C., S. 1996. Plagas y enfermedades de ornamentales. Universidad Autónoma Chapingo-Secretaría de Agricultura Ganadería y Desarrollo Rural. Chapingo, México. 244 p.
- Scargle, J. D. 1982. Studies in astronomical time series analysis. II-Statistical aspects of spectral analysis of unevenly spaced data. *The Astrophysical Journal* 263: 835.
- Scheffer, S. J. 2000. Molecular evidence of cryptic species within the *Liriomyza huidobrensis* (Diptera: Agromyzidae). *Journal of Economic Entomology*. 93: 1146-1151.

- Shepard, B. M., Samsudin and A. R. Braun, 1998. Seasonal incidence of *Liriomyza huidobrensis* (Diptera: Agromyzidae) and its parasitoids on vegetables in Indonesia. *Internacional Journal of Pest Management* 44:43-47.
- Spencer, K. A. 1973. Agromyzidae (Diptera) of economic importance. The Hague. Netherlands. 418 pp.
- Spencer, K. A. 1987. Agromyzidae. Manual of nearctic diptera. Research Branch Agriculture Canada. Vol. 2. monograph 28. Minister of Supply and Service Canada. Mc Alpine . Ottawa, Canada. pp 869-879.
- Statgraphics Plus Ver. 5.1 Professional. 2001. STSC and Statistical Graphics Corporation. Bickersville Maryland.
- Turchin, P., P. L. Lorio, A. D. Taylor and R. F. Billings. 1991. Why do populations of southern pine beetles (Coleoptera: Scolytidae) fluctuate? *Environmental Entomology* 20(2):401-409.
- Varley, G. C. and G. R. Gradwell. 1970. Recent advances in insect population dynamics. *Annual Review of Entomology* 15:1-24.
- Vera G., J., V. M. Pinto, J. López C. y R. Reyna R. 2002. Ecología de poblaciones de insectos. 2<sup>da</sup> edición. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 157 p.
- Watt, K. E. F. 1961. Mathematical models for use in insect pest control. *Canadian Entomologist Suppl.* 19:1-62.
- Watt, K. E. F. 1962. Use of mathematics in population ecology. *Annual Review of Entomology* 7:243-260.

- Weigend, A. S. and N. A. Gershenfeld. 1994. Time series prediction: forecasting the future and understanding the past. Addison-Wesley. Santa Fe Institute. New, Mexico. 643 p.
- Weintraub, P. G. and A. R. Horowitz. 1995. The newest leafminer pest in Israel, *Liriomyza huidobrensis*. *Phytoparasitica* 23:177-184.
- Williams, D. W. and A. M. Liebhold. 1995. Influence of weather on the synchrony of gypsy moth (Lepidoptera: Lymantriidae) outbreaks in New England. *Environmental Entomologist* 24(5):987-995.
- Zeger, S. L., D. Thomas, F. Dominici, J. M. Samet, J. Schwartz, D. Dockery and A. Cohen. 2000. Exposure measurement error in time-series studies of air pollution: concepts and consequences. *Environ Health Perspect* 108(5):419-426.

## APÉNDICE

**Cuadro 1. Serie 1 observada del número de minas con larva viva contadas por fecha de muestreo, serie predicha y sus residuos.**

Fecha	Observación	Serie 1 observada	Serie predicha	Residuos
23-sep-06	1	0	0.238402	-0.238402
25-sep-06	2	0	0.060931	-0.060931
27-sep-06	3	0	0.060931	-0.060931
29-sep-06	4	0	0.060931	-0.060931
01-oct-06	5	0	0.060931	-0.060931
03-oct-06	6	6	0.060931	5.939069
05-oct-06	7	8	6.98304	1.01696
07-oct-06	8	7	9.07914	-2.07914
09-oct-06	9	10	8.03437	1.96563
11-oct-06	10	0	11.1535	-11.1535
13-oct-06	11	6	0.060931	5.939069
15-oct-06	12	13	6.98304	6.01696
17-oct-06	13	6	14.2372	-8.2372
19-oct-06	14	9	6.98304	2.01696
21-oct-06	15	4	10.1185	-6.1185
23-oct-06	16	7	4.85288	2.14712
25-oct-06	17	6	8.03437	-2.03437
27-oct-06	18	13	6.98304	6.01696
29-oct-06	19	6	14.2372	-8.2372
31-oct-06	20	9	6.98304	2.01696
02-nov-06	21	10	10.1185	-0.1185
04-nov-06	22	6	11.1535	-5.1535
06-nov-06	23	12	6.98304	5.01696
08-nov-06	24	7	13.2123	-6.2123
10-nov-06	25	8	8.03437	-0.03437
12-nov-06	26	5	9.07914	-4.07914
14-nov-06	27	13	5.92343	7.07657

16-nov-06	28	7	14.2372	-7.2372
18-nov-06	29	9	8.03437	0.96563
20-nov-06	30	8	10.1185	-2.1185
22-nov-06	31	7	9.07914	-2.07914
24-nov-06	32	10	8.03437	1.96563
26-nov-06	33	14	11.1535	2.8465
28-nov-06	34	4	15.2595	-11.2595
30-nov-06	35	4	4.85288	-0.85288
02-dic-06	36	7	4.85288	2.14712
04-dic-06	37	23	8.03437	14.96563
06-dic-06	38	46	24.3776	21.6224
08-dic-06	39	58	47.3377	10.6623
10-dic-06	40	49	59.2189	-10.2189
12-dic-06	41	72	50.3125	21.6875
14-dic-06	42	84	73.0307	10.9693
16-dic-06	43	92	84.8377	7.1623
18-dic-06	44	87	92.6962	-5.6962
20-dic-06	45	89	87.7857	1.2143
22-dic-06	46	95	89.7503	5.2497
24-dic-06	47	86	95.6408	-9.6408
26-dic-06	48	79	86.8032	-7.8032
28-dic-06	49	84	79.9211	4.0789
30-dic-06	50	97	84.8377	12.1623
01-ene-07	51	103	97.6032	5.3968
03-ene-07	52	94	103.487	-9.487
05-ene-07	53	87	94.6594	-7.6594
07-ene-07	54	85	87.7857	-2.7857
09-ene-07	55	92	85.8205	6.1795

**Cuadro 2. Función de autocorrelación (FAC) de la serie 1.**

Retardo	Coefficiente	Error estándar	Retardo	Coefficiente	Error estándar
1	0.947115	0.13484	10	0.343888	0.431544
2	0.894027	0.225391	11	0.272929	0.436498
3	0.83905	0.282606	12	0.209446	0.43959
4	0.778864	0.324755	13	0.132436	0.441401
5	0.701478	0.357107	14	0.0614716	0.442123

6	0.622948	0.381338	15	-0.0040776	0.442278
7	0.554619	0.399412	16	-0.0445159	0.442279
8	0.493839	0.413178	17	-0.0908902	0.44236
9	0.427524	0.423774	18	-0.122154	0.4427

**Cuadro 3. Función de autocorrelaciones parciales (FACP) de la serie 1.**

Retardo	Coefficiente	Error estándar	Retardo	Coefficiente	Error estándar
1	0.0947115	0.13484	10	-0.237435	0.13484
2	-0.0291248	0.13484	11	0.0183939	0.13484
3	-0.0463904	0.13484	12	0.014823	0.13484
4	-0.0805887	0.13484	13	-0.15718	0.13484
5	-0.202288	0.13484	14	0.0527245	0.13484
6	-0.0606174	0.13484	15	-0.0375799	0.13484
7	0.0593744	0.13484	16	0.153542	0.13484
8	0.0521533	0.13484	17	-0.092522	0.13484
9	-0.0688624	0.13484	18	0.111045	0.13484

**Cuadro 4. FAC de los residuales del modelo AR (1) de la serie 1.**

Retardo	Coefficiente	Error estándar	Retardo	Coefficiente	Error estándar
1	-0.193617	0.13484	10	-0.113988	0.157187
2	-0.0015558	0.139803	11	-0.0379071	0.158683
3	-0.0478952	0.139804	12	0.126834	0.158847
4	-0.128351	0.140102	13	-0.139653	0.160678
5	0.208333	0.142224	14	0.0651379	0.16287
6	0.0867632	0.147668	15	-0.0336215	0.163343
7	-0.0771543	0.148592	16	-0.0167599	0.163469
8	-0.187761	0.149319	17	-0.136829	0.1635
9	0.176259	0.153551	18	0.0729766	0.165569

**Cuadro 5. FACP de los residuales del modelo AR (1) de la serie 1.**

Retardo	Coefficiente	Error estándar	Retardo	Coefficiente	Error estándar
1	-0.193617	0.13484	10	-0.0700178	0.13484

2	-0.0405639	0.13484	11	-0.205727	0.13484
3	-0.0583419	0.13484	12	0.105689	0.13484
4	-0.156101	0.13484	13	0.0617827	0.13484
5	0.158126	0.13484	14	-0.0681463	0.13484
6	0.160946	0.13484	15	-0.097485	0.13484
7	-0.040365	0.13484	16	0.102559	0.13484
8	-0.226619	0.13484	17	-0.165498	0.13484
9	0.183872	0.13484	18	-0.124245	0.13484

**Cuadro 6. Número de minas con larva viva contadas por fecha de muestreo. Serie 2 observada, serie predicha y sus residuos.**

Fecha	Observación	Serie 2 observada	Serie predicha	Residuos
23-ene-07	1	0	0.43914	-0.42914
25-ene-07	2	0	0.126922	-0.116922
27-ene-07	3	0	0.126922	-0.116922
29-ene-07	4	0	0.126922	-0.116922
31-ene-07	5	0	0.126922	-0.116922
02-feb-07	6	3	0.126922	2.87308
04-feb-07	7	10	4.51284	5.48716
06-feb-07	8	21	12.8569	8.1431
08-feb-07	9	14	25.2003	-11.2003
10-feb-07	10	56	17.4065	38.5935
12-feb-07	11	87	62.8323	24.1677
14-feb-07	12	92	95.3741	-3.37411
16-feb-07	13	171	100.585	70.4151
18-feb-07	14	123	182.096	-59.0963
20-feb-07	15	117	132.728	-15.7281
22-feb-07	16	135	126.526	8.47394
24-feb-07	17	173	145.109	27.8911
26-feb-07	18	108	184.145	-76.1453
28-feb-07	19	127	117.207	9.7931
02-mar-07	20	142	136.858	5.14164
04-mar-07	21	137	152.318	-15.318
06-mar-07	22	129	147.17	-18.1696
08-mar-07	23	114	138.922	-24.9222
10-mar-07	24	122	123.422	-1.4219
12-mar-07	25	145	131.695	13.305
14-mar-07	26	137	155.405	-18.4049
16-mar-07	27	156	147.17	8.8304
18-mar-07	28	146	166.71	-20.7103
20-mar-07	29	200	156.433	43.5665

22-mar-07	30	165	211.757	-46.757
24-mar-07	31	195	175.946	19.0541
26-mar-07	32	187	206.65	-19.6504
28-mar-07	33	209	198.474	10.5263
30-mar-07	34	206	220.942	-14.942
01-abr-07	35	241	217.881	23.1187
03-abr-07	36	265	253.534	11.4658
05-abr-07	37	289	277.92	11.0805
07-abr-07	38	284	302.261	-18.2614
09-abr-07	39	304	297.193	6.80653
11-abr-07	40	296	317.455	-21.4552
13-abr-07	41	315	309.354	5.64639
15-abr-07	42	349	328.588	20.4116
17-abr-07	43	376	362.956	13.0438
19-abr-07	44	353	390.206	-37.2056
21-abr-07	45	409	366.95	42.0046
23-abr-07	46	482	423.465	58.535
25-abr-07	47	529	496.886	32.1141
27-abr-07	48	614	544.062	69.9381
29-abr-07	49	722	629.224	92.7763
01-may-07	50	890	737.189	152.811
03-may-07	51	614	904.714	-290.714
05-may-07	52	531	629.224	-98.2237
07-may-07	53	613	546.068	66.9321
09-may-07	54	620	628.223	-8.22283
11-may-07	55	658	635.228	22.7717

**Cuadro 7. Función de autocorrelación (FAC) de la serie 2.**

Retardo	Coefficiente	Error estándar	Retardo	Coefficiente	Error estándar
1	0.916964	0.13484	10	0.275728	0.399243
2	0.839996	0.22081	11	0.238364	0.40269
3	0.776533	0.272791	12	0.20861	0.405247
4	0.726738	0.310391	13	0.177942	0.407195
5	0.65866	0.339923	14	0.144439	0.408606
6	0.54584	0.362386	15	0.111227	0.409534
7	0.463227	0.377038	16	0.0856205	0.410083
8	0.390815	0.387248	17	0.0614974	0.410407

9	0.326643	0.394354	18	0.033125	0.410575
---	----------	----------	----	----------	----------

**Cuadro 8. Función de autocorrelaciones parciales (FACP) de la serie 2.**

Retardo	Coficiente	Error estándar	Retardo	Coficiente	Error estándar
1	0.916964	0.13484	10	0.145559	0.13484
2	-0.0051905	0.13484	11	0.125347	0.13484
3	0.0442859	0.13484	12	-0.0603499	0.13484
4	0.0557136	0.13484	13	-0.0087832	0.13484
5	-0.132404	0.13484	14	-0.080696	0.13484
6	-0.321874	0.13484	15	-0.141478	0.13484
7	0.0972876	0.13484	16	-0.0175394	0.13484
8	-0.0293345	0.13484	17	0.0260248	0.13484
9	-0.0084639	0.13484	18	-0.031001	0.13484

**Cuadro 9. FAC de los residuales del modelo AR (1) de la serie 2.**

Retardo	Coficiente	Error estándar	Retardo	Coficiente	Error estándar
1	-0.106196	0.13484	10	-0.0333987	0.143613
2	-0.0351336	0.136352	11	-0.0951165	0.143755
3	0.0572941	0.136517	12	-0.0189825	0.144894
4	0.0924521	0.136953	13	-0.0253775	0.14494
5	-0.127053	0.138083	14	0.0880771	0.14502
6	-0.0345273	0.140193	15	-0.125991	0.14599
7	0.0178315	0.140347	16	0.00267885	0.147953
8	-0.149902	0.140388	17	-0.0244244	0.147954
9	-0.0521299	0.143269	18	0.0143565	0.148028

**Cuadro 10. FACP de los residuales del modelo AR (1) de la serie 2.**

Retardo	Coficiente	Error estándar	Retardo	Coficiente	Error estándar
1	-0.106196	0.13484	10	-0.0636717	0.13484
2	-0.0469405	0.13484	11	-0.11347	0.13484

3	0.0490633	0.13484	12	-0.0184254	0.13484
4	0.104091	0.13484	13	-0.063178	0.13484
5	-0.103964	0.13484	14	0.0697058	0.13484
6	-0.057963	0.13484	15	-0.119658	0.13484
7	-0.0103292	0.13484	16	-0.0737831	0.13484
8	-0.152584	0.13484	17	-0.0847112	0.13484
9	-0.0613878	0.13484	18	-0.04852	0.13484