

Spatial distribution of *Copturus aguacatae* in avocado plantations in central Mexico

Distribución espacial de *Copturus aguacatae* en el cultivo de aguacate en la región central de México

Roberto Rivera-Martínez; Atenas Tapia-Rodríguez; Dulce Karen Figueroa-Figueroa; Alfredo Ruiz-Orta; José Francisco Ramírez-Dávila*

Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Ciencias Agrícolas. Campus el Cerrillo, Piedras blancas, Toluca, Estado de México, C. P. 50200, MÉXICO.

*Corresponding author: jframirezdu@uaemex.mx

Abstract

Introduction: *Copturus aguacatae* is one of the most important pests of avocado plantations in Estado de México. The presence of this insect represents a risk for avocado production.

Objectives: To study the spatial behavior of adult population of *C. aguacatae* using geostatistical techniques in avocado plantations in Estado de México.

Methodology: A total of 400 7-year-old cv. Hass trees were selected and georeferenced in the municipalities of Temascaltepec and Tenancingo, Estado de México. Adult insects of *C. aguacatae* were collected using sticky traps baited with a commercial adhesive. For geostatistical analysis, experimental semivariograms were performed and fitted with theoretical models using the Variowin program. Infected surface maps were generated with the ordinary kriging technique, and graphical representation was provided with the Surfer 16 software.

Results: The spatial behavior of the insect is observed in clusters within the plots. In some months, infestations were distributed over 100 % of the surface, but with variable population densities. These results can improve pest detection and sampling programs, as well as control measures on specific areas of infestation.

Study limitations: No insects during some sampling periods.

Originality: Use of geostatistical methods as a tool to know the spatial distribution of pests in the avocado plantations in Mexico.

Conclusions: Including geostatistical methods in the management of *C. aguacatae* can help avocado growers, because it it provides a more precise knowledge of their spatial behavior.

Keywords: infestation, krigeado, pests, populations, infested area.

Resumen

Introducción: *Copturus aguacatae* es una de las plagas con mayor importancia en el cultivo de aguacate en el Estado de México. La presencia de este insecto representa un riesgo para la producción de aguacate.

Objetivos: Estudiar el comportamiento espacial de la población de adultos de *C. aguacatae* mediante técnicas geoestadísticas en el cultivo de aguacate en el Estado de México.

Metodología: Se seleccionaron y georreferenciaron 400 árboles cv. Hass de 7 años en los municipios Temascaltepec y Tenancingo, Estado de México. Los insectos adultos de *C. aguacatae* se recolectaron usando trampas pegajosas cebadas con un adhesivo comercial. Para el análisis geoestadístico, se realizaron semivariogramas experimentales y se ajustaron con modelos teóricos utilizando el programa Variowin. Los mapas de superficie infectada se generaron con la técnica del krigeado ordinario, y su representación gráfica se obtuvo con el programa Surfer 16.

Resultados: El comportamiento espacial del insecto se presenta en agregados dentro de las parcelas. Algunos meses, las infestaciones se distribuyeron en 100 % de la superficie, pero con densidades poblacionales variables. Estos resultados pueden mejorar los programas de detección y muestreo de la plaga, así como las medidas de control sobre áreas específicas de infestación.

Limitaciones del estudio: Ausencia de insectos durante algunos periodos de muestreo.

Originalidad: Uso de métodos geoestadísticos como herramienta para conocer la distribución espacial de plagas en el cultivo de aguacate en México.

Conclusiones: Incluir métodos geoestadísticos en el manejo de *C. aguacatae* puede ayudar a los productores de aguacate, ya que permite conocer con mayor precisión su comportamiento espacial.

Palabras clave: infestación, krigeado, plagas, poblaciones, superficie infestada.

Introduction

Currently, avocados (*Persea americana* Mill.) are among the most economically important crops in Estado de México, supplying the local, national and export markets (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2019). A wide variety of pests are present in this crop, including the stem weevil (*Copturus aguacatae*), which is native to Mexico.

This pest has only been found in avocado (*Persea americana* Mill.), among its different varieties (Bravo-Monzón & Espinosa-García, 2008). This pest is an obstruction for the export of the fruit to the United States, because it is classified as a pest of quarantine concern. For this reason, the management of this insect in Mexico is determined in the official Mexican standard NOM-066-FITO-2002, which specifies the phytosanitary management and transport of avocados according to the phytosanitary campaign for regulated avocado pests.

Adults of *C. aguacatae* are active during the day, moving on branches; however, their tiny size, color and rapid movement make them difficult to observe (GIIIA, 2013). The main symptoms of damage can be observed by the appearance of small white spots of powdery solidity on the branches (Bravo-Monzón & Espinosa-García, 2008). The larvae sweep the branch until they reach the pith, impeding the circulation of water and nutrients, which causes defoliation, flower and fruit abortion (Equihua & Estrada, 2008). Constant monitoring of pest regions is an important method for proper management.

To properly use the information from monitoring, it is necessary to establish a sampling system that generates reliable data to observe the spatial behavior of *C. aguacatae* and determine its distribution within the orchard. Malathion is currently used to control adults, in addition to pruning and burning of branches for immatures; however, the incidence of this insect persists in a significant degree. Therefore, the objective of this study was to determine the spatial behavior of adult populations of *C. aguacatae* using geostatistical procedures in avocado plantations.

Materials and methods

Study area and sapling

The study was carried out in 2021 (from January to December) in Temascaltepec and Tenancingo, main avocado producing municipalities in Estado de México. Four plots of 2 ha each were established in each municipality. Each plot was divided into 20 x 20 m quadrats, for a total of 50 quadrats per plot. Twenty-five quadrats were randomly sampled, and

Introducción

Actualmente, el cultivo de aguacate (*Persea americana* Mill.) se encuentra entre los de mayor importancia económica en el Estado de México, ya que provee el mercado local, nacional y de exportación (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2019). En dicho cultivo, se presenta una gran variedad de plagas, dentro de las cuales destaca el barrenador de la rama (*Copturus aguacatae*), que es nativo de México.

El barrenador solo se ha manifestado en el cultivo de aguacate (*Persea americana* Mill.), en sus diferentes variedades (Bravo-Monzón & Espinosa-García, 2008). Esta plaga es una obstrucción para la exportación del fruto a Estados Unidos, ya que está catalogada como plaga de interés cuarentenario. Por tal razón, el manejo de este insecto en México se determina en la norma oficial mexicana NOM-066-FITO-2002, la cual especifica el manejo fitosanitario y la movilización del aguacate de acuerdo con la campaña fitosanitaria de plagas reglamentadas del aguacatero.

Los adultos de *C. aguacatae* son activos durante el día, desplazándose sobre las ramas; sin embargo, su tamaño diminuto, color y movimiento rápido dificultan su observación (GIIIA, 2013). Los principales síntomas de daño se pueden observar por la aparición de pequeños puntos de color blanco de solidez polvosa en las ramas (Bravo-Monzón & Espinosa-García, 2008). Las larvas barrenan la rama hasta llegar a la médula, lo cual impide la circulación de agua y nutrientes, lo que ocasiona defoliación, aborto de flores y frutos (Equihua & Estrada, 2008). El constante monitoreo de las regiones de las plagas es un método importante para poder llevar a cabo un manejo apropiado.

Para emplear adecuadamente la información proveniente del monitoreo, es preciso establecer un sistema de muestreo que origine datos confiables para observar el comportamiento espacial de *C. aguacatae* y determinar su distribución dentro de la huerta. Actualmente se utiliza Malathion para el control de adultos, además de podas y quema de ramas para inmaduros; sin embargo, persiste la incidencia de este insecto de manera importante. Considerando lo anterior, el objetivo de este trabajo fue determinar el comportamiento espacial de las poblaciones de adultos de *C. aguacatae* mediante procedimientos geoestadísticos en el cultivo de aguacate.

Materiales y métodos

Área de estudio y muestreo

El estudio se llevó a cabo en 2021 (de enero a diciembre) en Temascaltepec y Tenancingo, principales municipios

four trees were randomly selected from each quadrat for a total of 100 trees per plot, resulting in 400 trees per municipality. It was verified that the plantations were of Hass avocado variety (the trees were 7 years old) and that no agrochemicals were applied for insect control. In these plots, the presence of the pest was confirmed by observing small white dots of powdery consistency on the branches (García et al., 1967). Each tree surveyed was labeled and georeferenced with a Trimble Differential Global Positioning System (DGPS).

Sampling was carried out on the 1st and 15th of each month. For adult sampling, blue plastic bands 60 cm long by 20 cm wide (Gasca-Corona & Equihua-Martínez, 1999) were placed with Spider® plus adhesive. The bands were monitored to count the number of adults captured and then hung for subsequent sampling. A plastic band was installed in the three strata of the tree (low, medium and high) for each cardinal point, giving a total of 12 sticky traps per tree. A statistical exploration of the original data of the *C. aguacatae* populations was carried out for each sampling. The Kurtosis test and the coefficient of variability were used to corroborate the normality of the data.

Geostatistical analysis

The experimental semivariogram was derived from the population data of adults captured in each sampling using the program Variowin 2.2 (Software for spatial data analysis in 2D, USA) (Journel & Huijbregts, 1978; Isaaks & Srivastava, 1989). Once the experimental semivariogram was developed, and the nugget, plateau and range parameters were established, the adjustment was made to a theoretical semivariogram (spherical, Gaussian or exponential) (Englund & Sparks, 1988) with the same program. After fitting, the model was checked by cross validation through the statistical parameters: mean estimation errors, mean square error and dimensionless mean square error, and it was considered that the variance of the errors was lower than the sample variance (Samper & Carrera, 1996). The level of spatial dependence was also determined by dividing the nugget by the plateau, expressing the result as a percentage.

Map production

Interpolation of values was carried out by ordinary kriging to make unbiased estimates of points that were not sampled. The estimates were represented as a map for each sampling date using the Surfer 16 program (Surface Mapping System, Golden Software Inc., USA). In addition, the percentage of infested surface that the insect presented in each plot was determined, with the purpose of knowing how it behaves in the field and to help, together with the maps developed, to establish more efficient management strategies.

productores de aguacate en el Estado de México. En cada municipio se establecieron cuatro parcelas, de 2 ha cada una. Cada parcela se dividió en cuadrantes de 20 x 20 m, para tener un total de 50 cuadrantes por terreno. Bajo el sistema de muestreo por cuadrantes se tomaron 25 al azar, y de cada cuadrante se seleccionaron cuatro árboles al azar para tener un total de 100 árboles por parcela, lo cual resultó en 400 árboles por municipio. Se comprobó que las plantaciones fueran de aguacate variedad Hass (los árboles tenían una edad de 7 años) y que no se les aplicaran agroquímicos para el control de insectos. En dichas parcelas, se confirmó la presencia de la plaga al observar pequeños puntos de color blanco de consistencia polvosa en las ramas (García et al., 1967). Cada árbol estudiado se etiquetó y georreferenció con un sistema de posicionamiento global diferencial marca Trimble (DGPS).

Los muestreos se realizaron los días 1 y 15 de cada mes. Para el muestreo de adultos, se colocaron bandas plásticas de color azul de 60 cm de largo por 20 cm de ancho (Gasca-Corona & Equihua-Martínez, 1999) provistas de adhesivo Spider® plus. Las bandas se monitoreaban para contabilizar el número de adultos capturados y, posteriormente, se colgaban para los siguientes muestreos. Se instaló una banda plástica en los tres estratos del árbol (bajo, medio y alto) por cada punto cardinal, lo cual dio un total de 12 trampas pegajosas por árbol. Se realizó una exploración estadística de los datos originales de las poblaciones de *C. aguacatae* para cada muestreo. Con el fin de corroborar la normalidad de los datos, se empleó la Prueba de Curtosis y el coeficiente de variabilidad.

Análisis geoestadístico

Se obtuvo el semivariograma experimental a partir de los datos poblacionales de adultos capturados en cada muestreo con el programa Variowin 2.2 (Software for spatial data analysis in 2D, EUA) (Journel & Huijbregts, 1978; Isaaks & Srivastava, 1989). Una vez elaborado el semivariograma experimental, y establecidos los parámetros de pepita, meseta y rango, se realizó el ajuste a un semivariograma teórico (esférico, gaussiano o exponencial) (Englund & Sparks, 1988) con el mismo programa. Posterior al ajuste, se comprobó el modelo mediante validación cruzada a través de los parámetros estadísticos: media de los errores de estimación, error cuadrático medio y error cuadrático medio adimensional, y se consideró que la varianza de los errores fuese menor que la varianza muestral (Samper & Carrera, 1996). Asimismo, se determinó el nivel de dependencia espacial al dividir la pepita entre la meseta, expresando el resultado en porcentaje.

Elaboración de mapas

Se efectuó la interpolación de valores a través de krigeado ordinario para llevar a cabo estimaciones insesgadas de puntos que no fueron muestreados. Las

Results and discussion

C. aguacatae populations showed a clustered spatial distribution within the avocado plots in the two municipalities studied. The semivariograms were fitted to spherical and Gaussian models, with the spherical model prevailing in the highest proportion (Table 1).

In all the models fitted in the municipality of Temascaltepec a nugget effect equal to zero was recorded, while in Tenancingo two dates had nugget effect values of 0.04 and 0.006 in the May 1 and September 1 samples, respectively. Having values of zero or very close to zero in the nugget effect indicates

estimaciones obtenidas se representaron en forma de mapa para cada fecha de muestreo mediante el programa Surfer 16 (Surface Mapping System, Golden Software Inc., EUA). Además, se determinó el porcentaje de superficie infestada que presentó el insecto en cada parcela, con el fin de conocer cómo se comporta en campo y ayudar, junto con los mapas elaborados, a establecer estrategias de manejo de mayor eficiencia.

Resultados y discusión

Las poblaciones de *C. aguacatae* arrojaron una distribución espacial agregada dentro de las parcelas de aguacate en los dos municipios estudiados. Los

Table 1. Parameters (plateau range and nugget effect) of the models fitted to the semivariograms of *C. aguacatae* in the municipalities of Temascaltepec and Tenancingo, Estado de México, associated with avocado.

Cuadro 1. Parámetros (rango meseta y efecto pepita) de los modelos ajustados a los semivariogramas de *C. aguacatae* en los municipios de Temascaltepec y Tenancingo, Estado de México, asociados al aguacate.

Month/Mes	Model/Modelo	Range (m)/ Rango (m)	Plateau/ Meseta	Nugget/ Pepita	Spatial dependence/ Nivel de dependencia espacial
Temascaltepec					
February 2/Febrero 2	Spherical/Esférico	15.00	1.31	0	High/Alto
March 1/Marzo 1	Gaussian/Gaussiano	26.60	1.30	0	High/Alto
May 1/Mayo 1	Spherical/Esférico	31.90	1.28	0	High/Alto
May 2/Mayo 2	Spherical/Esférico	30.00	3.27	0	High/Alto
June 1/Junio 1	Spherical/Esférico	37.80	4.16	0	High/Alto
June 2/Junio 2	Spherical/Esférico	35.20	6.23	0	High/Alto
July 1/Julio 1	Spherical/Esférico	28.80	8.48	0	High/Alto
July 2/Julio 2	Spherical/Esférico	32.00	5.26	0	High/Alto
August 1/Agosto 1	Gaussian/Gaussiano	32.2	2.11	0	High/Alto
August 2/Agosto 2	Gaussian/Gaussiano	23.68	0.72	0	High/Alto
Tenancingo					
January 2/Enero 2	Gaussian/Gaussiano	17.28	1.24	0	High/Alto
February 1/Febrero 1	Spherical/Esférico	19.84	1.32	0	High/Alto
February 2/Febrero 2	Exponential	13.25	0.60	0	High/Alto
May 1/Mayo 1	Spherical/Esférico	32.00	1.89	0.04	High/Alto
May 2/Mayo 2	Spherical/Esférico	15.50	3.97	0	High/Alto
June 1/Junio 1	Spherical/Esférico	22.00	3.96	0	High/Alto
June 2/Junio 2	Spherical/Esférico	32.84	5.65	0	High/Alto
July 1/Julio 1	Gaussian/Gaussiano	32.00	9.27	0	High/Alto
July 2/Julio 2	Spherical/Esférico	30.10	4.13	0	High/Alto
August 1/Agosto 1	Gaussian/Gaussiano	24.83	1.91	0	High/Alto
August 2/Agosto 2	Spherical/Esférico	17.42	0.72	0	High/Alto
September 1/Septiembre 1	Spherical/Esférico	15.40	0.24	0.006	High/Alto
September 2/Septiembre 2	Spherical/Esférico	14.72	0.23	0	High/Alto
October 1/Octubre 1	Gaussian/Gaussiano	17.16	0.11	0	High/Alto

that the sampling scale used is correct and the sampling error is minimal (Oliver & Webster, 1998). Acosta-Guadarrama et al. (2017) and Maldonado-Zamora et al. (2016), when studying the spatial distribution of thrips in avocado, found values of zero in the fitted models. The range values in Temascaltepec ranged from 15 to 37.80 m, while in Tenancingo these values were from 13.25 to 32.84 m (Table 1). All sampling dates and fitted models had a high level of spatial dependence.

The average population density of *C. aguacatae* in Temascaltepec ranged from 0.87 in the first sampling in March to 4.42 individuals per tree in the July 1 sampling, while in Tenancingo the values ranged from 0.14 in October to 4.19 individuals per tree in July (Table 2). The highest population densities occurred in June and July. All models of the spatial distribution of the weevil in the studied plots were validated with the statistical parameters of cross-validation (Table 2).

Maps designed by ordinary kriging interpolation scanned the weevil infested area and indicate that individuals of this pest are found in specific clusters. In Temascaltepec, the patches with the highest infestation were located in the western Universal Transverse Mercator (UTM) zone of the map, with a tendency towards the northern UTM and southern UTM part of the map (Figure 1). In Tenancingo, the cluster centers were distributed in different parts of the map, with a tendency towards the edges, either UTM north or UTM south, and in some samples, they were located in the UTM east part of the map (May 1), while on July 2 and September 1, the patches were located in the UTM west part of the map (Figure 2).

In Temascaltepec, different degrees of infestation of *C. aguacatae* were found (Table 3); the highest percentage was recorded for the first sampling in May (May 1), with 99 % infestation. This means that the pest was distributed in 99 % of the plot area. On the other hand, the lowest percentage was recorded in the second sampling in February (February 2), with 40 % infestation. The other months also had a high infestation, with a range between 70 and 80 %. It is worth mentioning that in January, April, September, October, November and December there was no presence of adults in the plots, so no data are presented for those months. As for Tenancingo, an infestation of 100 % was observed in May and June, and the lowest value was recorded in February 2, with 67 % infestation. In January 1, March, April, October 2, November and December, the insect was not present.

The highest presence of insects was in June and July, with greater adult emergence. This last stage of development coincides with the rainy season, when there are optimal conditions of humidity and

semivariogramas se ajustaron a los modelos esférico y gaussiano, siendo el modelo esférico el que prevaleció en mayor proporción (Cuadro 1).

En todos los modelos ajustados en el municipio de Temascaltepec se obtuvo un efecto pepita igual a cero, mientras que en Tenancingo existieron dos fechas en las que el valor del efecto pepita fue de 0.04 y 0.006 en los muestreos de mayo 1 y septiembre 1, respectivamente. Tener valores de cero o muy cercanos en el efecto pepita indica que la escala de muestreo utilizada es la correcta y que el error de muestreo es mínimo (Oliver & Webster, 1998). Acosta-Guadarrama et al. (2017) y Maldonado-Zamora et al. (2016), al estudiar la distribución espacial de trips en aguacate, encontraron valores de cero en los modelos ajustados. Los valores de rango en Temascaltepec variaron de 15 a 37.80 m, mientras que en Tenancingo estos valores fueron de 13.25 a 32.84 m (Cuadro 1). Todas las fechas de muestreo y modelos ajustados presentaron un nivel de dependencia espacial alto.

El promedio de las poblaciones de *C. aguacatae* en Temascaltepec fluctuó de 0.87 en el primer muestreo de marzo a 4.42 individuos por árbol en el muestreo de julio 1, mientras que en Tenancingo los valores fueron de 0.14 en octubre a 4.19 individuos por árbol en julio (Cuadro 2). Las densidades poblacionales más altas se presentaron en junio y julio. Todos los modelos de la distribución espacial del barrenador en las parcelas estudiadas se validaron con los parámetros estadísticos de validación cruzada (Cuadro 2).

Los mapas diseñados mediante interpolación de krigeado ordinario escanearon la superficie infestada del barrenador e indican que los individuos de esta plaga se encuentran en agregados específicos. En Temascaltepec, los parches con mayor infestación se situaron en la zona *Universal Transverse Mercator* (UTM) oeste del mapa, con tendencia hacia la parte UTM norte y UTM sur del mapa (Figura 1). Por su parte, en Tenancingo los centros de agregación se encontraron distribuidos en diferentes partes del mapa, con tendencia hacia los bordes, ya sea UTM norte o UTM sur, y en algunos muestreos se situaron en la parte UTM este del mapa (mayo 1), mientras que en julio 2 y septiembre 1, los parches se ubicaron en la parte UTM oeste del mapa (Figura 2).

En Temascaltepec se encontraron diferentes grados de infestación de *C. aguacatae* (Cuadro 3); el porcentaje más alto se registró en el primer muestreo de mayo (mayo 1), con 99 % de infestación. Esto quiere decir que la plaga se distribuyó en el 99 % de la superficie de la parcela. Por su parte, el porcentaje más bajo se obtuvo en el segundo muestreo de febrero (febrero 2), con 40 % de infestación. Los otros meses también tuvieron

Table 2. Sample mean and values of the cross-validation statistics of the semivariograms from sampling in the municipalities of Temascaltepec and Tenancingo.

Cuadro 2. Media muestral y valores de los estadísticos de la validación cruzada de los semivariogramas obtenidos en los muestreos en los municipios Temascaltepec y Tenancingo.

Month / Sampling / Mes / Muestreo	Sample mean / Media muestral	Sample variance / Varianza muestral	MEE	Variance of errors / Varianza de los errores	MSE / ECM	RMSE / ECMA
Temascaltepec						
February 2 / Febrero 2	1.06	1.30	0.12 ^{ns}	1.15	0.12	1.10
March 1 / Marzo 1	0.87	1.36	0.10 ^{ns}	1.29	0.14	1.09
May 1 / Mayo 1	1.46	1.30	0.09 ^{ns}	1.20	0.05	1.05
May 2 / Mayo 2	2.02	2.09	0.07 ^{ns}	1.77	0.11	1.09
June 1 / Junio 1	3.02	4.33	0.11 ^{ns}	3.28	0.07	1.10
June 2 / Junio 2	3.64	6.48	0.14 ^{ns}	5.47	0.13	1.11
July 1 / Julio 1	4.42	8.81	0.05 ^{ns}	7.02	0.09	1.14
July 2 / Julio 2	3.43	5.43	0.09 ^{ns}	4.11	0.14	1.12
August 1 / Agosto 1	1.95	2.10	0.11 ^{ns}	1.84	0.12	1.05
August 2 / Agosto 2	1.10	0.73	0.13 ^{ns}	0.69	0.15	1.11
Tenancingo						
January 2 / Enero 2	0.89	1.22	0.11 ^{ns}	1.01	0.13	1.05
February 1 / Febrero 1	1.10	1.42	0.10 ^{ns}	1.27	0.10	1.08
February 2 / Febrero 2	0.56	0.60	0.08 ^{ns}	0.45	0.15	1.10
May 1 / Mayo 1	2.04	1.93	0.14 ^{ns}	1.25	0.09	1.14
May 2 / Mayo 2	2.49	4.02	0.05 ^{ns}	3.76	0.10	1.12
June 1 / Junio 1	3.18	4.04	0.10 ^{ns}	3.28	0.07	1.13
June 2 / Junio 2	3.41	5.97	0.13 ^{ns}	4.19	0.11	1.10
July 1 / Julio 1	4.19	9.30	0.06 ^{ns}	7.05	0.14	1.08
July 2 / Julio 2	3.13	4.17	0.12 ^{ns}	3.21	0.12	1.11
August 1 / Agosto 1	2.0	1.91	0.10 ^{ns}	1.16	0.06	1.07
August 2 / Agosto 2	0.85	0.70	0.14 ^{ns}	0.58	0.09	1.11
September 1 / Septiembre 1	0.51	0.29	0.11 ^{ns}	0.21	0.11	1.09
September 2 / Septiembre 2	0.35	0.22	0.13 ^{ns}	0.17	0.12	1.15
October 1 / Octubre 1	0.14	0.12	0.11 ^{ns}	0.10	0.10	1.10

MEE = mean of the estimation errors; MSE = mean square error; RMSE = root mean square error; ns = not significant.

MEE = media de los errores de estimación; ECM = error cuadrático medio; ECMA = error cuadrático medio adimensional; ns = no significativo.

temperature for breeding, allowing the beginning of a new biological cycle. The lower adult activity in certain months could be due to the increase of the insect in larval stage, which is found inside the branches of the tree. Gasca-Corona and Equihua-Martínez (1999) found that weevil adults appear at the beginning of June, with maximum activity between July and September.

It was possible to spatially model the location of the weevil in the study areas, with an cluster structure of this pest. Similar results were reported by de Souza-Silva (2016) on populations of *Vatiga* (Hemiptera), where

una infestación alta, con un rango entre 70 y 80 %. Cabe mencionar que en enero, abril, septiembre, octubre, noviembre y diciembre no hubo presencia de adultos en las parcelas, por lo que no se presentan datos para esos meses. En cuanto a Tenancingo, se observó una infestación de 100 % en mayo y junio, y el valor más bajo se registró en febrero 2, con 67 % de infestación. En enero 1, marzo, abril, octubre 2, noviembre y diciembre no se encontró presencia del insecto.

La mayor presencia de insectos se observó en junio y julio, con mayor emergencia de adultos. Esta última

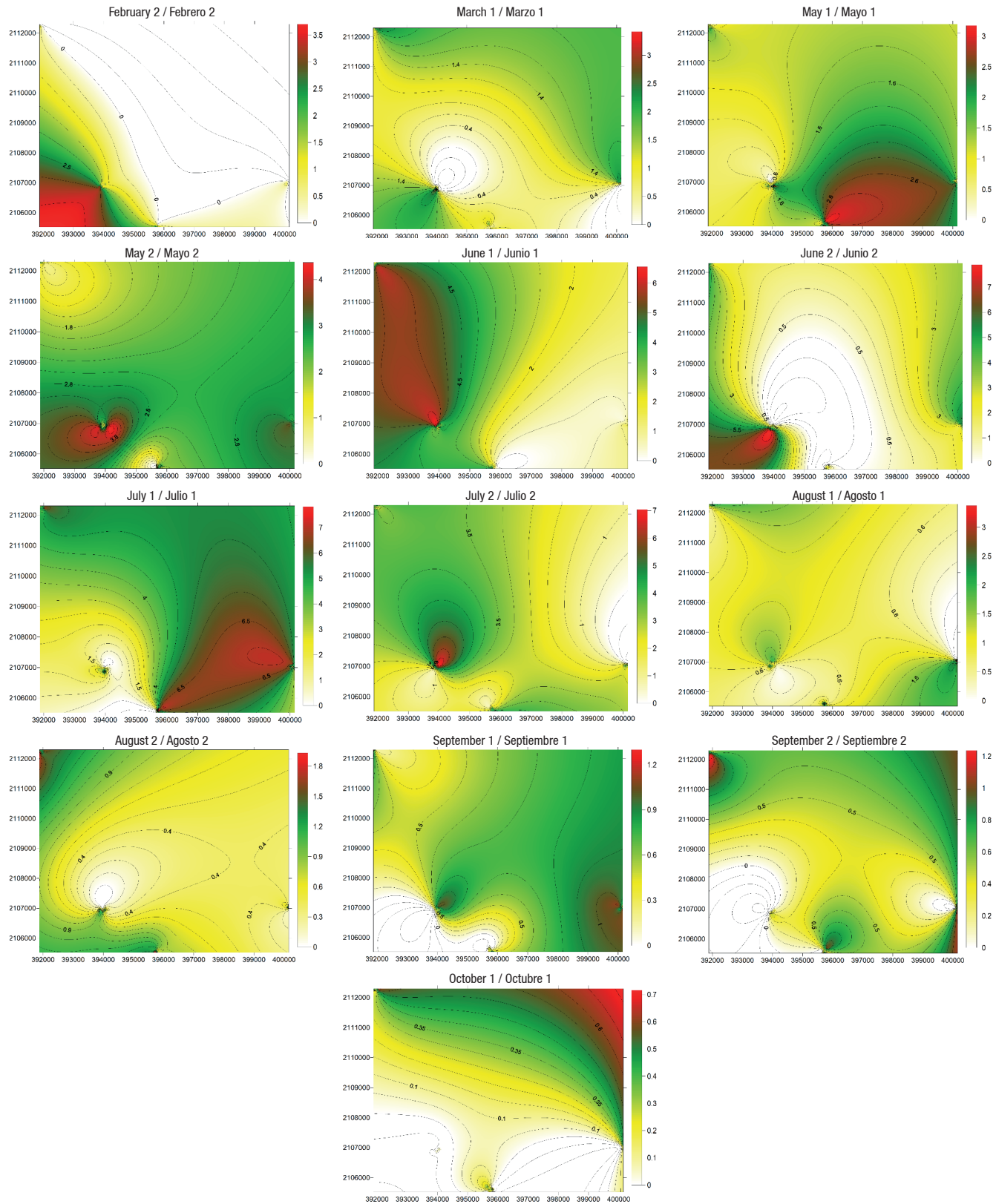


Figure 1. Population densities of *C. aguacatae* reported in the 2021 surveys in the municipality of Temascaltepec, Estado de México.

Figura 1. Densidades de las poblaciones de *C. aguacatae* obtenidas en los muestreos de 2021 en el municipio de Temascaltepec, Estado de México.

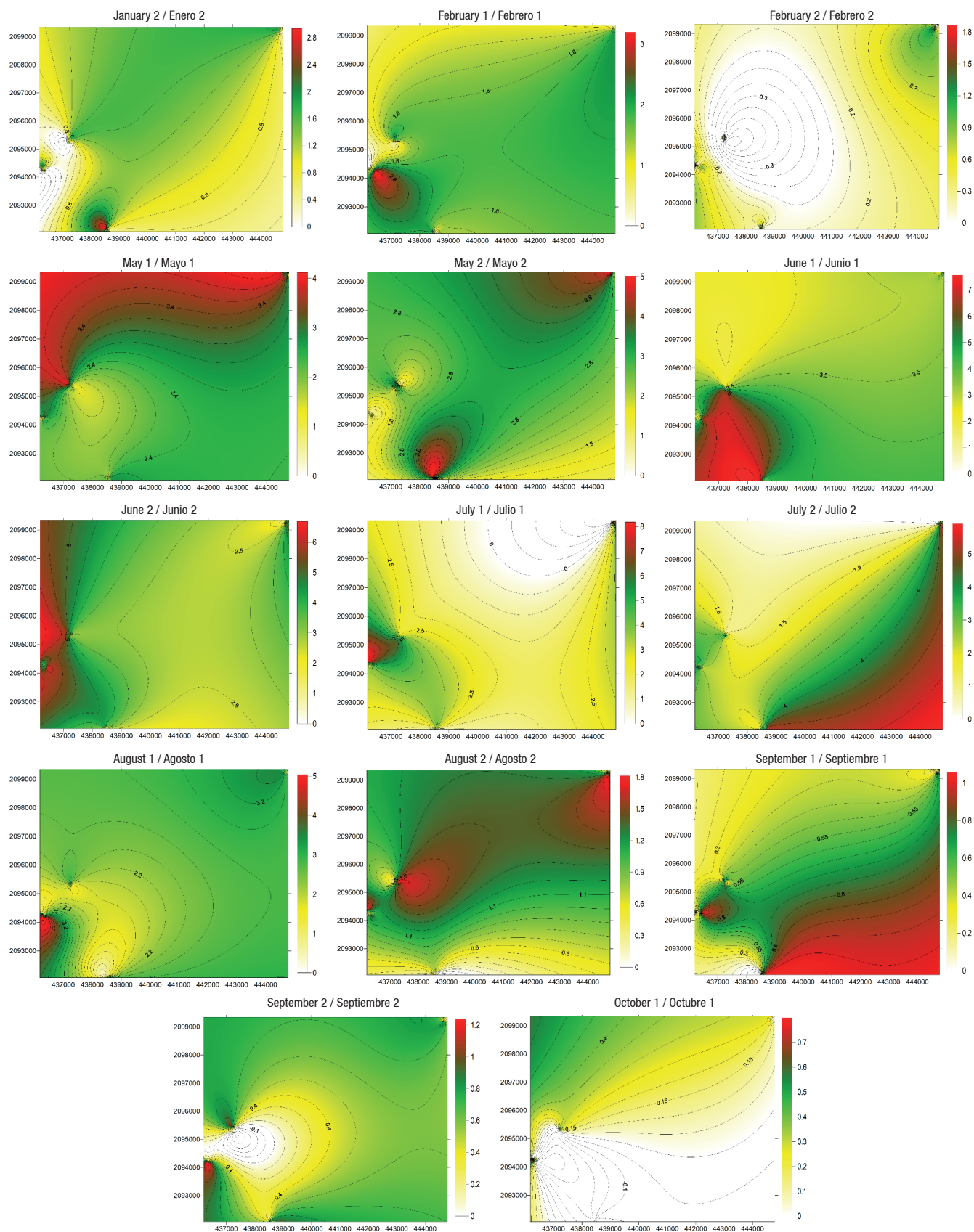


Figure 2. Population densities of *C. aguacatae* in the 2019 sampling in the municipality of Tenancingo, Estado de México.
Figura 2. Densidades de las poblaciones de *C. aguacatae* en los muestreos de 2019 en el municipio de Tenancingo, Estado de México.

Table 3. Percentage of infested surface area in 2021 in the municipalities of Temascaltepec and Tenancingo, Estado de México.**Cuadro 3. Porcentaje de superficie infestada en 2021 en los municipios de Temascaltepec y Tenancingo, Estado de México.**

Sampling / Muestreos	Infested (%) / Infestado (%)
Temascaltepec	
February 2 / Febrero 2	40
March 1 / Marzo 1	82
May 1 / Mayo 1	99
May 2 / Mayo 2	98
June 1 / Junio 1	81
June 2 / Junio 2	75
July 1 / Julio 1	88
July 2 / Julio 2	86
August 1 / Agosto 1	85
August 2 / Agosto 2	90
Tenancingo	
January 2 / Enero 2	90
February 1 / Febrero 1	99
February 2 / Febrero 2	67
May 1 / Mayo 1	100
May 2 / Mayo 2	100
June 1 / Junio 1	100
June 2 / Junio 2	100
July 1 / Julio 1	79
July 2 / Julio 2	92
August 1 / Agosto 1	98
August 2 / Agosto 2	96
September 1 / Septiembre 1	95
September 2 / Septiembre 2	89
October 1 / Octubre 1	65

they affirm this pest appears in clusters in the cassava crop. Maldonado-Zamora et al. (2017) report that thrips populations on avocado in Estado de México also form clusters in commercial orchards evaluated during 2015.

Geostatistics is a geostatistical tool that facilitates the creation of density maps of the spatial behavior of an organism (Rossi et al., 1992; Ribes et al., 1998). Unlike the estimates of spatial distribution provided by classical statistics, the geostatistical process helps to determine and analyze in greater detail information on the spatial dependence of the variable studied, since this method considers the distribution of the organisms according to their precise spatial location (Samper & Carrera, 1996). The incidence of the pest was represented with density maps elaborated by interpolation with kriging, showing the spatial location

etapa de desarrollo coincide con la época de lluvias, ya que existen las condiciones óptimas de humedad y temperatura para su reproducción, lo que posibilita el inicio de un nuevo ciclo biológico. La menor actividad de adultos en determinados meses se pudo deber el incremento del insecto en estado larvario, el cual se encuentra dentro de las ramas del árbol. Gasca-Corona y Equihua-Martínez (1999) encontraron que los adultos del barrenador aparecen a principios de junio, con una actividad máxima entre julio y septiembre.

Se logró modelar espacialmente la ubicación del barrenador en las áreas de estudio, donde se observó una estructura agregada del mismo. Resultados similares fueron obtenidos por de Souza-Silva (2016) en poblaciones de *Vatiga* (Hemiptera), donde afirman que esta plaga se presenta en forma agregada en el cultivo

of the clustering centers in which the insect was distributed. The elaboration of maps has been used in other studies with different pests, such as thrips in the avocado crop in the state of Michoacán (Solares-Alonso et al., 2012).

The fit to the spherical model, in most of the semivariograms, indicates that within the study area there are areas where there is a higher incidence of the pest, locating the clustering centers with more individuals in specific places. This indicates that infestation starts from a main point and spreads to different areas. The distribution fitted to the Gaussian model reflects that the clustering centers are continuously present in the sampled area, suggesting the presence of different factors influencing the dispersion of the insect (Ramírez-Dávila & Porcayo-Camargo, 2008).

The behavior of the weevil (clusters) is very similar to that reported in other studies. Solano et al. (2008) studied the spatial behavior of the mite *Brevipalpus phoenicis* in Valencia orange plantations in Colombia. Sciarretta et al. (2008) described the cluster behavior of the lepidopteran *Lobesia botrana* in grape plots and described a fit to spherical models. Duarte et al. (2015) determined the spatial distribution of the moth *Grapholita molesta* (Busk) and observed a cluster distribution with fit to Gaussian, exponential and spherical models. In contrast, Carrillo et al. (2004) described that scarabaeid larvae on cultivated plants had no cluster distribution, which may be related to the larvae's wide polyphagy and low mobility within the soil.

The behavior of the insect in clusters provides information that can be used to optimize sampling methods and carry out management tactics directed towards specific infestation zones. In this way, it is possible to reduce their populations by avoiding widespread applications, which will bring economic savings by using fewer inputs and less impact on the environment. This is consistent with that reported by Rong et al. (2006), who propose the management of *Locusta migratoria manilensis* Linnaeus in specific infestation areas. Milonas et al. (2016) recommend focusing control on specific areas where *Helicoverpa armigera* (Hübner) and *Pectinophora gossypiella* (Saunders) are present in cotton crop.

The distribution of *C. aguacatae* had a high level of spatial dependence in all fitted models. The high level of spatial dependence resulted from dividing the nugget effect by the plateau, which was lower than 25 %, for all semivariograms. This indicates that clusters found have a very stable behavior over time, which indicates that this insect forms ecological niches that,

de la yuca. Maldonado-Zamora et al. (2017) informan que las poblaciones de trips en aguacate en el Estado de México también forman agregados en huertos comerciales evaluados durante 2015.

La geoestadística es una herramienta geotecnológica que permite realizar mapas de densidad del comportamiento espacial de un organismo (Rossi et al., 1992; Ribes et al., 1998). A diferencia de las estimaciones de distribución espacial que permite la estadística clásica, el proceso geoestadístico ayuda a determinar y analizar con mayor detalle información de la dependencia espacial de la variable estudiada, ya que este método considera la distribución de los organismos a través de su localización espacial precisa (Samper & Carrera, 1996). La incidencia de la plaga se logró representar con mapas de densidad elaborados mediante interpolación con kriging, en los cuales se puede visualizar la ubicación espacial de los centros de agregación en los que se distribuyó el insecto. La elaboración de mapas ha sido utilizada en otros trabajos con diferentes plagas, como los trips en el cultivo de aguacate en el estado de Michoacán (Solares-Alonso et al., 2012).

El ajuste al modelo esférico, en la mayoría de los semivariogramas, señala que dentro de la zona de estudio existen áreas donde hay mayor incidencia de la plaga, ubicando los centros de agregación con más individuos en lugares específicos. Lo anterior señala que la infestación parte de un punto principal y se extiende hacia diversas zonas. La distribución ajustada al modelo gaussiano refleja que los centros de agregación se presentan de forma continua en el área muestreada, con lo cual se infiere la presencia de diferentes factores que influyen en la dispersión del insecto (Ramírez-Dávila & Porcayo-Camargo, 2008).

La forma de comportarse del barrenador (en agregados) es muy similar a lo reportado en otros estudios. Solano et al. (2008) estudiaron el comportamiento espacial del ácaro *Brevipalpus phoenicis* en plantaciones de naranja valencia en Colombia. Sciarretta et al. (2008) describieron el comportamiento en agregados del lepidóptero *Lobesia botrana* en parcelas de uva, y describen un ajuste a modelos esféricos. Duarte et al. (2015) determinaron la distribución espacial de la polilla *Grapholita molesta* (Busk) y observaron una distribución agregada con ajuste a modelos gaussianos, exponenciales y esféricos. Por el contrario, Carrillo et al. (2004) describen que las larvas de escarabeidos en plantas cultivadas no tenían una distribución agregada, lo cual pudo estar relacionado con la amplia polifagia de las larvas y la poca movilidad que tienen dentro del suelo.

El comportamiento del insecto en forma agregada proporciona información que se puede utilizar para optimizar métodos de muestreo y llevar a cabo

due to their stability, can be used as a factor to find better management strategies (Ramírez-Dávila et al., 2011). Acosta-Guadarrama et al. (2017), when studying the spatial distribution of thrips in avocado using geostatistics, they found that thrips form a clustered spatial structure with a high level of spatial dependence in all samples.

The maps showed the distribution of *C. aguacatae* within the study area. It was observed that the pest, in some months, was not distributed in 100% of the area studied, and that its population densities are variable. With the use of these maps, actions can be suggested to growers to carry out an integrated management of the pest, in which different control methods can be employed, such as the use of entomopathogenic fungi (such as *Beauveria bassiana* or *Metarhizium anisopliae*), which are commercially available products. Parasitoid insects such as *Urosigalphus avocadae* Gibson (Hernández-Fuentes et al., 2009), a hymenopteran with high specificity for larvae, can also be used, which is useful in the management of these populations and can be released in areas where the pest is present. Cultural control can also be used through the use of sanitary pruning of damaged branches. As a last option, chemical control with malathion in applications to the foliage can be considered, which should be carried out in the months when there is greater adult activity.

The relevance of this study lies in the elaboration of maps of insect presence, making it possible to direct control measures (whether chemical, biological or cultural) to specific areas of pest infestation in the orchards under study. This is important, because with the elaboration and use of the maps made from interpolation with ordinary kriging it is possible to significantly reduce the application of chemical products, which leads to a significant reduction of economic costs and pollution of the environment (air, soil and water in the study area). By restructuring the way in which pests are managed, based on the results obtained in this study, it is possible that activities aimed at reducing *C. aguacatae* populations, carried out by trained technical personnel, will be more efficient and timely (Ramírez-Dávila et al., 2011).

Conclusions

The use of geostatistical methods in the management of *C. aguacatae* can be very useful for avocado growers because it allows them to know more precisely the spatial distribution of this insect. Once the usefulness of the methods used in this study is understood and implemented, management programs will provide growers with better results in reducing the populations of this insect, with all the positive consequences that such action would bring. The presence of this pest

tácticas de manejo dirigidas hacia las zonas específicas de infestación. De tal forma, es posible reducir sus poblaciones al evitar realizar aplicaciones generalizadas, lo cual traerá ahorros económicos al utilizar menos insumos y un menor impacto al ambiente. Lo anterior concuerda con lo reportado por Rong et al. (2006), quienes proponen el manejo de *Locusta migratoria manilensis* Linnaeus en áreas específicas de infestación. Milonas et al. (2016) recomiendan dirigir el control a áreas concretas con presencia de *Helicoverpa armigera* (Hübner) y *Pectinophora gossypiella* (Saunders) en el cultivo de algodón.

La distribución de *C. aguacatae* obtuvo un nivel de dependencia espacial alto en todos los modelos ajustados. Dicho nivel resultó al dividir el efecto pepita entre la meseta, que fue menor a 25 %, para todos los semivariogramas. Esto indica que las agregaciones encontradas tienen un comportamiento muy estable en el tiempo, lo cual sugiere que este insecto forma nichos ecológicos que, debido a su estabilidad, pueden ser utilizados como factor para encontrar mejores estrategias de manejo (Ramírez-Dávila et al., 2011). Acosta-Guadarrama et al. (2017), al estudiar la distribución espacial de trips en aguacate utilizando la geoestadística, encontraron que los trips forman una estructura espacial agregada con un nivel de dependencia espacial alto en todos los muestreos.

Los mapas permitieron visualizar la forma en cómo se distribuye el *C. aguacatae* dentro del área de estudio. Se observó que la plaga, en algunos meses, no se distribuyó en el 100 % de la superficie estudiada, y que las densidades poblacionales de la misma son variables. Con el uso de estos mapas se pueden sugerir acciones a los productores para llevar a cabo un manejo integrado de la plaga, en el que se pueden emplear diferentes métodos de control, como el uso de hongos entomopatógenos (como *Beauveria bassiana* o *Metarhizium anisopliae*), que son productos disponibles comercialmente. También se pueden utilizar insectos parasitoides como *Urosigalphus avocadae* Gibson (Hernández-Fuentes et al., 2009), himenóptero que presenta alta especificidad por las larvas, por lo que es útil en el manejo de estas poblaciones y se puede liberar en zonas con presencia de la plaga. Asimismo, se puede utilizar el control cultural mediante el uso de podas sanitarias de las ramas dañadas. Como última opción, se consideraría el control químico con malathion en aplicaciones al follaje, las cuales se tienen que realizar en los meses donde hay mayor actividad de adultos.

La relevancia de este trabajo radica en la elaboración de mapas de presencia del insecto, con lo cual es posible dirigir las medidas de control (sean estas químicas, biológicas o culturales) hacia zonas específicas de infestación de la plaga en los huertos bajo estudio. Lo anterior es importante, ya que con la

limits the adequate and efficient marketing of avocados from Estado de México.

It was determined that, despite the intensive campaign that has existed since 2014 to try to reduce *C. aguacatae* populations in the area studied, populations have decreased, but not in the expected proportion; therefore, this is relevant as it is of quarantine significance.

End of English version

References / Referencias

- Acosta-Guadarrama, A. D., Ramírez-Dávila, J. F., Rivera-Martínez, R., Figueroa-Figueroa, D. K., Lara-Díaz, A.V., & Maldonado-Zamora, F. I. (2017). Distribución espacial de *Trips* spp. (Thysanoptera) y evaluación de su control mediante el depredador *Amblyseius swirskii* en el cultivo de aguacate en México. *Southwestern Entomologist*, 42(1) 435-446. <https://doi.org/10.3958/059.042.0214>
- Bravo-Monzón, A. E., & Espinosa-García, F. J. (2008). Volatile emissions in *Persea americana* in response to the stem borer *Copturus aguacatae* attack. *Allelopathy Journal*, 21(1), 165. https://www.researchgate.net/publication/220006587_Volatile_emissions_in_Persea_americana_in_response_to_the_stem_borer_Copturus_aguacatae_attack
- Carrillo, R., Pape, H., Neira, M., & Balocchi, O. (2004). Distribución espacial de larvas de dos especies de escarabajos nativos en respuesta a plantas cultivadas. *Revista Chilena de Entomología*, 30(1), 59-64. http://www.insectachile.cl/rchen/pdfs/2004v30-1/Carrillo_et_al_2004.pdf
- de Souza-Silva, A. (2016). Distribución espacial de *Vatiga* spp. (Hemiptera: Tingidae) en el cultivo de yuca. *Acta biológica Colombiana*, 21(1), 195-200. <https://doi.org/10.15446/abc.v21n1.46762>
- Duarte, F., Calvo, M. V., Borges, A., & Scatoni, I. B. (2015). Geostatistics and geographic information systems to study the spatial distribution of *Grapholita molesta* (Busck) (Lepidoptera: Tortricidae) in peach fields. *Neotropical Entomology*, 44(4), 319-327. <https://doi.org/10.1007/s13744-015-0288-3>
- Englund, E., & Sparks, A. (1988). *GEO-EAS (Geostatistical Environmental Assessment Software) user's guide*. Environmental Monitoring Systems Laboratory, <https://www.osti.gov/biblio/6077300>
- Equihua, M. A., & Estrada, G. E. (2008). Manejo integrado del barrenador de ramas del aguacate (*Copturus aguacatae* Kissinger) (Coleoptera: Curculionidae) en Michoacán, México. *Fitosanidad*, 12(4), 244.
- García, A. M., Méndez, V. M., & Morales, Y. A. G. (1967). El aguacatero: Plagas y enfermedades. *Fotófilo*, 56(1), 12-14.
- Gasca-Corona, L., & Equihua-Martínez, Y. A. (1999). Monitoreo del barrenador de ramas del aguacate (*Copturus aguacatae* Kissinger) y estudio de algunos aspectos de su biología y comportamiento en Ziracuaretiro, Michoacán, México.
- GIHA. (2013). *El aguacate en Michoacán, plagas y enfermedades*. Grupo

elaboración y el uso de los mapas realizados a partir de interpolación con krigeado ordinario es posible reducir significativamente la aplicación de productos químicos, lo cual conlleva una disminución importante del gasto económico y de la contaminación sobre el ambiente (aire, suelo y agua de la zona de estudio). Al reestructurar la forma en la que se manejan las plagas, apoyándose en los resultados obtenidos en este estudio, es posible que las actividades encaminadas a reducir las poblaciones de *C. aguacatae*, llevadas a cabo por el personal técnico capacitado, sean más eficientes y oportunas (Ramírez-Dávila *et al.*, 2011).

Conclusiones

El uso de métodos geoestadísticos en el manejo de *C. aguacatae* puede ser de gran ayuda para los productores de aguacate, ya que permite conocer con mayor precisión la distribución espacial de este insecto. Una vez que se tengan en cuenta y se comprenda la utilidad de los métodos empleados en este estudio, los programas de manejo permitirán a los productores obtener mejores resultados en la disminución de las poblaciones de este insecto, con todas las consecuencias positivas que tal acción permitiría. Lo anterior considerando que la presencia de esta plaga limita la comercialización adecuada y eficiente del aguacate proveniente de la zona del Estado de México.

Se logró determinar que, a pesar de la campaña intensiva que existe desde 2014 para tratar de reducir las poblaciones de *C. aguacatae* en la zona estudiada, las poblaciones han disminuido, pero no en la proporción esperada; por lo que esto resulta relevante al tener una importancia cuarentenaria.

Fin de la versión en español

- Interdisciplinario e Interinstitucional de Investigación en Aguacate.
- Hernández-Fuentes, L. M., Saavedra-Aguilar, M., Urías-López, M. A., & López-Arriaga, J. G. (2009). Registro de *Urosigalphus avocadoe* Gibson (Hymenoptera: Braconidae) como parasitoide de *Copturus aguacatae* Kissinger (Coleoptera: Curculionidae) en México. *Acta Zoológica Mexicana*, 25(3), 659-661. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0065-17372009000300017
- Isaaks, E. H., & Srivastava, R. M. (1989). Spatial continuity measures for probabilistic and deterministic geostatistics. *Mathematical Geology*, 20(4), 313-341. <https://doi.org/10.1007/BF00892982>
- Journel, A. G., & Huijbregts, C. J. (1978). *Mining geostatistics*. Academic Press.
- Maldonado-Zamora, F. I., Ramírez-Dávila, J. F., Rubí-Arriaga, M., Antonio-Némiga, X., & Lara-Díaz, A. V. (2016). Distribución espacial de trips en aguacate en Coatepec Harinas, Estado

- de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(4), 845-856. <http://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/index.php/agricolas/article/view/259>
- Maldonado-Zamora, F. I., Ramírez-Dávila, J. F., Lara-Díaz, A. V., Rivera-Martínez, R., Acosta-Guadarrama, A. D., Figueroa-Figueroa, D. K., Rubí-Arriaga, M., & Tapia-Rodríguez, A. (2017). Estabilidad espacial y temporal de la distribución de trips en el cultivo de aguacate en el Estado de México. *Southwestern Entomologist*, 42(2), 447-462. <https://doi.org/10.3958/059.042.0215>
- Milonas, P., Gogou, C., Papadopoulou, A., Fountas, S., Liakos, V., & Papadopoulos, N. T. (2016). Spatio-Temporal distribution of *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) and *Pectinophora gossypiella* (Saunders) (Lepidoptera: Gelechiidae) in a cotton production area. *Neotropical Entomology*, 45(3), 240-251. <https://doi.org/10.1007/s13744-015-0358-6>
- Oliver, M., & Webster, R. (1998). How geostatistics can help you. *Soil Use and Management*, 7(4), 206-217. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.1991.tb00876.x>
- Ramírez-Dávila, J. F., & Porcayo-Camargo, E. (2008). Distribución espacial de las ninfas de *Jacobiasca lybica* (Hemiptera: Cicadellidae) en un viñedo en Andalucía, España. *Revista Colombiana de Entomología*, 34(2), 169-175. <https://www.scienceopen.com/document?vid=c698c85a-dbc4-4360-b6a6-0e68abaeaa57>
- Ramírez-Dávila, J. F., Porcayo-Camargo, E., & Sánchez-Pale, J. R. (2011). Análisis de la distribución espacial de *Bactericera cockerelli* Sulc (Hemiptera: Trioizidae) en *Solanum tuberosum* L. en Donato Guerra, México. *Boletín del Museo de Entomología de la Universidad del Valle*, 12(1), 12-24. <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/handle/10893/4083?locale-attribute=en>
- Ribes, M., Bascuñana, M., & Avilla, H. J. (1998). Estudio de la distribución espacial de *Cydia pomonella* (L.) y *Pandemis heparana* (Denis & Schiffermüller) en Torregrossa (Lleida) mediante métodos geoestadísticos. *Boletín de Sanidad Vegetal Plagas*, 24(4), 935-948. https://repositori.udl.cat/bitstream/handle/10459.1/41623/pdf_plagas_BSVP-24-04-Adenda-0935-0948.pdf?sequence=1
- Rong, J., Dian-Mo, L., Bao-Yu, X., Zhe, L., & Dong-Li, M. (2006). Spatial distribution of oriental *Locusta migratoria* (Orthoptera: Acrididae) egg pod populations: Implications for site-specific pest management. *Environmental Entomology*, 35(1), 1244-1248. <https://doi.org/10.1093/ee/35.5.1244>
- Rossi, R. E., Mulla, D. J., Journel, A. G., & Franz, E. H. (1992). Geostatistical tools for modeling and interpreting ecological spatial dependence. *Ecological Monographs*, 62(2), 277-314. <https://doi.org/10.2307/2937096>
- Samper, F. J., & Carrera, J. (1996). *Geoestadística, aplicaciones a la hidrogeología subterránea*. Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería.
- Sciarretta, A., Zinni, A., Mazzocchi, A., & Trematerra, P. (2008). Spatial analysis of *Lobesia botrana* (Lepidoptera: Tortricidae) male population in a Mediterranean agricultural landscape in central Italy. *Environmental Entomology*, 37(2), 382-390. <https://doi.org/10.1093/ee/37.2.382>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2019). *Datos abiertos. estadística de producción agrícola*. <http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php>
- Solano, D. A., Álvarez-Herrera, J. G., & Rodríguez, J. A. (2008). Distribución espacial de *Brevipalpus phoenicis* vector de la leprosis de los cítricos en el cultivo de naranja Valencia (*Citrus sinensis*) en Yopal, Casanare (Colombia). *Agronomía Colombiana*, 26(3), 399-410. <https://www.redalyc.org/pdf/1803/180314731004.pdf>
- Solares-Alonso, V. M., Ramírez-Dávila, J. F., Sánchez-Pale, J. R. (2012). 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. <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/handle/10893/4088>

