

Distribución espacial y mapeo de gusano soldado en seis localidades del Estado de México, en el año 2011*

Spatial distribution and mapping of armyworm in six localities in the State of Mexico, in 2011

Vicente Esquivel Higuera^{1§} y Yesenia Jasso García¹

¹Facultad de Ciencias Agrícolas-Universidad Autónoma del Estado de México. Centro Universitario el Cerrillo, Toluca, México. Carretera Toluca-Ixtlahuaca, km. 15, entronque al Cerrillo Piedras Blancas. C. P. 50200. [§]Autora para correspondencia: vesquivelh@uaemex.mx.

Resumen

El presente trabajo de investigación, muestra la utilización de la geoestadística para analizar la distribución espacial de gusano soldado *Mythimna unipuncta*, el cual está asociada con fuertes pérdidas económicas en la producción de gramíneas cultivadas, principalmente en maíz *Zea mays* L. El estudio se llevó a cabo en el cultivo de maíz, en 6 localidades de los municipios de Apaxco y Tequixquiac en el Estado de México, en el año 2011. El muestreo se realizó mediante la ubicación geográfica con un GPSmap60. Se tomaron 110 puntos por localidad que presentaron daños de gusano soldado. Con análisis geoestadístico se estimó los semivariogramas experimentales y se ajustaron a un modelo teórico con el programa variowin 2.2, determinado que los modelos gaussiano y esférico, se presentaron en las localidades de estudio. Su ajuste se validó a través de la validación cruzada con el método de interpolación geoestadística o krigado. Con el uso del software geoestadístico surfer 8.0, se elaboraron mapas de agregación de la plaga. Logrando determinar las zonas de mayor incidencia la cual fue de moderado a fuerte. Con el índice de distancia, SADIE permitió caracterizar el patrón espacial de la variable dada dentro de la zona de estudio, el cual fue agrgado.

Palabras clave: *Zea mays* L., geoestadística, Krigado.

Abstract

This research shows the use of geostatistics to analyze the spatial distribution of armyworm *Mythimna unipuncta*; which is associated with high economic losses in the production of gramínea mainly in *Zea mays* L. The study was carried out in maize on 6 localities from the municipalities of Apaxco and Tequixquiac in the State of Mexico, in 2011. Sampling was performed by geographic location with a GPSmap60. 110 points were taken by locality presenting armyworm damage. With geostatistical analysis experimental semivariograms were estimated and fitted to a theoretical model with the program Variowin 2.2, determining that the gaussian and spherical models, were present in the study sites. Its setting was validated through cross validation with geostatistics interpolation or kriging. Aggregation maps of the plague were developed with the use of geostatistical software surfer 8.0. Achieving determine the areas of highest incidence, which went from moderate to strong. With the distance index, SADIE allowed to characterize the spatial pattern of the given variable in the study area, which was added.

Keywords: *Zea mays* L., geostatistics, Kriging.

* Recibido: octubre de 2013
Aceptado: abril de 2014

Introducción

El propósito de este trabajo es mostrar cómo se utilizaron las técnicas geoestadísticas para el manejo de la plaga y así determinar los patrones de distribución a los que se ajusta la población de gusano soldado *Mythimna unipuncta* en el cultivo de maíz, para luego identificar su rango de acción, posibles efectos de agrupamiento y su influencia en zonas aledañas. Aunque la aplicación de la herramienta geoestadística es bastante reciente, son innumerables los ejemplos en los que se ha utilizado esta técnica en estudios ambientales con el ánimo de predecir fenómenos espaciales (Blom, 2002). La distribución espacial de los organismos se ha estudiado considerando las distribuciones estadísticas e índices de dispersión pero no su exacta localización espacial.

Por otro lado, los métodos geoestadísticos proporcionan una medida más directa de la dependencia espacial, debido a que tienen en cuenta la naturaleza bidimensional de la distribución de los organismos a través de su localización espacial, además, permiten elaborar mapas de gran utilidad (Blom, 2002; Isaaks *et al.*, 1989; Oliver y Webster, 1991) para conocer la distribución espacial de los insectos, permiten establecer grados de infestación que requieran un control inmediato, como también detectar posibles preferencias en su estructura de agregación y zonas que no presenten infestación (Rossi *et al.*, 1992; Sciarretta, 2001).

El maíz *Zea mays* L. es el principal cultivar en el Estado de México con más de 75% de su superficie cultivada; representando en el año agrícola 2010 un total de 562 496 ha (SAGARPA, 2010). Este cultivar presenta una problemática fitosanitaria muy variada, en la cual destacan plagas de importancia económica como la gallina ciega *Phyllophaga* sp., *Anomala* sp., *Ciclocephala* sp., etc., gusano alfilerillo *Diabrotica* sp., gusano de alambre *Eleodes* sp., y gusano soldado *Mythimna unipuncta*, *Spodoptera frugiperda* en las diversas regiones agrícolas del Estado de México (SENASICA, 2005).

El conocimiento de la distribución espacial de la plaga es de gran importancia para la elaboración de programas de manejo integrado. Tal conocimiento permite el desarrollo exacto y eficiente de métodos de muestreo, de tácticas de control y de valoración de riesgos (Bressan *et al.*, 2010), (Taylor, 1961; Taylor 1984). La obtención de la distribución espacial de insectos con el uso de la geoestadística ha sido empleada

Introduction

The purpose of this paper is to show how geostatistical techniques were used for pest management and thus determine the distribution patterns of the population of armyworm *Mythimna unipuncta* in maize and then identify its range action, possible clustering effects and its influence on surrounding areas. Although the application of geostatistical tools is fairly recent, there are countless examples where this technique has been used in environmental studies with the aim to predict spatial phenomena (Blom, 2002). The spatial distribution of organisms has been studied considering the statistical distributions and dispersion indices but not its exact spatial location.

Furthermore, geostatistical methods provide a more direct measure of the spatial dependence due to it takes into account the bi dimensional nature of the distribution of organisms through its spatial location, besides allows useful mapping (Blom, 2002; Isaaks *et al.*, 1989; Oliver and Webster, 1991) to determine spatial distribution of insect, allowing to establish the degree of infestation requiring immediate control; as to detect potential preference in their aggregation structure and areas that do not present infestation (Rossi *et al.*, 1992; Sciarretta, 2001).

Zea mays L. is the main cultivar in the State of Mexico with more than 75% of the cultivated area; representing in 2010 a total of 562 496 ha (SAGARPA, 2010). This cultivar shows a varied phytosanitary problem, which include economically important pests such as may beetles *Phyllophaga* sp., *Anomala* sp., *Ciclocephala* sp., etc., corn root worms *Diabrotica* sp., wireworms *Eleodes* sp., and armyworm *Mythimna unipuncta*, *Spodoptera frugiperda* in the various agricultural regions of the State of Mexico (SENASICA, 2005).

Knowledge of the spatial distribution of pest is of great importance for the development of integrated management programs. Such knowledge allows the development of accurate and efficient methods of sampling, control tactics and risk assessment (Bressan *et al.*, 2010.) (Taylor, 1961; Taylor 1984). Obtaining the spatial distribution of insects using geostatistics has been used by (Ramírez *et al.*, 2011) in obtaining the spatial patterns presented by *Bactericera cockerelli* in potato and (Solar *et al.*, 2011) in thrips.

por (Ramírez *et al.*, 2011) en la obtención de los patrones espaciales que presentó *Bactericera cockerelli* en papa y (Solares *et al.*, 2011) en trips.

Por lo que en este contexto se plantearon los siguientes objetivos de a) Determinar y establecer la modelización espacial de *M. unipuncta* en dos municipios del Estado de México; y b) Generar mapas de la superficie infestada de gusano soldado *M. unipuncta* en maíz para el año 2011.

Material y métodos

El estudio se realizó en seis localidades en los municipios de Apaxco y Tequixquiac en el Estado de México, donde se presentó el problema fitosanitario según datos del comité estatal de sanidad vegetal del Estado de México, en el cultivo de maíz. Las localidades donde se realizó el muestreo fueron en potrero de la olla, santa maría Apaxco, tablón grande, tablón chico en el municipio de Apaxco, San Sebastián y el zopilote en el Municipio de Tequixquiac. Para el estudio del comportamiento espacial de Gusano Soldado *M. unipuncta* se realizó un muestreo en parcelas de maíz *Zea mays* L. que presentaron daños, este muestreo se efectuó en cinco puntos por cada predio, cada punto de muestreo corresponde a 1 m², en cada predio se determina la incidencia de población del insecto en los cinco puntos de muestreo por parcela (Lagunés y Montoya, 1994). Cada unidad de muestreo se georeferenció utilizando un GPSmap60 garmin. Se realizó una exploración estadística de los datos originales de las poblaciones y se completó con un total de 110 puntos por cada localidad de estudio. El análisis geoestadístico consistió de los siguientes pasos: a) estimación de semivariograma; b) estimación de los parámetros de semivariograma; y c) estimación de la distribución espacial utilizando puntos a través de kriging.

La estimación del semivariograma se realizó con los datos recopilados en los sitios de muestreo de la presencia de la plaga en las seis localidades de los dos Municipios. El valor experimental semivariograma se calculó según la siguiente fórmula: (Isaaks y Srivastava, 1989).

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i + h) - z(x_i)]^2$$

Donde: $\gamma^*(h)$ es el valor experimental del semivariograma para el intervalo de distancia h . $N(h)$ es el número de pares de puntos muestrales separados por el intervalo de distancia h ; z

Por lo que en este contexto se plantearon los siguientes objetivos de a) determinar y establecer la modelización espacial de *M. unipuncta* en dos municipios del Estado de México; y b) generar mapas de la superficie infestada de gusano soldado *M. unipuncta* en maíz para el año 2011.

So in this context the following objectives were raised a) determine and establish the spatial modeling of *M. unipuncta* in two municipalities of the State of Mexico; and b) generate maps of infested areas of armyworm *M. unipuncta* in maize for 2011.

Materials and methods

The study was conducted in six localities from the municipalities of Apaxco and Tequixquiac in the State of Mexico, where a phytosanitary problem presented, according to data of the State Committee of Plant Health from the State of Mexico, in maize. The location where sampling was performed were potrero de la olla, Santa María, Apaxco, tablón largo, tablón chico in the municipality of Apaxco, San Sebastian and zopilote in the municipality of Tequixquiac. To study the spatial behavior of armyworm *M. unipuncta* sampling was conducted in plots of maize *Zea mays* L. that had damage, this sampling was conducted in five points of each parcel, and each sampling point corresponds to 1 m², in each property the incidence of insect population was determined in the five sampling points per plot (Lagunes and Montoya, 1994). Each sampling unit is georeferenced using a garmin GPSmap60. A statistical examination of the original data of populations was conducted and completed a total of 110 points for each study site. Geostatistical analysis consisted of the following steps: a) estimating semivariogram; b) estimation of semivariogram parameters; and c) estimation of the spatial distribution using points through kriging.

The estimation of semivariogram was performed with data collected in the sampling sites with presence of the pest in the six localities of the two municipalities. The experimental semivariogram value was calculated using the following formula: (Isaaks and Srivastava, 1989).

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i + h) - z(x_i)]^2$$

Where: $\gamma^*(h)$ is the experimental semivariogram value for the distance interval h . $N(h)$ is the number of pairs of sample points separated by distance interval h ; $z(x_i)$ is the value of

(x_i) es el valor de la variable de interés en el punto muestreo x_i , y $z(x_i + h)$ es el valor de la variable de interés en el punto muestral $x_i + h$. Para la realización del semivariograma experimental correspondiente a cada muestreo de cada localidad se empleara el programa Variowin 2.2 software for spatial data analysis in 2D. spring verlag, New York; USA. El semivariograma experimental se ajustó a algún semivariograma teórico.

Los modelos teóricos comúnmente usados para ajustar los semivariogramas experimentales son: esférico, exponencial, gaussiano, logarítmico, efecto pepita puro, efecto agujero y el monómico (Armstrong y Jabin, 1981; Samper y Carrera, 1996; Trematerre y Sciarretta, 2002). La validación del modelo teórico: se realizó de forma que sucesivamente en que todos los puntos muestreados se determinaron las diferencias entre valores experimentales y estimados con los estadísticos de validación cruzada (Hevesi *et al.*, 1992; Isaaks y Srivastava, 1989). Los parámetros del modelo a validar (C_0 , efecto pepita, C , meseta y a , rango o alcance) se van modificando con el procedimiento de ensayo y error hasta la obtención de estadísticos de validación cruzada adecuados. El nivel de dependencia espacial se calculó con el fin de determinar la fortaleza de la relación entre los datos recogidos en el muestreo es. Éste valor se obtiene al dividir el efecto de pepita entre el borde inferior, expresado en porcentaje: menos de 25% es alto, entre 26 y 75% es moderada y superior al 76% bajo (Cambardella *et al.*, 1994; López *et al.*, 2002). La elaboración de mapas, se realizó mediante la interpolación de valores a través del "krigeado" ordinario que permite la estimación no sesgada de valores asociados a puntos que no fueron muestreados.

Las estimaciones obtenidas fueron representadas en forma de mapa para cada localidad de muestreo de gusano soldado mediante el uso del programa Surfer 8.0 surface mapping system, golden Software Inc. 809, 14th street. golden, Colorado 80401-1866, EE.UU. El resultado final del kriging es un mapa con los valores interpolados de la variable (Isaaks y Srivastava, 1989).

El análisis espacial por índices de distancia SADIE: es establecer el modelo espacial de una población muestreada midiendo la distancia a la cual pueden desplazarse los individuos de la muestra observada (Perry *et al.*, 1995a). Mediante el índice de la distancia para la regularidad I_a para el establecimiento de la estructura espacial de las poblaciones de insectos. El diagnóstico de la interpretación y un índice nuevo para estimar el número de focos de agrupamiento de una población, el índice J_a . Además señaló que la escala de

the variable of interest in the sample point x_i and $z(x_i + h)$ is the value of the variable of interest in the sampled point $x_i + h$. To determine the experimental semivariogram for each sample in each locality was used the Variowin 2.2 software for spatial data analysis in 2D. Spring verlag, New York; USA. The experimental semivariogram was adjusted to a theoretical semivariogram.

Theoretical models commonly used to fit the experimental semivariograms are spherical, exponential, Gaussian, logarithmic, pure nugget effect, hole effect and monomic (Armstrong and Jabin, 1981; Samper and Carrera, 1996; Trematerre and Sciarretta, 2002). Validation of the theoretical model is successively performed so that in all sampled points were determined the differences between experimental values and estimated by the statistical cross-validation (Hevesi *et al.*, 1992; Isaaks and Srivastava, 1989). The validated model parameters (C_0 , nugget effect, C , meseta and a , range or scope) are modified with the trial procedure and error until obtention of adequate statistical cross-validation. The level of spatial dependence was calculated to determine the strength of the relationship between data collected in the sampling. This value is obtained by dividing the nugget effect between the bottom edge, expressed as a percentage: less than 25% is high, between 26 and 75% moderate and higher than 76% low (Cambardella *et al.*, 1994; López *et al.*, 2002). The mapping was performed by interpolating values through ordinary "kriging", allowing to estimate unbiased values associated to points that were not sampled.

The estimates obtained were represented in map form for each locality sampled of armyworm using the program Surfer 8.0 surface mapping system, Golden Software Inc. 809, 14th street. Golden, Colorado 80401-1866, USA The final result of kriging is a map with the interpolated values of the variable (Isaaks and Srivastava, 1989).

The spatial analysis by distance index SADIE; is to establish the spatial model of a sampled population, measuring the distance to which individuals can move from the observed sample (Perry *et al.*, 1995a). Through the distance index for regularity I_a to establish the spatial structure of insect populations. The interpretation of the diagnosis and J_a a new index to estimate the number of grouping outbreaks in a population. Besides it was noted that the scale of sampling is an important determinant of the overall spatial pattern. It was confirmed that the regular distance for regularity (D) provides the most adequate base

muestreo es un determinante importante del patrón espacial total. Se corroboró que la distancia para la regularidad (D) proporciona bases más adecuadas para elaborar un índice (Perry, 1995b). Una de las metas de la agricultura de precisión es dirigir las medias de control sobre las zonas específicas de infestación del gusano soldado *M. unipuncta*. Lo cual determinaría un posible ahorro económico y una reducción de la cantidad del volumen de insecticida aplicado.

Resultados y discusión

Con los datos de los muestreos fue posible estimar el porcentaje de incidencia en las seis localidades de los municipios de Apaxco y Tequixquiac. En las localidades tablón chico, tablón grande, Santa María Apaxco y potrero de la olla municipio de Apaxco, se presentó una incidencia promedio de 4.57 a 6.39% considerada como fuerte, en las localidades de San Sebastián y el zopilote municipio de Tequixquiac se presentó una incidencia promedio de 4.74 y 6.87%, considera como fuerte. La mayor incidencia en campo se presentó en las localidades de tablón chico, San Sebastián y el zopilote con 10%, como se muestra en la (Cuadro 1). La superficie total de incidencia de la plaga en los dos municipios de estudio fue de 209.5 ha (Cuadro 1) en el año 2011.

Cuadro 1. Superficie afectada e incidencia de gusano soldado *Mythimna unipuncta*, por municipio y localidad en el Estado de México en el año 2011.

Table 1. Affected area and incidence of armyworm *Mythimna unipuncta*, by municipality and locality in the State of Mexico in 2011.

Municipio	Localidad	Superficie (ha)	Incidencia (%)	Incidencia promedio (%)
Apaxco	Potrero de la Olla	25	2-9	4.57
	Santa María Apaxco	31.6	3-7	5.09
	Tablón Chico	27.9	4-10	6.39
	Tablón Grande	42.8	3-8	4.84
Tequixquiac	San Sebastián	29.6	4-10	6.87
	El Zopilote	52.6	3-10	4.74
Total		209.5		

Los modelos de la distribución espacial de gusano soldado en las seis localidades analizadas se lograron validar con los parámetros estadísticos al ubicarse dentro del rango permisible (Cuadro 2).

to elaborate an index (Perry, 1995b). One of the goals of precision agriculture is to direct control measures over specific areas of armyworm *M. unipuncta* infestation. This could determine possible cost savings and a reduction in the volume of insecticide.

Results and discussion

With the sampling data was possible to estimate the incidence rate in the six localities of the municipalities of Apaxco and Tequixquiac. In the localities tablón chico, tablón grande, Santa María Apaxco and potrero de la olla municipality of Apaxco, presented an average incidence of 4.57 to 6.39% considered as strong; in the localities of San Sebastian and municipality of Tequixquiac presented an average incidence of 4.74 and 6.87%, considered as strong. The highest incidence occurred in in the localities of tablón chico, San Sebastian and Zopilote with 10%, as shown in (Table 1). The total area of pest incidence in the two municipalities of study was 209.5 ha (Table 1) in 2011.

The models of the spatial distribution of armyworm in the six localities were validated with statistical parameters by being within the allowable range (Table 2).

The semivariograms of four localities were fitted to the model with a spherical spatial structure and two locations were fitted to the Gaussian model (Table 3), indicating a spatial structure aggregate of armyworm *M. unipuncta* in the study areas.

Cuadro 2. Valores de los estadísticos de la validación cruzada de los semivariogramas obtenidos en el muestreo por localidad de gusano soldado *Mythimna unipuncta*.

Table 2. Statistical values of cross-validation of the semivariograms obtained in the sampling by locality of armyworm *Mythimna unipuncta*.

Municipio	Localidad	Tamaño de muestra	Media muestral	Varianza muestral	MEE	Varianza de los errores	ECM	ECMA
Apaxco	Tablón Grande	110	3.082	7.384	0.1 ^{ns}	5.8529	0.05	1.11
	Tablón Chico	110	3.427	11.772	0.11 ^{ns}	9.7752	0.08	1.1
	Santa María Apaxco	110	2.682	7.217	0.12 ^{ns}	6.2374	0.04	1.09
	Potrero de la olla	110	2.245	7.785	0.1 ^{ns}	6.1063	0.07	1.11
Tequixquiac	San Sebastián	110	3.873	13.493	0.11 ^{ns}	11.7361	0.05	1.12
	El Zopilote	110	3.664	6.532	0.13 ^{ns}	4.0852	0.1	1.11

* $1 \pm 2(2/N)0.5 = 1 \pm 0.45$. Ns= no significativo al $p \leq 0.05$. Media de los errores de estimación (MEE); error cuadrático medio= ECM; error cuadrático medio adimensional= ECMA; ns= no significativo.

Los semivariogramas de cuatro localidades se ajustaron al modelo con una estructura espacial esférico y dos localidades se ajustaron al modelo gaussiano (Cuadro 3), indicando una estructura espacial agregada de gusano soldado *M. unipuncta* en las zonas de estudio.

Los parámetros estadísticos de la validación cruzada (Cuadro 2) permitieron validar los semivariogramas experimentales ajustándolos a modelos teóricos, los semivariogramas de dos localidades se ajustaron al modelo gaussiano y cuatro localidades se ajustaron al modelo con una estructura

Cuadro 3. Parámetros de los modelos teóricos ajustados a los semivariogramas de gusano soldado *Mythimna unipuncta*, por municipio y localidad en el Estado de México en el año 2011.

Table 3. Parameters of theoretical models fitted to the semivariogram of armyworm *Mythimna unipuncta* by municipality and locality in the State of Mexico in 2011.

Municipio	Localidad	Modelo	Pepita	Meseta	Alcance o rango	P/M (%)	NDE
Apaxco	Tablón Grande	Esférico	0.074	3.778	684	1.96	Alta
	Tablón Chico	Esférico	0.24	6.857	397.3	3.5	Alta
	Potrero de la Olla	Gaussiano	0.078	6.377	249.2	1.22	Alta
	Santa María Apaxco	Gaussiano	0.219	6.178	380.7	3.54	Alta
Tequixquiac	San Sebastián	Esférico	0.14	11.894	528	1.18	Alta
	El Zopilote	Esférico	0.066	4.252	355.2	1.55	Alta

*NDE= nivel de dependencia espacial; *P/M%= pepita/meseta en (%).

Los parámetros estadísticos de la validación cruzada (Cuadro 2) permitieron validar los semivariogramas experimentales ajustándolos a modelos teóricos, los semivariogramas de dos localidades se ajustaron al modelo gaussiano y cuatro localidades se ajustaron al modelo con una estructura espacial esférico (Figura 1, Cuadro 3). Indicando una estructura espacial agregada de gusano soldado *M. unipuncta* en las zonas de estudio.

espacial esférico (Figura 1, Cuadro 3). Indicando una estructura espacial agregada de gusano soldado *M. unipuncta* en las zonas de estudio.

The statistical parameters of cross-validation (Table 2) allowed validation of experimental semivariograms fitting them to theoretical models, semivariograms of two localities were fitted to Gaussian model and four locations were fitted

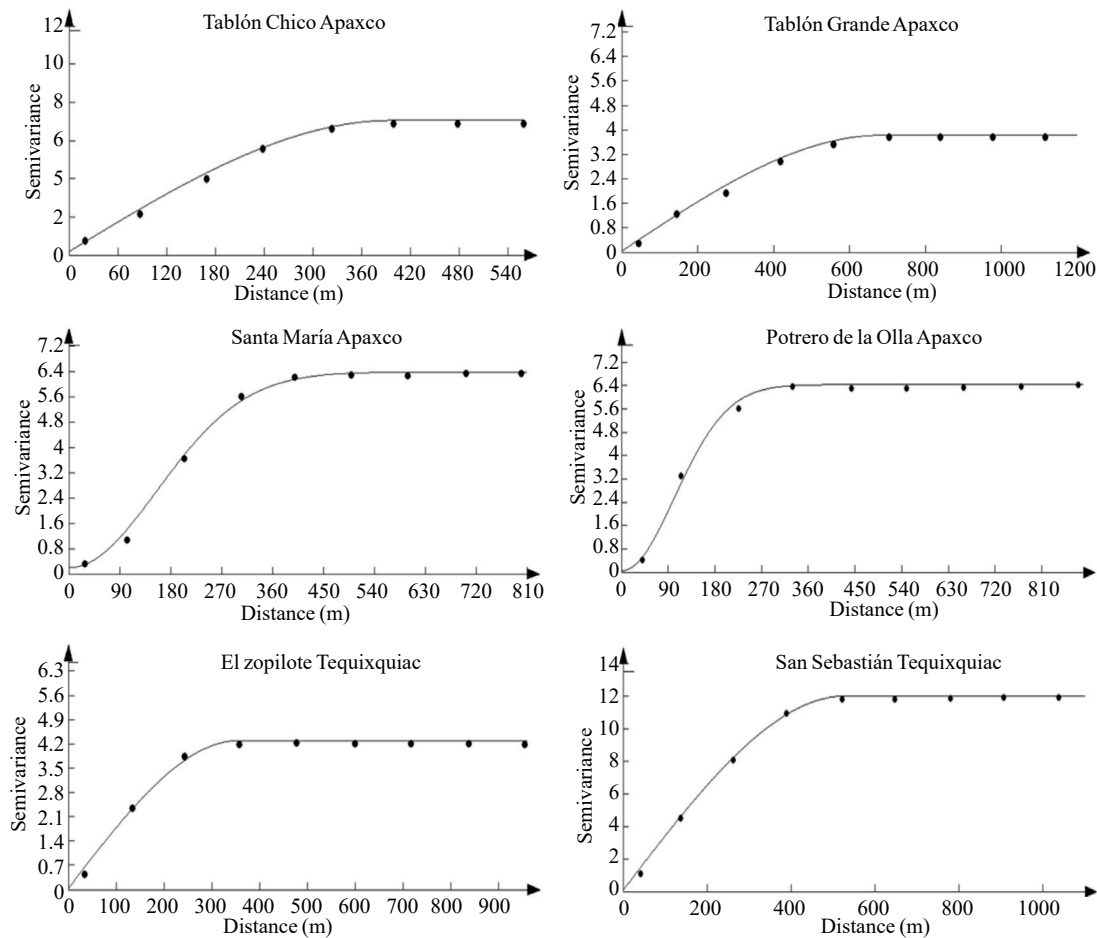


Figura 1. Semivariogramas de gusano soldado *Mythimna unipuncta* obtenidos de seis localidades, ajustados a los modelos esférico y gaussiano en el año 2011.

Figure 1. Semivariograms of armyworm *Mythimna unipuncta* obtained from six localities fitted the spherical and Gaussian models in 2011.

Los semivariogramas de los modelos obtenidos, los seis presentaron valores del efecto pepita cercanos a cero, lo cual indica que en su totalidad de la variación de la distribución de la plaga se explicó por la estructura espacial en los semivariogramas (Cuadro 3). Los valores encontrados en los rangos de los modelos teóricos ajustados a los semivariogramas fueron entre 249.2 a 684.0 m, lo cual explica los diferentes tipos de agregación de la plaga de Gusano soldado (*M. unipuncta*) en las zonas de estudio. Los valores dentro del rango apropiado de los estadísticos de validación cruzada permitieron validar los modelos de los semivariogramas. El nivel de dependencia espacial encontrada en las seis localidades de estudio fue alta (Cuadro 3).

Los mapas obtenidos de la superficie infestada en los muestreos de las seis localidades, las poblaciones de gusano soldado se ubicaron en centros de agregación, es decir

to the model with a spherical spatial structure (Figure 1, Table 3); indicating a spatial structure aggregate of armyworm *M. unipuncta*, in the study areas.

The semivariogram from the models, six showed values from the nugget effect close to zero, indicating that all the variation of the pest distribution was explained by the spatial structure in the semivariograms (Table 3). The values found in the range of the theoretical models were fitted to the semivariograms between 249.2 to 684.0 m, which explains the different types of aggregation of the plague Armyworm (*M. unipuncta*) in the study areas. The values within the appropriate range of statistical cross-validation allowed validation of the semivariogram models. The level of spatial dependence found on the six study sites was high (Table 3).

su distribución se localiza en puntos específicos o focos de incidencia distribuidos en la zona de estudio. Las del municipio de Apaxco muestran centros de agregación en la región central del mapa con tendencias hacia a las orillas del mismo. Las dos localidades de municipio de Tequixquiac mostraron centros de agregación muy focalizados en los mapas, pero con una uniformidad en donde se presentan los focos de infestación (Figura 2).

Maps obtained from the infected areas in the samplings from the six localities, armyworm populations were located in centers of aggregation; i.e. its distribution is located at specific points or incidence outbreaks distributed in the study zone. The municipality of Apaxco show aggregation centers in the central region of the map with trends towards the sides of the same. The two locations from the municipality of Tequixquiac showed

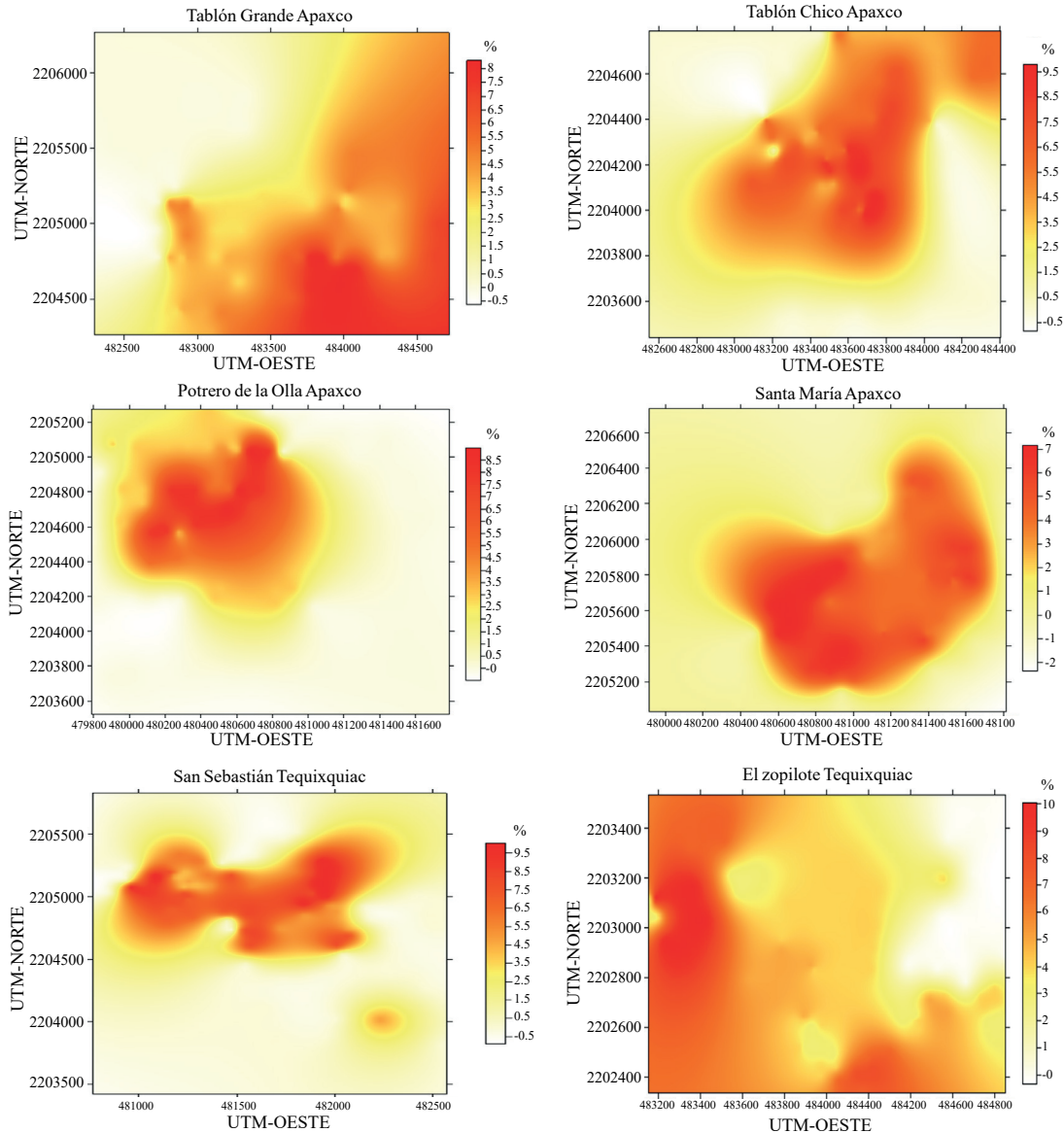


Figura 2. Semivariogramas de gusano soldado *Mythimna unipuncta*, obtenidos en las seis localidades para el año 2011. Figure 2. Semivariograms of armyworm *Mythimna unipuncta* obtained in six localities for 2011.

Las localidades con los mayores porcentajes de superficie estimada sin infestación fueron: potrero de la olla con 31% y El zopilote con 34%. Por otra parte las localidades

aggregation centers very focused on the maps, but with uniformity where the infestation outbreaks are present (Figure 2).

con un mayor porcentaje de superficie estimada infestada fueron: tablón chico, tablón grande, San Sebastián y Santa María Apaxco con infestación de 77 a 94%, ninguna de las localidades presento área de infestación de 100%, (Figura 2).

Los datos obtenidos con la aplicación del índice de distancia SADIE indicaron que el índice I_a fue significativamente superior a 1, lo cual señala que la distribución de gusano soldado es de tipo agregada. El índice J_a el valor mayor se dio en la localidad de Santa María Apaxco municipio de Apaxco con 1.21 y el menor valor en la localidad de San Sebastián municipio de Tequixquiac con 1.11, como se muestra en la (Cuadro 4). El índice J_a en las seis localidades también fue superior a la unidad, por lo que se confirma la agregación de gusano soldado. La distribución agregada de las poblaciones de gusano soldado se manifiesta en cada uno de los mapas obtenidos (Figura 2), lo que corrobora lo establecido por los índices I_a y J_a . En los mapas obtenidos se alcanza a observar los diferentes focos de agregación de las poblaciones de gusano soldado en las seis localidades de estudio.

Localities with the highest percentages of estimated area without infestation were: potrero de la olla with 31% and zopilote with 34%. Moreover the localities with higher percentage of estimated infested area were: tablón chico, tablón grande, San Sebastián and Santa María Apaxco, with infestation of 77 to 94%, none of the localities presented an infestation area of 100% (Figure 2).

Data obtained with the application of distance index SADIE, indicated that I_a index was significantly greater than 1, which indicates that the distribution of armyworm is aggregate type. The J_a index gave the highest value in the locality of Santa María Apaxco, municipality of Apaxco with 1.21 and the lowest value in the locality of San Sebastián Tequixquiac with 1.11, as shown in (Table 4). The J_a index in six localities was also greater than the unit, so that the aggregation of armyworm is confirmed. The aggregate distribution of armyworm populations is manifested in each of the maps obtained (Figure 2);

Cuadro 4. Valor de los índices I_a y J_a y sus respectivas probabilidades en P_a y Q_a en la población de gusano soldado *Mythimna unipuncta*, por municipio y localidad en el Estado de México.

Table 4. Value of I_a and J_a index and their respective probabilities in P_a and Q_a in the armyworm population *Mythimna unipuncta* by municipality and locality in the State of Mexico.

Municipio	Localidad	I_a	P_a	J_a	Q_a
Apaxco	Tablón Grande	1.49	0.01 ^s	1.12	0.241 ^{ns}
	Tablón Chico	1.51	0.016 ^s	1.17	0.209 ^{ns}
	Santa María Apaxco	1.6	0.011 ^s	1.21	0.273 ^{ns}
	Potrero de la olla	1.55	0.013 ^s	1.15	0.178 ^{ns}
Tequixquiac	San Sebastián	1.53	0.012 ^s	1.11	0.174 ^{ns}
	El Zopilote	1.61	0.008 ^s	1.14	0.131 ^{ns}

Ns= no significativo al 5% y s= significativo al 5%.

La incidencia promedio de la plaga se presentó de moderada a fuerte en año 2011, lo cual indica un comportamiento de agregación considerado como fuerte. Esto fue debido a que el insecto encontró algunos factores climáticos: sequía media y humedad relativa alta como lo describe (López y Eizaguirre, 2000) en Vuelos de la defoliadora de maíz, pastos y céspedes, *Mythimna Pseudaletia unipuncta*, Haworth en la zona de Lleida en el cultivo de maíz. El nivel de dependencia espacial en las seis localidades se obtuvo al dividir el efecto pepita entre la meseta y se expresó el resultado en porcentaje. Este fue menor a 25% por lo que el nivel de dependencia espacial en todas las localidades fue alto, lo que indico una distribución agregada de la plaga de gusano soldado (Cambardella *et al.*, 1994, López *et al.*, 2002).

which corroborates the established by I_a and J_a index. In the obtained maps can be seen the different points of aggregation of armyworm populations in the six study sites.

The average of the pest was from moderate to strong in 2011, indicating an aggregation behavior, considered as strong. This was due to the insect found some climate factors: intermediate drought and high relative humidity as described (López and Eizaguirre, 2000) in flight of the defoliating corn, pastures and lawns, *Mythimna Pseudaletia unipuncta*, Haworth in the area of Lleida in maize. The level of spatial dependence in the six locations was obtained by dividing the nugget effect between the

El comportamiento de tipo agregado en las poblaciones de gusano soldado en el cultivar de maíz, permite sugerir que la reducción de sus infestaciones se puede lograr al focalizar las estrategias de manejo hacia puntos específicos o focos de infestación en donde se ubica los puntos de agregación y se visualizan a través de los mapas generados, concordando con lo propuesto por (Rong *et al.* 2006) para el manejo de *Locusta migratoria manilensis* Meyen en puntos específicos. El valor cercano a cero en el efecto pepita en las seis localidades indica que el error de muestreo fue mínimo y que la escala de muestreo para cada localidad fue el adecuado (Rong *et al.*, 2006), lo que significó que 100% que la variación de la distribución del gusano soldado se explicó por la estructura espacial establecida en los semivariogramas respectivos.

Las localidades que se ajustaron a un modelo esférico, indica que existen zonas donde se manifiesta más la plaga de gusano soldado; es decir, los centros de agregación son aleatorios dentro de la zona de infestación de la parcela, posiblemente como resultado del tipo de propagación del insecto que se da a través de un crecimiento rápido cercano al origen, lo cual origina infestaciones en zonas específicas, dichas zonas se observan en los mapas obtenidos. Los incrementos marginales van decreciendo para distancias grandes, hasta que para distancias superiores al rango los incrementos son nulos, esto es debido a las condiciones de temperatura y fenología del cultivo de maíz (Shaoxiang y Jeffrey, 2002). Las localidades que se ajustaron a un modelo Gaussiano, indicaron que la plaga se expresó en forma continua dentro de las parcelas de maíz, lo que implica el avance de las infestaciones en parcelas aledañas a pesar de que nunca alcanzó una infestación del 100%, como se puede observar en los mapas obtenidos, esto nos permitió afinar la existencia de diversos factores de medio ambiente que le favorece, como son las condiciones de humedad una menor temperatura en el desarrollo de las poblaciones de gusano soldado, debido a que su desarrollo de la larval es más rápido (Gregory y Ranney, 2001). La alta dependencia espacial permite suponer que las poblaciones de gusano soldado dependen entre si y su nivel de agregación es alto (Rossi *et al.*, 1992).

La determinación de una estructura agregada en la modelización de la distribución espacial de gusano soldado en el cultivar de maíz se logró realizar con el uso de la geoestadística. Dicha modelización concuerda con lo encontrado por (Bressan *et al.*, 2010) con *Pentastiridius leporinus* L, en campos de trigo, también por (Sciarreta y Trematerra, 2011) de la mosca mediterránea de la fruta,

meseta and the result was expressed as a percentage. This was less than 25%, so the level of spatial dependence at all locations was high, which indicated an aggregated distribution of the armyworm (Cambardella *et al.*, 1994; López *et al.*, 2002).

The aggregate type behavior in populations of armyworm in maize, allows to suggest that the reduction of their infestations can be achieved by focusing management strategies to specific points or outbreaks of infestation where aggregation points are located and visualized through the generated maps, in agreement with that proposed by (Rong *et al.*, 2006) for the management of *Locusta migratoria manilensis* Meyen at specific points. The close to zero value in the nugget effect in the six localities indicates that the sampling error was minimal and that the scale of sampling for each locality was adequate (Rong *et al.*, 2006), which meant that 100% of the variation in the distribution of armyworm was explained by the respective semivariograms established in spatial structure.

The localities that were fitted to a spherical model, indicate that there are areas where the armyworm infestation manifest more; i.e., the centers of aggregation are random within the area of infestation of the plot; possibly as a result of the type of propagation of the bug, that is given through a rapid growth near the origin, which causes infestations in specific areas; such areas are seen in the maps. Marginal increases are decreasing for large distances, up to distances greater than the range where increases are inexistent; this is due to the conditions of temperature and crop phenology (Shaoxiang and Jeffrey, 2002). Localities that were fitted to a Gaussian model, indicated that the pest was expressed continuously within maize plots; which means the progress of the infestation to neighboring plots despite it never reached 100% infestation, as can be seen in the maps; this allowed us to refine the existence of various environmental factors favoring it, such as humidity conditions, low temperature in the development of armyworm populations, due to their larval development is faster (Gregory and Ranney, 2001). High spatial dependence suggests that armyworm populations depend on each other and their aggregation level is high (Rossi *et al.*, 1992).

The determination of an aggregated structure in modeling the spatial distribution of armyworm in maize was achieved with the use of geostatistics. This modeling is consistent with findings by (Bressan *et al.*, 2010) with *Pentastiridius*

Ceratitis capitata en huertos mixtos melocotón en centro de Italia. Así como (Ramírez *et al.*, 2011) en *Bactericera cockerelli* y (Solares *et al.*, 2011) en trips.

El análisis geoestadístico de la plaga de gusano soldado en el Estado de México, demostró ser apropiado para determinar los patrones espaciales y la elaboración de mapas de distribución espacial y concuerda con lo encontrado por (Jiménez *et al.*, 2008) en *Curculio elephas* Gyllenhal en encina *Quercus ilex* L. en una dehesa del sur de España.

En los mapas de densidad se observan los centros de agregación de las poblaciones de gusano soldado, que desde el punto de vista Fitosanitario permite dirigir de forma precisa las diferentes medidas de control del insecto (Fleischer *et al.*, 1997; Rong *et al.*, 2006) generando beneficios económicos al realizar las aplicaciones de plaguicidas en puntos muy específicos de los cultivos de maíz (Fleischer *et al.*, 1999), además nos permite visualizar la variabilidad poblacional e identificar áreas infestadas y libres de infestación. Dichos mapas pueden conducir al manejo con precisión de plaga tal como lo mencionan (Fleischer *et al.*, 1997). Paralelamente (Weisz *et al.*, 1996) señalan que los mapas pueden llegar a ser de gran ayuda en el manejo con precisión de insectos plaga, proporcionando una herramienta para obtener ahorros económicos al reducir la cantidad de insecticida a utilizar. Los mapas permitieron identificar áreas infestadas y libres de infestación, tal apreciación permite indicar que la plaga de gusano soldado no invade 100% de la superficie de los cultivos de maíz en la región oriente del Estado de México.

La determinación de áreas libres de infestación de gusano soldado dentro de los cultivos de maíz, concuerdan con lo reportado por (Ramírez y Porcayo *et al.*, 2008) quienes obtuvieron mapas con áreas libres de infestación de *Jacobiasca libica* en viñedos. El conocimiento de las áreas infestadas de gusano soldado permite precisar el posible ahorro económico obtenido con la implementación de estrategias de control dirigidas a los centros de agregación (Sciarretta y Trematerra, 2006).

Con respecto a los resultados de análisis espacial por índice de distancia SADIE de gusano soldado *M. unipuncta*, por municipio y localidad. Para identificar el valor del índice I_a en todos los casos es superior a uno de forma significativa en las diez localidades. Éste hecho afirma que indica una distribución espacial agregada de las poblaciones de gusano soldado en él. El índice J_a también registró valores superiores de la unidad, lo que permite confirmar la agregación hallada

leporinnus L., in wheat fields, also by (Sciarretta and Trematerra, 2011) in the Mediterranean fruit fly, *Ceratitis capitata* in peach orchards in center Italy; as (Ramírez *et al.*, 2011) in *Bactericera cockerelli* and (Solares *et al.*, 2011) in trips.

Geostatistical analysis of the armyworm infestation in the State of Mexico proved suitable to determine the spatial patterns and mapping of spatial distribution and is consistent with the findings of (Jiménez *et al.*, 2008) in *Curculio elephas* Gyllenhal in oak *Quercus ilex* L. in a dehesa in southern Spain.

In the density maps are observed the aggregation centers of armyworm populations, from the phytosanitary point of view allows us to precisely direct different control measures (Fleischer *et al.*, 1997; Rong *et al.*, 2006) generating economic benefits by making pesticide applications at very specific points (Fleischer *et al.*, 1999), also allows us to visualize the population variability and identify infested areas and free of infestation. Such maps may lead to accurate pest management as mentioned (Fleischer *et al.*, 1997). Parallel (Weisz *et al.*, 1996) indicate that the maps can become of great help in accurately management of insect pests, providing a tool for economic savings by reducing the amount of insecticide. The maps helped to identify infested areas free of infestation; such assessment allows indicating that the armyworm does not invade 100% of the crop area in the eastern region of the State of Mexico.

The determination of free areas of armyworm in maize cultivars, are consistent with those reported by (Ramírez and Porcayo *et al.*, 2008) who obtained maps with free areas if *Jacobiasca libica* in vineyards. Knowledge of infested areas with armyworm allows specifying the possible financial savings achieved with the implementation of control strategies aimed at aggregation centers (Sciarretta and Trematerra, 2006).

Regarding, the results of spatial analysis by distance index SADIE of armyworm by municipality and locality. To identify the value of I_a index in all cases is greater than one significantly in the ten locations. This fact indicates an aggregate spatial distribution of armyworm population on it. The J_a index also recorded higher values than the unit, allowing to confirm the aggregation found by I_a index. Such indexes set with SADIE have the great advantage over classical statistical indices that take into account the

con el índice I_a . Este tipo de índices establecidos con el SADIE tienen la gran ventaja sobre los índices de estadística clásica en que tienen en cuenta la localización espacial de la muestra, además de ser más intuitivos y biológicos que los índices no espaciales (Perry, 1995a). El índice J_a también indica si la estructura espacial agregada se encuentra dispuesta en uno o varios centros de agregación. En el presente estudio, basándonos en el índice J_a encontramos la existencia de varios centros de agregación. También en el caso de la utilización del SADIE, para establecer el tipo de distribución de este insecto, sería interesante en trabajos posteriores analizar el patrón espacial con datos a diferentes escalas y a través de diversos periodos de tiempo, tal y como lo sugiere de forma general para el comportamiento espacial de insectos (Perry, 1998; Ferguson *et al.*, 2000). Dichos resultados concuerdan con la distribución espacial determinada en otros insectos y entes biológicos tales como las obtenidas por (Ramírez *et al.*, 2011) en *Bactericera cockerelli* (Solares *et al.*, 2011) en trips y (Ramírez *et al.*, 2009) en muérdago enano *Arceuthobium* sp.

Conclusiones

La distribución espacial de Gusano Soldado *Mythimna unipuncta* se logró explicar con los semivariogramas geostatísticos, que permitió identificar el comportamiento de agregación en los mapas realizados con el krigeado y así justificar el uso de las técnicas de agricultura de precisión para el control de la plaga donde se presenta.

Los resultados obtenidos con las técnicas de la geoestadística mostraron la existencia de una estructura espacial agregada, siendo en nivel de dependencia alta para las seis localidades en estudio para el año 2011.

Se identificaron áreas libres de incidencia, lo que permitió dirigir las medidas de control sobre áreas específicas de presencia de la plaga o rotación de cultivo.

Agradecimientos

A la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM), por su apoyo para realizar este trabajo de investigación.

spatial location of the sample, besides being more intuitive and biological than non-spatial indexes (Perry, 1995a). The J_a index also indicates whether aggregate spatial structure is disposed at one or more centers of aggregation. In this study, based on the J_a index, we find the existence of several centers of aggregation. Also in the case of the use of SADIE, to establish the type of distribution of this insect, it would be interesting in future work to analyze the spatial pattern with data at different scales and through different periods of time, as suggested generally by the spatial behavior of insects (Perry, 1998; Ferguson *et al.*, 2000.). These results are consistent with the specific spatial distribution determined in insects and other biological entities such as those obtained by (Ramírez *et al.*, 2011) in *Bactericera cockerelli* (Solar *et al.*, 2011) in thrips and (Ramírez *et al.*, 2009) in dwarf mistletoe *Arceuthobium* sp.

Conclusions

The spatial distribution of Armyworm *Mythimna unipuncta* was explained with the geostatistical semivariogram, which allowed identifying the aggregation behavior in maps made with kriging, thus justifying the use of precision agriculture techniques for pest control where present.

The results obtained with geostatistical techniques showed the existence of a spatial structure aggregate, being in a high dependency level for the six localities studied in 2011.

Free incidence areas were identified, allowing to direct control measures on specific areas where the plague is present or crop rotation.

End of the English version



Litaratura citada

- Armstrong, M.; Jabin, R. 1981. Variogram models must be positive definite. *Mathematical Geology*. 455-459 pp.
- Bressan, A.; Moral, J. F.; Semetey, O. and Boudon-Paidieu, E. 2010. Saptio-temporal pattern of *Pentastiridius Leporinus* migration in an ephemeral cropping system: *Agricultural and Forest Entomology*. 59-68 p.
- Blom, E. and Fleischer, S. 2002. Dynamics in the spatial structure of *leptinotarsa decemlineata* (Coleoptera: Chrysomelidae). *Environmental Entomology*. 350-364 p.

- Cambardella, C.; Moorman, T.; Novak, J.; Parkin, T.; Karlen, D.; Turco, R.; And Konopka, A. 1994. Field scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 58:1501-1511.
- Fleischer, S.; Weisz, Z.; Smilowitz, R. and Midgarden, D. 1997. Spatial variation in insect populations and sitespecific integrated pest management. 101-130 pp.
- Fleischer, J.; Blom, P. E. and Weisz, R. 1999. Sampling in Precision IPM: When the objective is a map. *Phytopathology.* 115-118 pp.
- Ferguson, W.; Klukowski, Z.; Walczak, B.; Perry, J.; Mugglestone, M.; Clark, S. and Williams, I. 2000. "The spatio-temporal Distribution of Adult *Ceutorhynchus Assimilis* in a Crop of Winter Oilseed Rape in Relation to the Distribution of their Larvae and that of the Parasitoid *Trichomalus Perfectus*", *Entomol. Experimentalis et Applicata.* 95 p.
- Gregory, W.W., Raney H.G. 2001. Pests and their control, insect management. In R.E. Phillip, G.W. Thomas, and R.L. Blevins, (eds). No Tillage Research: reports and Reviews. University of Kentucky, College of Agriculture and Agricultural Experiment Station, Lexington. 55-63 pp.
- Hevesi, J.; Istok, J.; Flint, A. 1992. Precipitation estimation in mountainous terrain using multivariate geostatistics. Part I. Structural analysis. *Journal of Applied Meteorology.* 661-676 pp.
- Isaaks, E. H. and Srivastava, R. M. 1989. An Introduction to Applied Geostatistics. Oxford Univ. Press, New York. 35-38 pp.
- Jiménez, A.; López, M. Á. y González-Andújar, J. 2008. Distribución espacial y mapeo de *Curculio elephas* Gyllenhal en encina (*Quercus ilex* L.), *Agrociencia.* 12:35-43.
- Lagunes-Tejada, Y. y Montoya, Sánchez, D. 1994. Combate Químico de Plagas Agrícolas en México, COLPOS, SAGARPA, CONACOFI. 45-49 pp.
- López-Granados, F.; Jurado-Expósito, M.; Atenciano, S.; García-Ferrer, A.; Sánchez, M. and García-Torres, L. 2002. Spatial variability of agricultural soil parameters in southern Spain. *Plant and Soil.* 97-105 pp.
- López, A. S. y Eizaguirre, M. 2000. Vuelos de la defoliadora de maíz, pastos y céspedes, *Mythimna (Pseudaletia) unipuncta* (Haworth) en la zona de Lleida. *Bol. San. Veg. Plagas.* 255-259 pp.
- Oliver, M. and Webster, R. 1991. How geostatistics can help you. *Soil use and Management.* 206-217 pp.
- Perry, J. 1995a. Spatial aspects of animal and plant distribution in patchy farmland habitats. In: *Ecology and Integrated Farming Systems.* Eds. D. M. Glen, M. A. Greaves, H. M. Anderson (Eds). Chichester, England. Wiley. 221-242 pp.
- Perry, J. 1995b. Spatial analysis by distance indices. *Journal of Animal Ecology.* 303-314 pp.
- Perry, J. 1998. Measures of Spatial Pattern for Counts. *Ecology.* 1008-1017 pp.
- Ramírez, J. F. y Porcayo, E. 2008. Distribución espacial de las ninfas de *Jacobiasca libica* (Hemiptera: Cica-dellidae) en un viñedo en Andalucía, España. *Revista Colombiana de Entomología.* 169-175 pp.
- Ramírez, J. F. y Porcayo, E. 2009. Estudios de la distribución espacial del muérdago enano (*Arceuthobium* sp.) en el Nevado de Toluca, Mexico, Utilizando el Método de SADIE. *Madera y Bosques.* 93-111 p.
- Ramírez, D. J. F.; Porcayo, C. E. y Sánchez, P. J. R. 2011. Análisis de la distribución espacial de *bactericera cockerelli* SULC (HEMIPTERA: TRIOZIDAE) en *solanum tuberosum* L. En Donato Guerra, México. *Boletín del Museo de Entomología de la Universidad del Valle.* 12:1:12-24.
- Rong, J.; Dian-Mo, L.; Bao-Yu, X. Zhe, L. and Dong-Li, M. 2006. Spatial distribution of oriental migratory locust (Orthoptera: Acrididae) egg pod populations: Implications for site-specific pest management. *Environmental Entomology.* 35:1244-1248.
- Rossi, R.; Mulla, J.; Journel, G. and Franz, H. 1992. Geostatistical tools for modeling and interpreting ecological spatial dependence. *Ecological Monographs.* 62:277-314.
- SAGARPA 2010. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola en México. México. D. F.
- Samper, F. J. y Carrera, J. 1996. Geoestadística: Aplicaciones a la Hidrología subterránea. 2ª Ed. Centro Internacional de Métodos en Ingeniería. Barcelona. 484 p.
- Sciarretta, A.; Trematerra, P. y Baumgärtner, P. 2001. Geostatistical analysis of *Cydia funebrana* (Lepidoptera: Tortricidae) pheromone trap catches at two spatial scales. *American Entomologist.* 47:174-184.
- Sciarretta, A.; Trematerra, P. 2006. Geostatistical characterization of the spatial distribution of *Grapholita molesta* and *Anarsia inaeatella* males in an agricultural landscape. *Journal of Applied Entomology.* 130:73-83.
- Sciarretta, A. and Trematerra, P. 2011. Spatio-temporal distribution of *Ceratitis capitata* population in a heterogeneous landscape in Central Italy. *Journal of Applied Entomology* 135:241-251.
- SENASICA 2005. Manual fitosanitario contra el gusano soldado. Dirección General de Sanidad Vegetal. SAGARPA. México, D. F. 14 p.
- Shaoxiang, N. and Jeffrey, A. 2002. Spatial clustering of rangeland grasshoppers (Orthoptera: Acrididae) in the Qinghai Lake region of northwestern China. *Rev. Agriculture, Ecosystems & Environment.* 95:61-68.
- Solares, A. V. M.; Ramírez, D. J. F. y Sánchez, P. J. R. 2011. Distribución espacial de trips (INSECTA: THYSANOPTERA) en el cultivo de aguacate (*Persea americana* MILL.). *Boletín del Museo de Entomología de la Universidad del Valle.* 12(2):1-12.
- Taylor, L. 1961. Aggregation, variance and the mean. *Nature* 189:732-735.
- Taylor, L. 1984. Assessing and interpreting the spatial distributions of insect populations. *Ann. Rev. Entomol.* 29:321-357.
- Trematerra, P. and Sciarretta, A. 2002. Spatial distribution of some beetles infesting a feed mill with spatio-temporal dynamics of *Oryzaephilus surinamensis*, *Tribolium castaneum* and *Tribolium confusum*. *Journal of Stored Products Research.* 40:363-377.
- Weisz, R.; Fleischer, S. and Smilowitz, Z. 1996. Site-specific integrated pest management for high value crops: Sample units for map generation using the Colorado potato beetle (Coleoptera: Chrysomelidae) as a model system. *Journal Economic Entomology,* 88:1069-1080.