

## Spatial behaviour of *Hemiberlesia lataniae* (Signoret) on 'Hass' avocado in Estado de Mexico

### Comportamiento espacial de *Hemiberlesia lataniae* (Signoret) en aguacate 'Hass' en el Estado de México

Nancy Martínez-Martínez<sup>1</sup>; José Francisco Ramírez-Dávila<sup>1\*</sup>; Jaime Mejía-Carranza<sup>2</sup>; Sara Vera-Noguez<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma del Estado de México, Campus "El Cerrillo". Carretera Toluca-Ixtlahuaca km 15, Piedras Blancas, Toluca, Estado de México, C. P. 50200, MÉXICO.

<sup>2</sup>Universidad Autónoma del Estado de México, Centro Universitario Tenancingo. Carretera Tenancingo-Villa Guerrero km 1.5, Tenancingo, Estado de México, C. P. 52400, MÉXICO.

<sup>3</sup>Universidad Autónoma del Estado de México. Cerro de Coatepec paseo Universidad s/n, Ciudad Universitaria, Toluca, Estado de México, C. P. 50100, MÉXICO.

\*Corresponding author: [jframirez@uaemex.mx](mailto:jframirez@uaemex.mx), tel. 722 19 52 195.

#### Abstract

**Introduction:** Avocado exports have been affected by the presence of *Hemiberlesia lataniae*, the main damage is aesthetic and undermines fruit quality.

**Objective:** To determine the spatial distribution of *Hemiberlesia lataniae* in a 'Hass' avocado crop in Estado de Mexico.

**Methodology:** The experiment was developed in three avocado growing areas (Coatepec Harinas, Donato Guerra and Ixtapan del Oro). Sampling was carried out using the quadrat methodology, a total of 400 trees were sampled per zone from August 2019 to July 2020. The trees were divided into three strata (high, medium and low), and a terminal branch from each cardinal point was marked. Each tree was marked and georeferenced with a differential GPS.

**Results:** A total of 24 samples per zone were generated, and all cases had an aggregated spatial behavior of *Hemiberlesia lataniae*. Semivariograms were fitted to spherical, exponential, and Gaussian models.

**Limitation of the study:** Geostatistics is the only method that provides the exact location of the pest and the sample in density maps.

**Originality:** The present study proposes to implement integrated management strategies to reduce ecological damage, due to indiscriminate use of insecticides, and presence of residues in fruits.

**Conclusions:** The following study allowed us to know the spatial distribution of *Hemiberlesia lataniae* by means of density maps in three 'Hass' avocado producing areas in Estado de Mexico, where an aggregated spatial distribution was observed.

**Keywords:** aggregated, spatial distribution, armed scale, geostatistics, kriging.

#### Resumen

**Introducción:** La exportación de aguacate se ha visto afectada por la presencia de *Hemiberlesia lataniae*, cuyo principal daño es estético y le resta calidad al fruto.

**Objetivo:** Determinar la distribución espacial de *Hemiberlesia lataniae* en el cultivo de aguacate 'Hass' en el Estado de México.

**Metodología:** El experimento se estableció en tres zonas productoras de aguacate (Coatepec Harinas, Donato Guerra e Ixtapan del Oro). El muestreo se realizó con la metodología de cuadrantes, en donde se muestrearon 400 árboles por zona de agosto de 2019 a julio de 2020. Los árboles se dividieron en tres estratos (alto, medio y bajo), y se marcó una rama terminal de cada punto cardinal. Cada árbol se marcó y georreferenció con un GPS diferencial.

**Resultados:** En total se generaron 24 muestreos por zona, y en todos los casos se observó un comportamiento espacial agregado de *Hemiberlesia lataniae*. Los semivariogramas se ajustaron a modelos esférico, exponencial y gaussiano.

**Limitación del estudio:** La geoestadística es el único método que proporciona la ubicación exacta de la plaga y la muestra en mapas de densidad.

**Originalidad:** El trabajo propone implementar estrategias de manejo integrado que permitan reducir los daños ecológicos, por el uso indiscriminado de insecticidas, y la presencia de residuos en los frutos.

**Conclusiones:** El presente estudio permitió conocer la distribución espacial de *Hemiberlesia lataniae* mediante mapas de densidad en tres zonas productoras de aguacate 'Hass' en el Estado de México, en donde se observó una distribución espacial agregada.

**Palabras clave:** magregados, distribución espacial, escama armada, geoestadística, krigeado.

## Introduction

Avocado (*Persea americana* Mill) is one of Mexico's most important agri-food export products. The production of this fruit shows an upward trend, with Mexico being the main producer and exporter worldwide. In 2020, the national production of avocado increased 5.6 % with respect to that obtained in 2019, where Michoacán stood out as the national leader in production and export (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2020).

Avocado production for export is affected by pests such as seed and branch borers, thrips, mites, and several species of scales. Thrips and scales, which develop mainly on the fruit (Rugman-Jones et al., 2009), cause aesthetic damage and reduce the quality of the fruit to be sold in the market. In addition, these pests increase production costs by approximately 3 %, because they are very small insects that are difficult to remove on the packing line (Olivares, 2017; Ripa et al., 2007a; Stocks & Evans, 2017).

In recent years, *Hemiberlesia lataniae* (Signoret), known as armored scale, has become an economically important pest due to poor control (Evans et al., 2009; Navea & Vargas, 2012). *H. lataniae* is present in several economically important hosts such as fruit trees, ornamentals, and forest hosts (Apostolos et al., 2010). This pest infests branches, twigs, leaves and fruit, mainly in low and internal areas of the tree, where there is greater humidity and lower solar radiation. In high infestations, this species can weaken and even kill the attacked structures. In the case of fruits, these change slightly in color, develop depressions on their surface and may even fall from the tree (Lemus-Soriano, 2018).

Infestation in orchards has been more recurrent due to climate change and over-reliance on chemical control, which is used excessively and indiscriminately. This has led to pest resistance, higher production costs (Park et al., 2007), insecticide residues in consumer products, environmental pollution, loss of biodiversity and damage to health (Carbajal & Martos, 2019).

In response to the growing demand for safe food and the demand for greater production (quality and quantity), at low cost and with less environmental impact, it is necessary to implement sustainable pest management strategies and methods. Furthermore, tools and techniques are required to know the distribution and behavior of phytosanitary problems; that is, to identify infestation areas. This will allow the grower to direct the different control measures more precisely, avoiding their spread to other production orchards or other crops. In this sense, geostatistics includes a set of tools used to analyze, prevent, and predict the spatial

## Introducción

El aguacate (*Persea americana* Mill) es uno de los productos agroalimentarios de exportación más importante para México. La producción de este fruto presenta un comportamiento alcista, siendo México el principal productor y exportador a nivel mundial. En 2020, la producción nacional de aguacate incrementó 5.6 % con respecto a la obtenida en 2019, donde Michoacán destacó como líder nacional en producción y exportación (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2020).

La producción de aguacate para exportación es afectada por plagas como barrenadores de hueso y rama, trips, ácaros y varias especies de escamas. Los trips y las escamas, que se desarrollan principalmente en el fruto (Rugman-Jones et al., 2009), causan daño estético y le restan calidad para su venta en el mercado. Además, estas plagas aumentan los costos de producción en aproximadamente 3 %, ya que al ser insectos muy pequeños se dificulta su remoción en la línea de empaque (Olivares, 2017; Ripa et al., 2007a; Stocks & Evans, 2017).

En los últimos años, *Hemiberlesia lataniae* (Signoret), conocida como escama armada, se ha transformado en una plaga de importancia económica debido al escaso control que existe (Evans et al., 2009; Navea & Vargas, 2012). *H. lataniae* se encuentra presente en diversos hospederos de importancia económica como frutales, ornamentales y forestales (Apostolos et al., 2010). Esta plaga infesta ramas, ramillas, hojas y frutos, principalmente en zonas bajas e internas del árbol, que es donde existe mayor humedad y menor radiación solar. En infestaciones altas, dicha especie puede debilitar y llegar a producir la muerte de las estructuras atacadas. En el caso de los frutos, éstos cambian ligeramente de color, presentan depresiones en su superficie e incluso pueden caer del árbol (Lemus-Soriano, 2018).

La infestación en huertos ha sido más recurrente debido al cambio climático y a la excesiva dependencia del control químico, el cual se usa de manera excesiva e indiscriminada. Esto ha generado resistencia de las plagas, mayores costos de producción (Park et al., 2007), residuos de insecticidas en los productos de consumo, contaminación ambiental, pérdida de la biodiversidad y daños para la salud (Carbajal & Martos, 2019).

Ante la creciente demanda de alimentos inocuos y la exigencia de una mayor producción (de calidad y cantidad), a bajo costo y con menor impacto ambiental, se hace necesario implementar estrategias y métodos sustentables en el manejo de plagas. Asimismo, se requieren herramientas y técnicas que permitan conocer la distribución y el comportamiento de los

distribution patterns and behavior of a pest by means of infestation maps and semivariograms (Ramírez-Dávila, & Figueroa-Figueroa, 2013).

Understanding the distribution of the armored scale is essential to develop integrated management programs; therefore, the objective of this study was to determine the spatial distribution of *H. lataniae* populations in the 'Hass' avocado crop in Estado de México.

## Materials and methods

The study was carried out in three 'Hass' avocado growing areas in Estado de México: Coatepec Harinas (18° 55' 25" N and 99° 43' 7" W, at 2260 m a. s. l., mean annual temperature of 24 °C and relative humidity of 62 %), Donato Guerra (19° 24' N and 100° 18' W, at 2200 m a. s. l., mean annual temperature of 21 °C and relative humidity of 60 %), and Ixtapan del Oro (19° 16' 18" north latitude and 100° 16' 5" west longitude, at 1640 m a. s. l., mean annual temperature of 21 °C and relative humidity of 60 %), mean annual temperature of 21 °C and relative humidity of 60 % and Ixtapan del Oro (19° 16' 18" N and 100° 16' 5" W, at 1640 m a. s. l., mean annual temperature of 18 °C and relative humidity of 65 %).

The experiment was established in one plot (4 ha) of 8 to 10 years old 'Hass' avocado per municipality with presence of *H. lataniae*. Sampling was carried out according to the quadrat methodology, which consists of dividing the plot into 100 quadrats of 20 x 20 m, 40 quadrats were taken at random per plot and 10 trees were selected, giving a total of 400 trees. Each tree was marked with a plastic band and georeferenced with a differential global positioning system (DGPS; Nomad™ 1050 Lc, Trimble®).

The sampling methodology used to estimate armed scale infection was that described by Urías-López et al. (2010), which consists of dividing the tree into three strata (high, medium, and low). From each stratum, a terminal branch oriented to each cardinal point (north, south, east and west) was marked and 20 cm were sampled. Samplings were performed twice a month from August 2019 to July 2020. The number of scales was quantified using a 20x magnifying glass. The insect was identified at the Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. To determine the normality of the data, a statistical exploration of the original data of the armored scale populations in each sample was carried out. The skewness coefficient and the kurtosis test were used for this purpose.

The most used methods to determine the type of spatial distribution of populations of biological organisms are: 1) classical statistics (dispersion index, Green's index, among others) and 2) spatial statistics

problemas fitosanitarios; es decir, que permitan identificar las zonas de infestación. Esto permitirá al productor dirigir de forma más precisa las diferentes medidas de control, evitando así su dispersión a otros huertos de producción u otros cultivos. En este sentido, la geoestadística comprende un conjunto de herramientas que sirven para analizar, prevenir y predecir los patrones de distribución espacial y el comportamiento de una plaga mediante mapas de infestación y semivariogramas (Ramírez-Dávila, & Figueroa-Figueroa, 2013).

El conocimiento de la distribución de la escama armada es indispensable para elaborar programas de manejo integrado; por ello, el objetivo del presente trabajo fue determinar la distribución espacial de las poblaciones de *H. lataniae* en el cultivo de aguacate 'Hass' en el Estado de México.

## Materiales y métodos

El estudio se llevó a cabo en tres zonas productoras de aguacate 'Hass' en el Estado de México: Coatepec Harinas (18° 55' 25" latitud norte y 99° 43' 7" longitud oeste, a 2260 m s. n. m., temperatura media anual de 24 °C y humedad relativa de 62 %), Donato Guerra (19° 24' latitud norte y 100° 18' longitud oeste, a 2200 m s. n. m., temperatura media anual de 21 °C y humedad relativa de 60 %) e Ixtapan del Oro (19° 16' 18" latitud norte y 100° 16' 5" longitud oeste, a 1640 m s. n. m., temperatura media anual de 18 °C y humedad relativa de 65 %).

El experimento se estableció en una parcela (4 ha) de aguacate 'Hass' de 8 a 10 años de edad por municipio con presencia de *H. lataniae*. El muestreo se realizó de acuerdo con la metodología de cuadrantes, la cual consiste en dividir la parcela en 100 cuadrantes de 20 x 20 m, se toman 40 cuadrantes al azar por parcela y se seleccionaron 10 árboles, lo que da un total de 400 árboles. Cada árbol se marcó con una banda plástica y se georreferenció con un sistema de posicionamiento global diferencial (DGPS; Nomad™ 1050 Lc, Trimble®).

La metodología de muestreo utilizada para estimar la infección por escama armada fue la descrita por Urías-López et al. (2010), la cual consiste en dividir al árbol en tres estratos (alto, medio y bajo). De cada estrato se marcó una rama terminal orientada a cada punto cardinal (norte, sur, este y oeste) y se muestrearon 20 cm. Los muestreos se realizaron dos veces al mes de agosto a diciembre de 2019 y de enero a julio de 2020. El número de escamas se cuantificó con ayuda de una lupa 20x. El insecto se identificó en el Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Con el fin de determinar la normalidad de los datos, se llevó a cabo una exploración estadística de los datos originales de las poblaciones de escama armada en cada muestreo. Para ello, se utilizó el coeficiente de asimetría y la prueba de curtosis.

(geostatistics and SADIE). The methodology of classical statistics does not consider the spatial location of the sample; consequently, it is not possible to observe the distribution of the population in the plot. On the contrary, geostatistics allows identifying the areas where infestations are present in crops, which facilitates the management and control of these problems in a timely and relevant manner. In fact, with the data obtained it is possible to elaborate spatial distribution maps and use traditional statistical indexes (Ramírez-Dávila & Porcayo-Camargo, 2009); therefore, the spatial statistical method was used in this study.

### Geostatistical analysis

The estimation of the experimental semivariogram was carried out with the data acquired in the different samples of the armed scale population in the three study areas, using the Variowin 2.2 program (Pannatier, 1996) and the following formula (Isaaks & Srivastav, 1989; Journel & Huijbregts, 1978):

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2Np(h)} \sum_{i=1}^{Np(h)} [Z(X_i) - Z(X_i + h)]^2 \quad (1)$$

where  $\gamma^*(h)$  is the experimental value of the semivariogram for the distance interval  $h$ ,  $Np(h)$  is the number of pairs of sample points separated by the distance interval  $h$ ,  $Z(X_i)$  is the value of the variable of interest at sample point  $X_i$  and  $Z(X_i + h)$  is the value of the variable of interest at sample point  $X_i + h$ .

The theoretical semivariogram model was validated by interactively changing the values of sill, nugget effect and range; then, the four cross-validation statistical parameters were used (Samper-Calvete, 1996). The level of spatial dependence was also calculated, which determines the degree of relationship, in percentage, between the data (Cambardella et al., 1994) and is obtained by dividing the nugget effect by the sill. Subsequently, density maps were prepared for each zone by interpolating values using the kriging method. This method allows the unbiased estimation of values associated with points that were not sampled and aims to find the best possible estimate from the available information. This study used the ordinary kriging because the constant mean value is unknown. From the estimates shown in the form of a map for each study area, on the different sampling dates using the Surfer 16 program (Surface Mapping System, Golden Software, USA), the percentage of infested and non-infested area was calculated (Gallardo, 2006; Ramírez-Dávila et al., 2013).

### Results and discussion

An aggregate spatial behavior of the insect was observed in the 24 samples. It should be noted that the concepts of isotropy and omnidirectionality were considered in each semivariogram, because the insect

Los métodos más utilizados para determinar el tipo de distribución espacial de las poblaciones de organismos biológicos son: 1) estadística clásica (índice de dispersión, índice de Green, entre otros) y 2) estadística espacial (geoestadística y SADIE). La metodología de la estadística clásica no considera la localización espacial de la muestra; en consecuencia, no se puede observar la distribución de la población en la parcela. Por el contrario, la geoestadística permite identificar las zonas donde se encuentran presentes las infestaciones en los cultivos, lo cual facilita el manejo y control de estos problemas de forma puntual y pertinente. Además, con los datos obtenidos es posible elaborar mapas de distribución espacial y emplear índices estadísticos tradicionales (Ramírez-Dávila & Porcayo-Camargo, 2009); por ello, en este trabajo se utilizó el método de estadística espacial.

### Análisis geoestadístico

La estimación del semivariograma experimental se realizó con los datos adquiridos en los diferentes muestreos de la población de escama armada en las tres zonas de estudio, para lo cual se utilizó el programa Variowin 2.2 (Pannatier, 1996) y la siguiente formula (Isaaks & Srivastav, 1989; Journel & Huijbregts, 1978):

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2Np(h)} \sum_{i=1}^{Np(h)} [Z(X_i) - Z(X_i + h)]^2 \quad (1)$$

donde  $\gamma^*(h)$  es el valor experimental del semivariograma para el intervalo de distancia  $h$ ,  $Np(h)$  es el número de pares de puntos muestrales separados por el intervalo de distancia  $h$ ,  $Z(X_i)$  es el valor de la variable de interés en el punto muestral  $X_i$  y  $Z(X_i + h)$  es el valor de la variable de interés en el punto muestra  $X_i + h$ .

El modelo de semivariograma teórico se validó cambiando de forma interactiva los valores de meseta, efecto pepita y rango; después, se emplearon los cuatro parámetros estadísticos de validación cruzada (Samper-Calvete, 1996). También se calculó el nivel de dependencia espacial, el cual determina el grado de relación, en porcentaje, que existe entre los datos (Cambardella et al., 1994) y se obtiene al dividir el efecto pepita entre la meseta. Posteriormente, se elaboraron los mapas de densidad para cada zona mediante la interpolación de valores a través del método de krigeado. Este método permite la estimación, no sesgada, de valores asociados con puntos que no fueron muestreados, y tiene como objetivo encontrar la mejor estimación posible a partir de la información disponible. En este trabajo se utilizó el krigeado ordinario porque el valor medio constante es desconocido. De las estimaciones que se presentaron en forma de mapa para cada zona de estudio, en las diferentes fechas de muestreo mediante el programa Surfer 16 (Surface Mapping System, Golden Software, EUA), se calculó el porcentaje de superficie infestada y no infestada (Gallardo, 2006; Ramírez-Dávila et al., 2013).



studied does not prefer any specific direction or area within the study plots (Ramírez-Dávila & Porcayo-Camargo, 2009).

With respect to Coatepec Harinas, most of the samples were adjusted to the spherical model (Table 1). In this type of model, infestation centers are located at specific points and randomly with respect to the rest of the points sampled in the plot (Ramírez-Dávila & Figueroa-Figueroa, 2013). The spherical model allows us to assume the existence of microclimates that benefit the development of the armored scale within the plot. On the other hand, the exponential model was only present in six samples. This model refers to an aggregate distribution of irregular boundaries within the plot, which presents an accelerated growth that then stabilizes.

Table 1 shows the values of the parameters analyzed. In Coatepec Harinas, sill values were obtained from 1520 to 3780, and from 14.76 to 30.34 m in range, this value was the maximum distance at which there is a relationship between the data of each sample. The nugget effect values were, in all cases, zero; this means the sampling error is minimal and the sampling scale is correct (Rosii et al., 1992).

The level of spatial dependence was high in all samples, which suggests that the populations of this pest are dependent on each other and have a high level of aggregation. A variable is considered to have a strong spatial dependence if the value is lower than 25 %, moderate if the value is between 25 and 75 %, and weak if it is greater than 75 %. Such results are similar to those observed by Acosta-Guadarrama et al. (2017) and Rivera-Martínez et al. (2017), who point out that thrips populations have a high level of spatial dependence with strong aggregates, which were observed in the incidence maps of both studies.

Having strong aggregates in one sample indicates that the distribution pattern will continue to be present in subsequent samples (Figure 1). Strong aggregates are high densities of *H. lataniae* populations in specific areas within plots, and where the data is closely related.

The semivariograms obtained with the Donato Guerra data were adjusted to Spherical, exponential and Gaussian models, although sample 11, corresponding to the first sample in January and it was the only one that was adjusted to the Gaussian model. In this model, the aggregation centers are continuously present in the plot, which allows us to assume the existence of various environmental factors that favor their dispersion and development in the plot. The values of sill, in this municipality, were found between 6.07 and 477.4, while the values of range varied between 8.84 and 19.76 m. As already mentioned, a nugget effect of zero and a

## Resultados y discusión

En los 24 muestreos se observó un comportamiento espacial agregado del insecto. Cabe resaltar que se consideraron los conceptos de isotropía y omnidireccionalidad en cada semivariograma, esto debido a que el insecto estudiado no tiene preferencia por alguna dirección específica o área dentro de las parcelas de estudio (Ramírez-Dávila & Porcayo-Camargo, 2009).

Con respecto a Coatepec Harinas, la mayoría de los muestreos se ajustaron al modelo esférico (Cuadro 1). En este tipo de modelos los focos de infestación están localizados en puntos específicos y de forma aleatoria respecto al resto de los puntos muestreados en la parcela (Ramírez-Dávila & Figueroa-Figueroa, 2013). El modelo esférico observado permite suponer la existencia de microclimas que benefician el desarrollo de la escama armada dentro de la parcela. Por su parte, el modelo exponencial sólo se presentó en seis muestreos. Este modelo hace referencia a una distribución agregada de límites irregulares dentro de la parcela, y que presenta un crecimiento acelerado que después se estabiliza.

El Cuadro 1 presenta los valores de los parámetros analizados. En Coatepec Harinas se obtuvieron valores de meseta de 1520 a 3780, y de 14.76 a 30.34 m en rango, siendo este valor la distancia máxima en la cual existe relación entre los datos de cada muestreo. Los valores de efecto pepita fueron, en todos los casos, cero; esto significa que el error de muestreo es mínimo y la escala de muestreo es correcta (Rosii et al., 1992).

El nivel de dependencia espacial fue alto en todos los muestreos, lo cual permite suponer que las poblaciones de dicha plaga son dependientes entre sí y que presentan un nivel de agregación alto. Se considera que una variable tiene una fuerte dependencia espacial si el valor es menor a 25 %, moderada si el valor está entre 25 y 75 %, y débil si es mayor a 75 %. Dichos resultados son similares a los observados por Acosta-Guadarrama et al. (2017) y Rivera-Martínez et al. (2017), quienes señalan que las poblaciones de trips presentan un alto nivel de dependencia espacial con fuertes agregados, los cuales se observaron en los mapas de incidencia de ambos estudios.

Tener agregados fuertes en un muestreo indica que el patrón de distribución se seguirá presentando en los siguientes muestreos (Figura 1). Los agregados fuertes son densidades altas de poblaciones de *H. lataniae* en zonas específicas dentro de las parcelas, y donde los datos están estrechamente relacionados.

Los semivariogramas obtenidos con los datos de Donato Guerra se ajustaron a modelos esférico, exponencial y

**Table 1. Nugget effect, sill, and range parameters of fitted models of armored scale populations and percentage of infested area.****Cuadro 1. Parámetros efecto pepita, meseta y rango de los modelos ajustados de las poblaciones de escama armada y porcentaje de superficie infestada.**

SN/ NM	Mean/ Media	Variance / Varianza	Model/Modelo	Nugget/ Pepita	Sill/ Meseta	Range/ Rango	Nugget/ sill / Pepita/ meseta	SDL/ NDE	IA (%) / SI (%)
<b>Coatepec Harinas</b>									
1	52.12	1899.19	Spherical/Esférico	0	1520	17.63	0	High/Alta	81
2	40.16	1267.30	Spherical/Esférico	0	2059	14.76	0	High/Alta	77
3	69.74	2583.26	Exponential/Exponencial	0	2442	26.64	0	High/Alta	89
4	78.84	2856.67	Spherical/Esférico	0	2574	19.27	0	High/Alta	91
5	86.00	2972.17	Spherical/Esférico	0	2640	17.22	0	High/Alta	99
6	93.55	3331.61	Exponential/Exponencial	0	2948	26.24	0	High/Alta	95
7	98.76	3406.11	Spherical/Esférico	0	3196	22.55	0	High/Alta	96
8	103.49	3470.86	Spherical/Esférico	0	3060	21.32	0	High/Alta	88
9	112.68	3897.76	Spherical/Esférico	0	3380	20.4	0	High/Alta	91
10	119.13	4006.30	Spherical/Esférico	0	3710	20.8	0	High/Alta	93
11	122.90	4007.51	Spherical/Esférico	0	3780	20.8	0	High/Alta	95
12	119.99	3982.66	Spherical/Esférico	0	3672	19.6	0	High/Alta	96
13	116.87	3926.33	Spherical/Esférico	0	3510	18.45	0	High/Alta	90
14	113.92	3843.25	Exponential/Exponencial	0	3391.82	30.34	0	High/Alta	89
15	111.88	3859.89	Exponential/Exponencial	0	3402	23.2	0	High/Alta	93
16	103.55	3565.96	Spherical/Esférico	0	3136	20.5	0	High/Alta	92
17	102.02	3537.35	Spherical/Esférico	0	3430	22.4	0	High/Alta	92
18	100.59	3501.43	Spherical/Esférico	0	3528	21.6	0	High/Alta	91
19	98.81	3470.38	Spherical/Esférico	0	3312	22.14	0	High/Alta	89
20	87.29	2047.72	Exponential/Exponencial	0	1856	21.6	0	High/Alta	93
21	48.79	2009.36	Exponential/Exponencial	0	1938	25.99	0	High/Alta	85
22	45.89	1873.04	Spherical/Esférico	0	1980	19.6	0	High/Alta	83
23	42.68	1792	Spherical/Esférico	0	2176	22.55	0	High/Alta	89
24	39.46	1699.76	Spherical/Esférico	0	1770	20.09	0	High/Alta	87
<b>Donato Guerra</b>									
1	2.96	5.00	Exponential/Exponencial	0	7.38	17.68	0	High/Alta	88
2	2.51	5.91	Exponential/Exponencial	0	7.29	16.64	0	High/Alta	80
3	5.80	12.55	Exponential/Exponencial	0	43.66	18.2	0	High/Alta	90
4	9.19	21.33	Exponential/Exponencial	0	22.91	17.16	0	High/Alta	92
5	11.82	31.54	Spherical/Esférico	0	77.4	16.47	0	High/Alta	92
6	14.76	39.88	Spherical/Esférico	0	94.59	18.35	0	High/Alta	96
7	18.99	49.81	Spherical/Esférico	0	113.1	16.47	0	High/Alta	91
8	24.10	45.83	Exponential/Exponencial	0	100.1	20.8	0	High/Alta	94
9	27.78	65.43	Exponential/Exponencial	0	139.2	18.2	0	High/Alta	91
10	33.16	105.62	Spherical/Esférico	0	199.2	9.36	0	High/Alta	89
11	37.88	165.24	Gaussiano	0	266.4	10.92	0	High/Alta	92
12	43.23	194.16	Spherical/Esférico	0	306.6	14.56	0	High/Alta	91

SN = sample number; SDL = spatial dependence level; IA = infested area.

NM = número de muestreo; NDE = nivel de dependencia espacial; SI = superficie infestada.

**Table 1. Nugget effect, sill, and range parameters of fitted models of armored scale populations and percentage of infested area. (cont.)**

**Cuadro 1. Parámetros efecto pepita, meseta y rango de los modelos ajustados de las poblaciones de escama armada y porcentaje de superficie infestada. (cont.)**

SN/ NM	Mean/ Media	Variance/ Varianza	Model/Modelo	Nugget/ Pepita	Sill/ Meseta	Range/ Rango	Nugget/ sill/ Pepita/ meseta	SDL/ NDE	IA (%)/ SI (%)
Donato Guerra									
13	49.32	238.23	Exponential/Exponencial	0	372.3	19.76	0	High/Alta	93
14	55.88	289.42	Spherical/Esférico	0	477.4	16.64	0	High/Alta	90
15	36.73	175.60	Spherical/Esférico	0	210	9.88	0	High/Alta	92
16	30.51	121	Spherical/Esférico	0	283.5	14.04	0	High/Alta	90
17	23.30	80.73	Exponential/Exponencial	0	134.3	16.64	0	High/Alta	91
18	17.45	48.08	Exponential/Exponencial	0	96	18.2	0	High/Alta	90
19	10.67	26.58	Spherical/Esférico	0	59.64	8.84	0	High/Alta	91
20	7.71	26.26	Spherical/Esférico	0	41.33	13.52	0	High/Alta	93
21	6.28	17.83	Spherical/Esférico	0	17.16	14.56	0	High/Alta	88
22	4.67	9.44	Spherical/Esférico	0	29.23	13.52	0	High/Alta	90
23	3.17	4.77	Exponential/Exponencial	0	9.47	18.2	0	High/Alta	88
24	1.93	2.70	Spherical/Esférico	0	6.07	11.96	0	High/Alta	77
Ixtapan del Oro									
1	3.56	12.94	Spherical/Esférico	0	36.08	15.2	0	High/Alta	75
2	3.41	18	Spherical/Esférico	0	51.2	18.48	0	High/Alta	77
3	5.14	20.60	Exponential/Exponencial	0	64.38	15.2	0	High/Alta	80
4	7.72	21.69	Exponential/Exponencial	0	74.7	15.2	0	High/Alta	89
5	10.56	29.76	Spherical/Esférico	0	98.4	19	0	High/Alta	93
6	12.91	39.82	Exponential/Exponencial	0	79.54	19.2	0	High/Alta	91
7	15.39	43.63	Exponential/Exponencial	0	127.4	16.8	0	High/Alta	89
8	17.82	55.51	Spherical/Esférico	0	147.89	15.99	0	High/Alta	87
9	19.94	62.99	Exponential/Exponencial	0	167.2	8.2	0	High/Alta	94
10	22.95	85.19	Spherical/Esférico	0	195.5	11.07	0	High/Alta	92
11	15.27	29.54	Spherical/Esférico	0	69.72	15.2	0	High/Alta	93
12	17.97	37.30	Spherical/Esférico	0	100.8	17.6	0	High/Alta	94
13	20.91	51.36	Spherical/Esférico	0	128.1	11.48	0	High/Alta	92
14	23.73	73.23	Exponential/Exponencial	0	134.4	11.2	0	High/Alta	91
15	13.56	24.60	Exponential/Exponencial	0	55.2	13.6	0	High/Alta	87
16	11.55	18.01	Spherical/Esférico	0	35.52	22.4	0	High/Alta	85
17	9.24	12.80	Spherical/Esférico	0	24	19.2	0	High/Alta	84
18	7.17	8.01	Exponential/Exponencial	0	14.25	24.8	0	High/Alta	90
19	5.29	4.69	Exponential/Exponencial	0	7.92	13.6	0	High/Alta	86
20	5.04	4.89	Exponential/Exponencial	0	6.6	16	0	High/Alta	88
21	4.84	4.67	Spherical/Esférico	0	6.24	16	0	High/Alta	94
22	4.61	4.94	Spherical/Esférico	0	5.92	10.66	0	High/Alta	92
23	4.15	5.61	Spherical/Esférico	0	5.85	11.48	0	High/Alta	91
24	3.64	6.10	Spherical/Esférico	0	6.36	17.6	0	High/Alta	84

SN = sample number; SDL = spatial dependence level; IA = infested area.

NM = número de muestreo; NDE = nivel de dependencia espacial; SI = superficie infestada.

high level of spatial dependence were present in all samples. These values coincide with those reported by Ramírez-Dávila et al. (2013) and Maldonado-Zamora et al. (2017), who found that thrips populations in avocado are distributed in an aggregated manner at specific points in the plot.

In the case of Ixtapan del Oro, the theoretical semivariograms were mostly adjusted to the spherical model; only 10 samples were adjusted to the exponential model (Table 1). The range values were between 8.2 and 24.8 m. Similarly, the nugget effect was zero and a high level of spatial dependence was obtained (Figure 3). These results agree with those reported by Lara-Vázquez et al. (2018), whose study presented a high degree of spatial dependence in red spider mite sampling in avocado crop.

In the three municipalities studied, it was determined that the ranges of the semivariograms are sufficiently high. The above indicates that the adjusted models obtained represent, mathematically, the spatial behavior of the scale throughout the study area (Maldonado-Zamora et al., 2017). The cross-validation geostatistical parameters (Table 2) allowed validation of the experimental semivariograms of the three study areas at the different sampling dates.

In Coatepec Harinas, the highest densities of armed scale were found from September to May, where the first sample in January had a sample mean of 122.90 insects per tree. The months with the lowest densities were August, September, June, and July. The second sample in July had the lowest density (39.46) (Table 1 and Figure 1). It should be noted that the highest percentage of infestation was 99 % in sample five, corresponding to the first sample in October, and the lowest percentage was the second sample in August (77 %) (Table 1).

Density maps (Figure 1, 2 and 3) show the different aggregation centers. Each map shows geographic coordinates; at the bottom are the east coordinates and on the left side are the north coordinates. Figure 1 shows the largest infestation centers in the central and northern parts of the country. The months with the lowest density are distributed in the northern part, with a slight tendency towards the west side of the map, except for sample 22, which has an aggregation center in the southern part. An infestation percentage higher than 90 % was observed in most of the samples, which coincides with that reported by Lara-Vázquez et al. (2018) in the study on spider mites.

Donato Guerra reported the highest densities from November to April, with a mean of 55.88 insects per tree in sample 14. The months with the lowest density

gaussiano, aunque el muestreo 11, correspondiente al primer muestreo de enero, fue el único que se ajustó al modelo gaussiano. En este modelo, los centros de agregación se presentan de forma continua en la parcela, lo que permite suponer la existencia de diversos factores ambientales que favorecen su dispersión y desarrollo en la parcela. Los valores de meseta, en este municipio, se encontraron entre 6.07 y 477.4, mientras que los valores de rango fluctuaron entre 8.84 y 19.76 m. Como ya se mencionó, en todos los muestreos se presentó un efecto pepita de cero y un nivel de dependencia espacial alto. Estos valores coinciden con lo reportado por Ramírez-Dávila et al. (2013) y Maldonado-Zamora et al. (2017), quienes encontraron que las poblaciones de trips en aguacate se distribuyen de forma agregada en puntos específicos en la parcela.

En el caso de Ixtapan del Oro, los semivariogramas teóricos se ajustaron, en su mayoría, al modelo esférico; únicamente 10 muestreos se ajustaron al modelo exponencial (Cuadro 1). Los valores de rango estuvieron entre 8.2 y 24.8 m. De igual manera, el efecto pepita fue de cero y se obtuvo un alto nivel de dependencia espacial (Figura 3). Estos resultados concuerdan con los reportados por Lara-Vázquez et al. (2018), cuyo estudio presentó un grado de dependencia espacial alto en los muestreos de araña roja en el cultivo de aguacate.

En los tres municipios estudiados, se determinó que los rangos de los semivariogramas son suficientemente altos. Lo anterior indica que los modelos ajustados obtenidos representan, matemáticamente, el comportamiento espacial de la escama en toda la zona de estudio (Maldonado-Zamora et al., 2017). Los parámetros geostatísticos de validación cruzada (Cuadro 2) permitieron validar los semivariogramas experimentales de las tres zonas de estudio en las diferentes fechas de muestreo.

En Coatepec Harinas, las mayores densidades de escama armada se presentaron de septiembre a mayo, en donde el primer muestreo de enero tuvo una media muestral de 122.90 insectos por árbol. Los meses de menor densidad fueron agosto, septiembre, junio y julio, siendo el segundo muestreo de julio el de menor densidad (39.46) (Cuadro 1 y Figura 1). Cabe resaltar que el mayor porcentaje de infestación fue de 99 % en el muestreo cinco, correspondiente al primer muestreo de octubre, y el de menor porcentaje fue el segundo muestreo de agosto (77 %) (Cuadro 1).

En los mapas de densidad (Figura 1, 2 y 3) se pueden observar los diferentes centros de agregación. Cada mapa presenta coordenadas geográficas; en la parte inferior se encuentran las coordenadas este y del lado izquierdo las coordenadas norte. En la Figura 1, los mayores focos



Table 2. Cross-validation statistics for semivariograms

Cuadro 2. Estadísticos de validación cruzada de los semivariogramas.

SN/ NM	Sampling date/ Fecha de muestreo	Sampling variance/ Varianza muestral	MEE	Error variance/ Varianza de los errores	RMSE/ ECM	DMSE/ ECMA
----- Coatepec Harinas -----						
1	August 2019/ Agosto 2019	1899.19	0.13 <sup>ns</sup>	1123.16	0.10	1.07
2	Agosto 2019	1267.30	0.10 <sup>ns</sup>	1056.28	0.07	1.11
3	September 2019/ Septiembre 2019	2583.26	0.12 <sup>ns</sup>	1780.21	0.11	1.14
4	Septiembre 2019	2856.67	0.08 <sup>ns</sup>	1944.20	0.14	1.10
5	October 2019/ Octubre 2019	2972.17	0.13 <sup>ns</sup>	1844.25	0.11	1.12
6	Octubre 2019	3331.61	0.11 <sup>ns</sup>	2015.62	0.12	1.10
7	November 2019/ Noviembre 2019	3406.11	0.10 <sup>ns</sup>	2188.02	0.11	1.13
8	Noviembre 2019	3470.86	0.07 <sup>ns</sup>	2721.36	0.08	1.11
9	December/ Diciembre 2019	3897.76	0.12 <sup>ns</sup>	2590.47	0.11	1.10
10	Diciembre 2019	4006.30	0.14 <sup>ns</sup>	3127.57	0.14	1.09
11	January 2020/ Enero 2020	4007.51	0.11 <sup>ns</sup>	3169.30	0.12	1.13
12	Enero 2020	3982.66	0.10 <sup>ns</sup>	2841.50	0.09	1.07
13	February 2020/ Febrero 2020	3926.33	0.13 <sup>ns</sup>	2839.05	0.11	1.10
14	Febrero 2020	3843.25	0.08 <sup>ns</sup>	2418.64	0.10	1.12
15	March 2020/ Marzo 2020	3859.89	0.12 <sup>ns</sup>	2907.88	0.13	1.11
16	Marzo 2020	3565.96	0.14 <sup>ns</sup>	2907.51	0.11	1.07
17	April 2020/ Abril 2020	3537.35	0.10 <sup>ns</sup>	2611.29	0.07	1.14
18	Abril 2020	3501.43	0.07 <sup>ns</sup>	2756.02	0.12	1.11
19	May 2020/ Mayo 2020	3470.38	0.11 <sup>ns</sup>	2855.18	0.13	1.12
20	Mayo 2020	2047.72	0.13 <sup>ns</sup>	1527.22	0.11	1.10
21	June 2020/ Junio 2020	2009.36	0.10 <sup>ns</sup>	1392.16	0.12	1.09
22	Junio 2020	1873.04	0.12 <sup>ns</sup>	1057.90	0.10	1.11
23	July 2020/ Julio 2020	1792	0.11 <sup>ns</sup>	1183.41	0.08	1.10
24	Julio 2020	1699.76	0.09 <sup>ns</sup>	1255.71	0.13	1.12
----- Donato Guerra -----						
1	August 2019/ Agosto 2019	5.00	0.10 <sup>ns</sup>	2.15	0.11	1.09
2	Agosto 2019	5.91	0.12 <sup>ns</sup>	3.22	0.10	1.14
3	September 2019/ Septiembre 2019	12.55	0.14 <sup>ns</sup>	9.68	0.09	1.11
4	Septiembre 2019	21.33	0.13 <sup>ns</sup>	18.42	0.12	1.10
5	October 2019/ Octubre 2019	31.54	0.10 <sup>ns</sup>	20.19	0.11	1.12
6	Octubre 2019	39.88	0.13 <sup>ns</sup>	27.06	0.09	1.10
7	November 2019/ Noviembre 2019	49.81	0.08 <sup>ns</sup>	27.17	0.10	1.11
8	Noviembre 2019	45.83	0.14 <sup>ns</sup>	38.10	0.13	1.12
9	December/ Diciembre 2019	65.43	0.12 <sup>ns</sup>	47.24	0.10	1.07
10	Diciembre 2019	105.62	0.11 <sup>ns</sup>	59.05	0.08	1.12
11	January 2020/ Enero 2020	165.24	0.07 <sup>ns</sup>	121.09	0.11	1.10
12	Enero 2020	194.16	0.14 <sup>ns</sup>	110.36	0.12	1.11

SN = sample number; MEE = mean estimation errors; RMSE = root mean square error; DMSE = dimensionless mean square error; ns = non-significant.

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

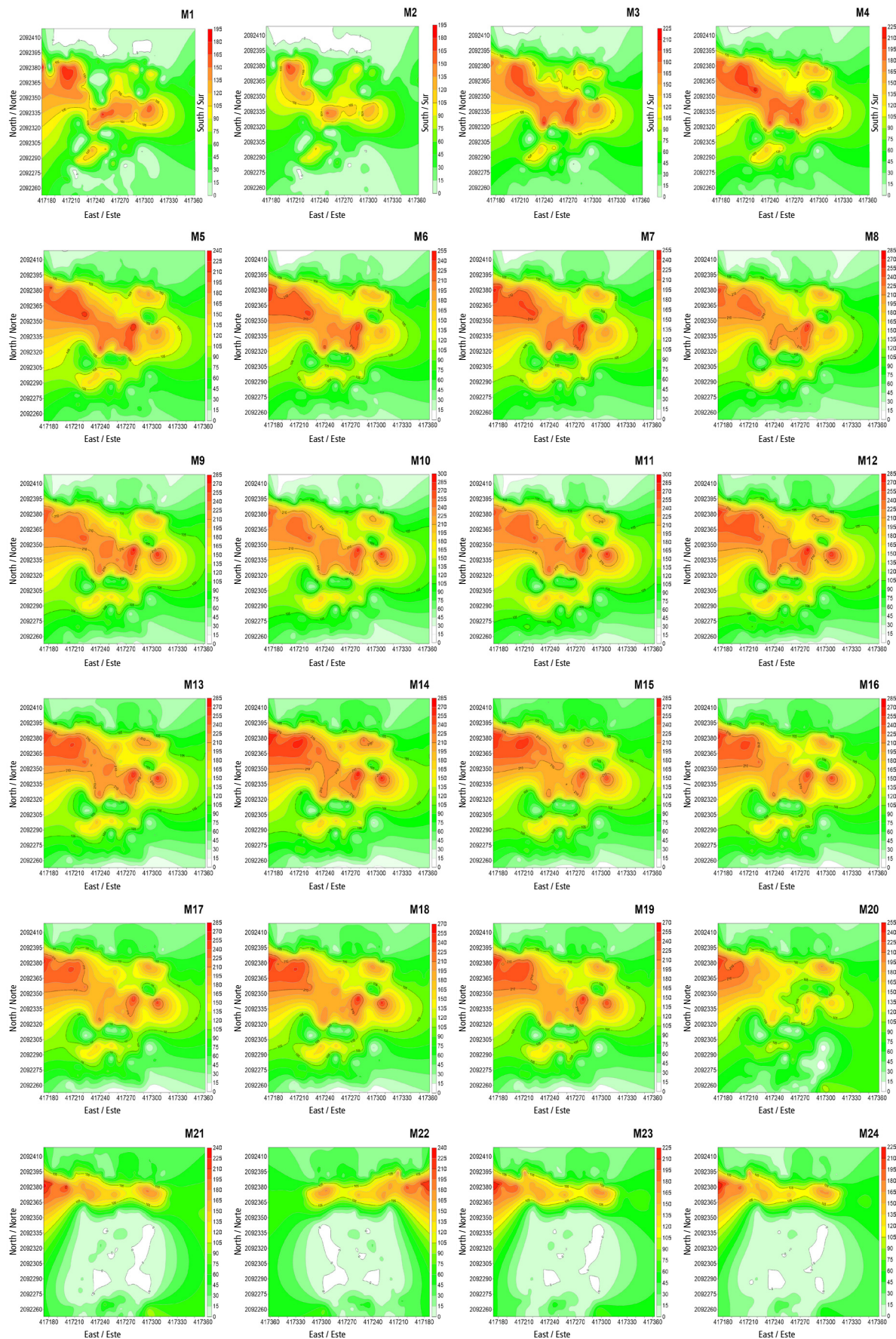
Table 2. Cross-validation statistics for semivariograms. (cont.)

Cuadro 2. Estadísticos de validación cruzada de los semivariogramas. (cont.)

SN/ NM	Sampling date/ Fecha de muestreo	Sampling variance/ Varianza muestral	MEE	Error variance/ Varianza de los errores	RMSE/ ECM	DMSE/ ECMA
Donato Guerra						
13	February 2020/ Febrero 2020	238.23	0.11 <sup>ns</sup>	174.29	0.10	1.13
14		289.42	0.10 <sup>ns</sup>	175.04	0.09	1.11
15	March 2020/ Marzo 2020	175.60	0.12 <sup>ns</sup>	125.88	0.11	1.14
16		121	0.13 <sup>ns</sup>	97.31	0.10	1.09
17	April 2020/ Abril 2020	80.73	0.09 <sup>ns</sup>	67.25	0.14	1.11
18		48.08	0.10 <sup>ns</sup>	21.92	0.12	1.13
19	May 2020/ Mayo 2020	26.58	0.12 <sup>ns</sup>	17.66	0.11	1.14
20		26.26	0.14 <sup>ns</sup>	18.41	0.10	1.11
21	June 2020/ Junio 2020	17.83	0.08 <sup>ns</sup>	11.59	0.13	1.12
22		9.44	0.11 <sup>ns</sup>	5.62	0.10	1.08
23	July 2020/ Julio 2020	4.77	0.13 <sup>ns</sup>	2.07	0.12	1.14
24		2.70	0.10 <sup>ns</sup>	1.62	0.11	1.13
Ixtapan del Oro						
1	August 2019/ Agosto 2019	12.94	0.11 <sup>ns</sup>	10.28	0.08	1.12
2		18	0.13 <sup>ns</sup>	11.57	0.11	1.14
3	September 2019/ Septiembre 2019	20.60	0.10 <sup>ns</sup>	12.90	0.12	1.06
4		21.69	0.09 <sup>ns</sup>	16.03	0.10	1.11
5	October 2019/ Octubre 2019	29.76	0.14 <sup>ns</sup>	20.16	0.12	1.13
6		39.82	0.11 <sup>ns</sup>	23.61	0.10	1.13
7	November 2019/ Noviembre 2019	43.63	0.10 <sup>ns</sup>	31.84	0.14	1.12
8		55.51	0.12 <sup>ns</sup>	31.98	0.10	1.11
9	December/ Diciembre 2019	62.99	0.07 <sup>ns</sup>	41.05	0.12	1.09
10		85.19	0.10 <sup>ns</sup>	52.36	0.11	1.13
11	January 2020/ Enero 2020	29.54	0.12 <sup>ns</sup>	19.22	0.09	1.14
12		37.30	0.11 <sup>ns</sup>	25.11	0.13	1.10
13	February 2020/ Febrero 2020	51.36	0.13 <sup>ns</sup>	27.42	0.10	1.11
14		73.23	0.08 <sup>ns</sup>	49.33	0.12	1.14
15	March 2020/ Marzo 2020	24.60	0.11 <sup>ns</sup>	18.71	0.07	1.12
16		18.01	0.14 <sup>ns</sup>	12.39	0.11	1.08
17	April 2020/ Abril 2020	12.80	0.08 <sup>ns</sup>	9.36	0.12	1.13
18		8.01	0.11 <sup>ns</sup>	5.01	0.14	1.12
19	May 2020/ Mayo 2020	4.69	0.12 <sup>ns</sup>	2.62	0.13	1.07
20		4.89	0.10 <sup>ns</sup>	2.99	0.14	1.11
21	June 2020/ Junio 2020	4.67	0.14 <sup>ns</sup>	2.81	0.10	1.12
22		4.61	0.12 <sup>ns</sup>	4.94	0.11	1.10
23	July 2020/ Julio 2020	4.15	0.10 <sup>ns</sup>	5.61	0.13	1.14
24		3.64	0.11 <sup>ns</sup>	6.10	0.8	1.09

SN = sample number; MEE = mean estimation errors; RMSE = root mean square error; DMSE = dimensionless mean square error; ns = non-significant.

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



**Figure 1. Density maps of armored scale populations in Coatepec Harinas.**

**Figura 1. Mapas de densidad de las poblaciones de escama armada en Coatepec Harinas.**



recorded a mean of 1.93 insects per tree, corresponding to the second sample in July. The highest percentage of infested area was recorded in sample 6 (96 %), and the lowest in sample 24 (77 %) (Table 1). Aggregation foci in August are located in the northwestern part of the map, and in September the foci tend to the central and southern part of the map. Aggregation foci in the months with higher density are scattered over almost the entire plot; however, aggregation centers tend to be in the center, west, and south of the map. Sample 22 has only two aggregation centers, one located on the west side and the other on the east side of the map. In the last two samples, only one aggregation center is observed on the east side of the map (Figure 2).

In Ixtapan del Oro, the sample mean was 3.41 insects per tree for sample 2, and 23.73 insects per tree for sample 14 (Table 1). The highest densities were found from December to February, where the centers of aggregation were located in the southeastern and northwestern part of the map (Figure 3). In the months from March to July, the aggregation centers were also located in the southeastern part of the map, but with lower intensity. The highest percentage of infested area was obtained in samples 9, 12 and 21 (94 %), and the lowest percentage in the first sample in August (75 %).

McClure (1990) indicates that humidity and temperature play an important role in scales populations; because, at low temperatures, birth, distribution, and establishment of migratory nymphs decreases. On the contrary, with high temperatures and no rainfall, populations tend to be more abundant in their hosts (Balderas-Palacios et al., 2017). Ponsonby and Copland (2000) reported that temperatures of 20 to 28 °C, and relative humidity of 55 to 65 %, are favorable for the development of *Abgrallaspis cyanophylli*. This suggests that climate plays an important role in the development of pests. Furthermore, climate can act as a natural mortality agent by regulating these populations.

Mean annual temperature and relative humidity records obtained from each study area were different. Coatepec Harinas reports rainfall from June to October, July was the month with highest rainfall (221 mm). Mean annual temperature was 24 °C, with mean relative humidity of 62 %. However, in the data collected, the lowest incidences were obtained from June to August, with distribution on the north side of the map.

In Donato Guerra, the mean annual temperature was 21 °C and relative humidity was 60 %. In this municipality, the highest rainfall was observed in July (140 mm), a month that had only one infestation center on the east side of the plot. In this case, the months

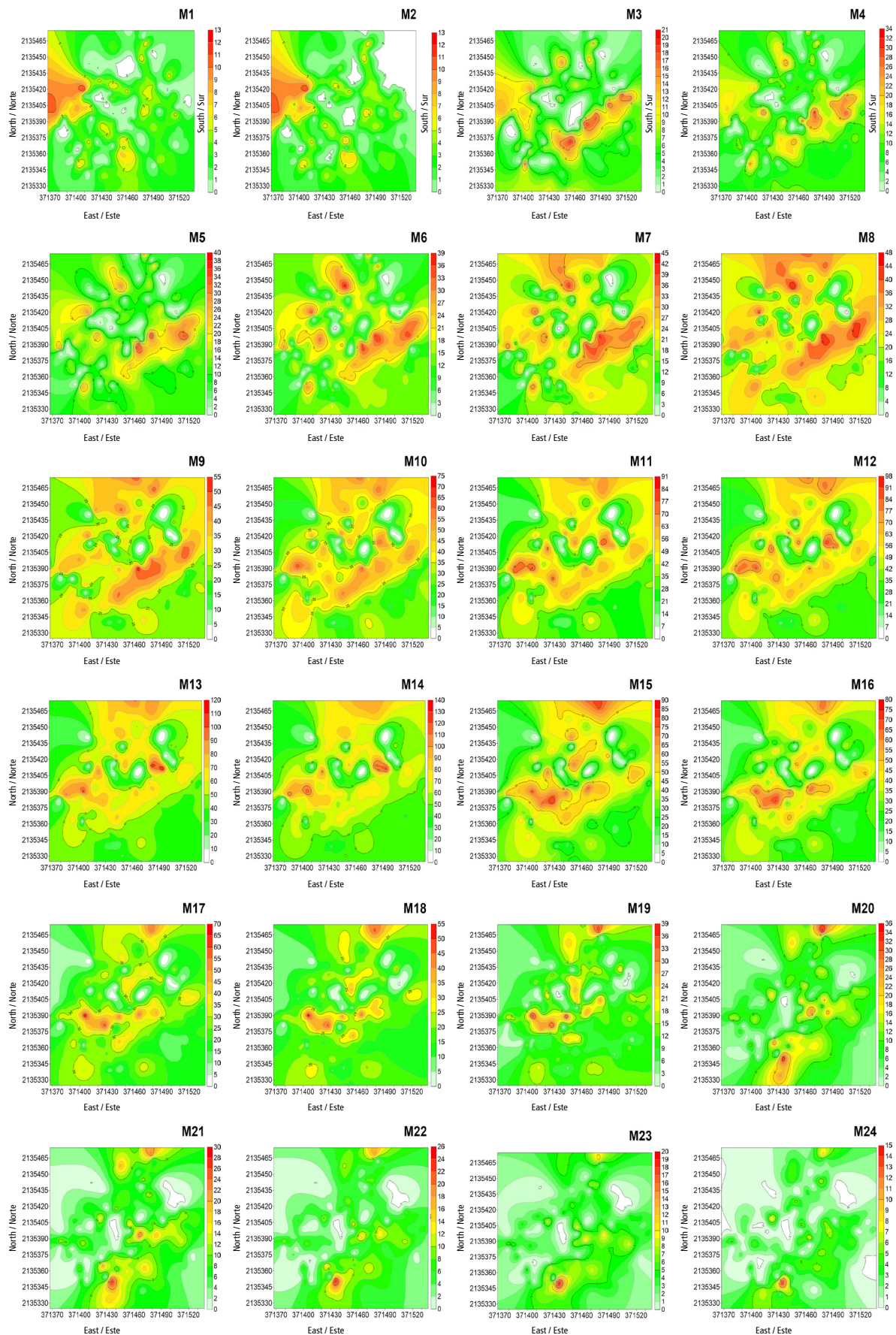
de infestación se encuentran en la parte centro y norte. Por su parte, los meses con menor densidad aparecen distribuidos en la parte norte, con una ligera tendencia hacia el lado oeste del mapa, a excepción del muestreo 22, el cual presenta un centro de agregación en la parte sur. En la mayoría de los muestreos, se presentó un porcentaje de infestación mayor a 90 %, lo cual coincide con lo reportado por Lara-Vázquez et al. (2018) en su estudio sobre araña roja.

Donato Guerra presentó las mayores densidades de noviembre a abril, con una media de 55.88 insectos por árbol en el muestreo 14. En los meses de menor densidad, se registró una media de 1.93 insectos por árbol, correspondiente al segundo muestreo de julio. El porcentaje de superficie infestada más alto se observó en el muestreo 6 (96 %), y el más bajo, en el muestreo 24 (77 %) (Cuadro 1). Los focos de agregación de agosto se encuentran en la parte noroeste del mapa, y en septiembre los focos tienden a la parte centro y sur. Los focos de agregación en los meses con mayor densidad se encuentran dispersos en casi toda la parcela; sin embargo, los centros de agregación tienden a estar en el centro, oeste y sur del mapa. En el muestreo 22, sólo se observan dos centros de agregación, uno ubicado en el lado oeste y el otro en el lado este del mapa. En los dos últimos muestreos, únicamente se presenta un foco de agregación en el lado este (Figura 2).

En Ixtapan del Oro, la media muestral fue de 3.41 insectos por árbol en el muestreo 2, y de 23.73 insectos por árbol en el muestreo 14 (Cuadro 1). Las mayores densidades se presentaron de diciembre a febrero, en donde los centros de agregación se ubicaron en la parte sureste y noroeste del mapa (Figura 3). En los meses de marzo a julio, los focos de agregación también se establecen en la parte sureste del mapa, pero con menor intensidad. El porcentaje más alto de superficie infestada se obtuvo en los muestreos 9, 12 y 21 (94 %), y el porcentaje más bajo en el primer muestreo de agosto (75 %).

McClure (1990) señala que la humedad y la temperatura tienen un rol importante en las poblaciones de escama; esto debido a que, en temperaturas bajas, el nacimiento, distribución y establecimiento de ninfas migratorias disminuye. Por el contrario, con temperaturas altas y sin lluvias, las poblaciones suelen ser más abundantes en sus hospederos (Balderas-Palacios et al., 2017). Ponsonby y Copland (2000) reportaron que temperaturas de 20 a 28 °C, y humedad relativa de 55 a 65 %, son favorables para el desarrollo de *Abgrallaspis cyanophylli*. Lo anterior permite suponer que el clima juega un papel importante en el desarrollo de plagas. Asimismo, el clima puede actuar como agente de mortalidad natural al regular dichas poblaciones.





**Figure 2. Density maps of the armored scale populations in Donato Guerra.**  
**Figura 2. Mapas de densidad de las poblaciones de escama armada en Donato Guerra.**



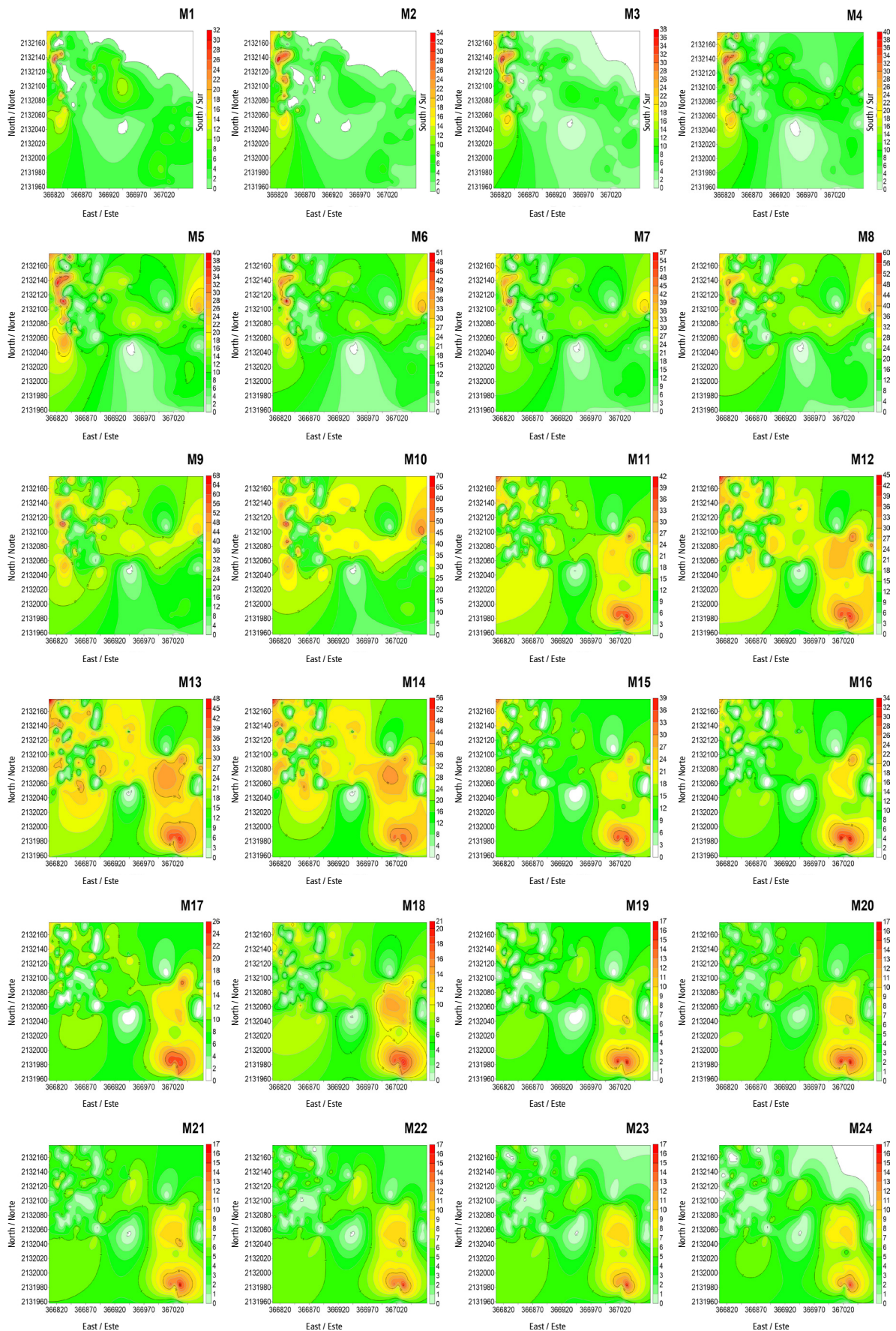


Figure 3. Density maps of armored scale populations in Ixtapan del Oro.

Figura 3. Mapas de densidad de las poblaciones de escama armada en Ixtapan del Oro.

with higher density had infestation in almost the entire plot, possibly due to favorable climatic conditions to develop. Records of Ixtapan del Oro show rainfall of 231 mm in July, mean annual temperature of 18 °C and relative humidity of 65 %. The maps show that in January and February the infestation centers go from south to north, possibly due to the winds that go in this direction. However, infestation centers in the samples from March to July are stable, which could indicate that in this area scale found favorable microclimatic conditions to develop.

In the three study areas, the armored scale had an aggregate behavior, results were verified by cross-validation of the semivariograms (Table 2). Density maps (Figures 1, 2 and 3) show the different aggregation centers, and it was evident that the armored scale infests specific points of the plots. The above coincides with that reported by Duarte et al. (2015), who indicate that insect and mite populations are heterogeneously distributed in the zones, and generally have infestation centers in areas with high and low density. Larral et al. (2018) and Sánchez-Castro et al. (2016) determined an aggregate pattern of thrips in avocado and *Empoasca* spp. in beans. Also, several studies on spatial distribution have been carried out, such as the one reported by Valencia-Arias et al. (2019) of Melolonthidae in avocado crop, they had similar results to those obtained in this study.

In the present study, the insect was present on branches, leaves and fruits, which complicates its control. However, only distribution and behavior of the scales on twigs was determined because they are permanently present on branches, and on fruits and leaves the pest appears as progressive and differentiated infestations during the year (Faber & Phillips, 2003).

The presence of *H. lataniae* on branches and fruit induces the accumulation of phenolic compounds. These compounds increase the rigidity of the cell walls of the affected part, and even decrease fruit quality and increase production costs by eliminating damage manually in the packing line (Hernández-Rivero et al., 2013; Sepúlveda-Jiménez et al., 2004; Ripa et al., 2007a).

Pest management should be based on a correct identification of the pest and natural enemies, as well as on the choice of measures that cause the least disturbance to the environment and the area. In the case of the armored scale, the crucial moment for its management is the stage of migrant production, the only mobile stage of the pest and of greater susceptibility to insecticides. At this stage, scales look for a suitable place on the tree to feed and can even disperse to other hosts with the help of the wind (Vargas & Rodríguez, 2008). Therefore, their movement towards the fruit should be avoided to preserve its quality.

Los registros de temperatura media anual y humedad relativa obtenidos de cada zona de estudio fueron diferentes. En Coatepec Harinas se reportan precipitaciones de junio a octubre, siendo julio el de mayor precipitación (221 mm). La temperatura media anual fue de 24 °C, con humedad relativa media de 62 %. Sin embargo, en los datos colectados, las incidencias más bajas se obtuvieron de junio a agosto, con distribución al lado norte del mapa.

En Donato Guerra, la temperatura media anual fue de 21 °C y la humedad relativa de 60 %. En este municipio, la precipitación más alta se observó en julio (140 mm), mes que presentó un sólo foco de infestación en el lado este de la parcela. En este caso, los meses de mayor densidad presentan una infestación en casi toda la parcela, posiblemente debido a condiciones climáticas favorables para su desarrollo. En los registros de Ixtapan del Oro, se encontró una precipitación de 231 mm en julio, temperatura media anual de 18 °C y humedad relativa de 65 %. En los mapas se observa que en enero y febrero los focos de infestación van de sur a norte, posiblemente debido a los vientos que van en esta dirección. No obstante, los focos de infestación en los muestreos de marzo a julio se observan estables, lo que podría indicar que en esta zona la escama encontró condiciones microclimáticas favorables para su desarrollo.

En las tres zonas de estudio, la escama armada presentó un comportamiento agregado, cuyos resultados se comprobaron con la validación cruzada de los semivariogramas (Cuadro 2). En los mapas de densidad (Figura 1, 2 y 3) se observaron los diferentes focos de agregación, y se evidenció que la escama armada infesta puntos específicos de las parcelas. Lo anterior coincide con lo reportado por Duarte et al. (2015), quienes indican que las poblaciones de insectos y ácaros se distribuyen de forma heterogénea en las zonas, y generalmente presentan focos de infestación en áreas con alta y baja densidad. Larral et al. (2018) y Sánchez-Castro et al. (2016) determinaron un patrón agregado de trips en aguacate y de *Empoasca* spp. en frijol. También, se han realizado diferentes estudios sobre distribución espacial, como el reportado por Valencia-Arias et al. (2019) de Melolonthidae en el cultivo de aguacate, en donde observaron resultados similares a los de este trabajo.

En este estudio, el insecto estuvo presente en ramas, hojas y frutos, lo que complica más su control. Sin embargo, solo se determinó la distribución y comportamiento de las escamas en ramillas, ya que en las ramas están de forma permanente, y en frutos y hojas la plaga se presenta como infestaciones progresivas y diferenciadas en el año (Faber & Phillips, 2003).

El establecimiento de *H. lataniae* en ramas y frutos induce la acumulación de compuestos fenólicos. Estos compuestos aumentan la rigidez de las paredes



Integrated pest management is an economically viable method, and a sustainable alternative that combines several control methods to reduce and avoid phytosanitary problems, thus reducing adverse effects on human health and the environment. This method considers the use of agrochemicals as a last resort, and aims to protect biodiversity and the environment, while increasing crop yields. This helps to minimize economic losses due to pests and to maintain crop profitability (Ripa et al., 2007b). In this context, some preventive measures, such as pruning, should be considered when developing and establishing an integrated management of scale. This is done, together with weeding (hosts), with the aim of creating unfavorable conditions for the development of the pest and favorable conditions for the development of the crop. In the case of scales (whose infestation occurs in the lower part of the tree, in hidden twigs and near the ground [Olivares, 2017; Vargas & Rodríguez, 2008]), this strategy benefits the entry of light and air circulation to the interior of the tree; consequently, it increases the mortality of pest stages, which limits their dispersal to other trees in the plot or crops near them.

Subsequently, monthly monitoring of twigs, leaves and fruits is recommended to estimate abundance, distribution, phenology, presence and efficiency of natural enemies of the armored scale (Vargas & Rodríguez, 2008). Monitoring allows growers to obtain information that will help them make decisions and apply management and control methods in a timely and targeted manner.

Biological control is a strategy to keep orchards in balance by introducing natural enemies (parasitoids, predators) of a pest. However, in avocado-growing areas, these control agents are scarce due to excessive application of insecticides. It has been observed that the armored scale, being a cosmopolitan species, is regulated by its natural enemies (Peña, 2008). In some avocado-growing areas, parasitoids and predators have been found that regulate scale populations in both the nymphal and adult stages. In Mexico, the parasitoids *Encarsia citrina* and *Aphytus* sp. and the predator *Chilocorus cacti* have been found (Lázaro-Castellanos et al., 2012). The parasitoid *Aphytis diaspidis* was observed in adult populations of armored scales (Navea & Vargas, 2012); however, as they do not find food, they cause mortality, since they feed on their hosts in immature stages (Collier, 1995; Navea & Vargas, 2012).

Heraty et al. (2008) noted that *E. citrina* has great adaptability, so it has been introduced in several countries for biological control purposes (Carbajal & Martos, 2019; Myartseva & González-Hernández, 2008). The predators *Rhizobius lophanthae* and *Coccidophilus citricola* are efficient because they pierce the protective cover of the scale to feed on its hemolymph (Ripa et

celulares de la parte afectada, e incluso disminuyen la calidad del fruto y aumentan los costos de producción al eliminar los daños de forma manual en la línea de empaque (Hernández-Rivero et al., 2013; Sepúlveda-Jiménez et al., 2004; Ripa et al., 2007a).

El manejo de plagas debe estar basado en una correcta identificación de la plaga y de sus enemigos naturales, así como en la elección de las medidas que causen menos perturbaciones en el ambiente y la zona. En el caso de la escama armada, el momento crucial para su manejo es la etapa de producción de migrantes, único estado móvil de la plaga y de mayor susceptibilidad a insecticidas. En esta etapa, las escamas buscan un lugar adecuado en el árbol para alimentarse, e incluso se pueden dispersar hacia otros hospederos con ayuda del viento (Vargas & Rodríguez, 2008). Por ello, se debe evitar su desplazamiento hacia el fruto para preservar su calidad.

El manejo integrado de plagas es un método económicamente viable, así como una alternativa sustentable que combina varios métodos de control con la finalidad de disminuir y evitar problemas fitosanitarios, lo que reduce los efectos adversos a la salud humana y al ambiente. Dicho método considera como último recurso el uso de agroquímicos, y tiene por objetivo proteger la biodiversidad y el ambiente, mientras se incrementan los rendimientos de la superficie cultivable. Lo anterior ayuda a minimizar las pérdidas económicas debido a la acción de plagas y a mantener la rentabilidad del cultivo (Ripa et al., 2007b). En este contexto, al elaborar y establecer un manejo integrado de la escama se deben considerar algunas medidas preventivas, como la poda. Esto se realiza, junto con la eliminación de malezas (hospedantes), con la finalidad de crear condiciones desfavorables para el desarrollo de la plaga y favorables para el desarrollo del cultivo. En el caso de la escama (cuya infestación ocurre en la parte inferior del árbol, en ramillas ocultas y cerca del suelo [Olivares, 2017; Vargas & Rodríguez, 2008]), esta estrategia beneficia la entrada de luz y la circulación de aire al interior del árbol; en consecuencia, aumenta la mortandad de estadios de plagas, lo que limita su dispersión hacia otros árboles de la parcela o cultivos cercanos a ella.

Posteriormente, se recomienda un monitoreo mensual de ramillas, hojas y frutos, esto con el objetivo de estimar la abundancia, distribución, fenología, presencia y eficiencia de enemigos naturales de la escama armada (Vargas & Rodríguez, 2008). El monitoreo permite al productor obtener información que le ayude a tomar decisiones, así como a aplicar los métodos de manejo y control de forma oportuna y dirigida.

El control biológico es una estrategia que permite mantener los huertos en equilibrio al introducir



al., 2007b; Vargas & Rodríguez, 2008). Many of these natural enemies have been manipulated and are currently used as ready-to-apply formulations, as is the case of *R. lophanthae* (Gómez-Vives, 2002).

Therefore, knowing the spatial distribution of the armored scale in municipalities with high avocado production in Estado de México, and the elaboration of density maps, can help to direct control measures, whether chemical, biological or cultural. To implement strategies in areas with high pest densities will help producers reduce economic losses. Moreover, to target these control measures will prevent the pest from moving to other areas within the field.

Strategies should be proposed that change the paradigm of the current management of armed scale and the rest of the phytosanitary problems that avocado have. This will reduce natural and cross-resistance in avocado pest management. Furthermore, it could raise awareness among producers and technicians about respect for the environment, since agricultural activity generates a very important percentage of environmental pollution. The results of this study can contribute to the restructuring and improvement of the control of the armed scale based on the use of geotechnologies that allow us to make the work in the field more efficient.

## Conclusions

Geostatistics is an effective tool to determine the behavior and spatial distribution of armed scale in avocado crop in the municipalities of Coatepec Harinas, Donato Guerra and Ixtapan del Oro. Population density maps allow us to know the fluctuations, as well as the position of the pests within the plot. This is of great help in proposing and implementing integrated management strategies to reduce the presence of insecticides in the fruit, and ecological and environmental damage due to their indiscriminate use.

## Acknowledgments

The authors thank the *Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología* (CONACYT) for the scholarship granted to study for a Master's degree in Agricultural Sciences and Natural Resources. To Dr. Carlos from Colegio de Postgraduados for his support in the identification of armored scales. To the owners of the selected avocado orchards, to Engineer Armida and her work team (Ing. Julia, Ing. Alberto and Ing. Héctor) of the different local Plant Health Boards of Estado de México for their help in the identification of plots with the presence of scales.

*End of English version*

enemigos naturales (parasitoides, depredadores) de una plaga. Sin embargo, en las zonas aguacateras, estos agentes de control son escasos debido a la aplicación excesiva de insecticidas. Se ha observado que la escama armada, al ser una especie cosmopolita, es regulada por sus enemigos naturales (Peña, 2008). En algunas zonas aguacateras se han encontrado parasitoides y depredadores que regulan las poblaciones de escama tanto en estado ninfal como adulto. En México, se han encontrado los parasitoides *Encarsia citrina* y *Aphytus* sp., y el depredador *Chilocorus cacti* (Lázaro-Castellanos et al., 2012). El parasitoide *Aphytis diaspidis* se observó en poblaciones adultas de escama armada (Navea & Vargas, 2012); sin embargo, al no encontrar alimento, causan mortalidad, ya que se alimentan de sus hospederos en estados inmaduros (Collier, 1995; Navea & Vargas, 2012).

Heraty et al. (2008) observaron que *E. citrina* tiene gran capacidad de adaptación, por lo que se ha introducido en diversos países con fines de control biológico (Carbajal & Martos, 2019; Myartseva & González-Hernández, 2008). Los depredadores *Rhizobius lophanthae* y *Coccidophilus citricola* son eficientes debido a que perforan la cubierta protectora de la escama para alimentarse de su hemolinfa (Ripa et al., 2007b; Vargas & Rodríguez, 2008). Muchos de estos enemigos naturales se han manipulado, y en la actualidad se usan como formulados listos para ser aplicados, tal es el caso de *R. lophanthae* (Gómez-Vives, 2002).

Por lo anterior, conocer la distribución espacial de la escama armada en municipios de alta producción de aguacate en el Estado de México, así como la elaboración de mapas de densidad, puede ayudar a dirigir las medidas de control, ya sean químicas, biológicas o culturales. Implementar estrategias en zonas que presentan altas densidades de la plaga ayudará al productor a disminuir pérdidas económicas. Además, dirigir estas medidas de control evitará que la plaga se desplace a otras zonas dentro la parcela.

Se deben proponer estrategias que cambien el paradigma del manejo actual de la escama armada y del resto de los problemas fitosanitarios que presenta el aguacate. Esto reducirá sustancialmente la resistencia natural y cruzada que se presenta en el manejo de plagas en el cultivo de aguacate. Asimismo, podría concientizar a los productores y técnicos sobre el respeto al medio ambiente, ya que la actividad agrícola genera un porcentaje muy importante de contaminación ambiental. Los resultados de este trabajo pueden contribuir en la reestructuración y mejora del control de la escama armada basándonos en el uso de geotecnologías que permitan eficientizar el trabajo en el campo.

## 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., & Tapia-Rodríguez, A. (2017). Distribución espacial de *Trips* spp. (Thysanoptera) y evaluación de su control mediante el depredador *Amblyseius swirskii* en el cultivo de aguacate en México. *Bio One*, 42(2), 435-446. <https://doi.org/10.3958/059.042.0214>
- Apostolos, P., Aguilar, A., Tena, A., & García-Marí, F. (2010). Influence of host size on parasitism by *Aphytis chrysomphali* and *A. melinus* (Hymenoptera: Aphelinidae) in Mediterranean populations of California red scale *Aonidiella aurantii* (Hemiptera: Diaspididae). *Biological Control*, 5(2), 132-140. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2010.07.010>
- Balderas-Palacios, G. F., Urías-López, M. A., González-Carrillo, J. A., González-Acuña, I. J., & Álvarez-Bravo, A. (2017). Distribución temporal y espacial de la escama blanca del mango en Sinaloa, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(19), 4023-4034. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i19.670>
- Cambardella, C., Moorman, T., Novak, J., Parkin, T., Karlen, D., Turco, R., & Konopka, A. (1994). Field scale variability of soil properties in central iwa soils. *Soil Science Society of America Journal*, 58(5), 1501-1511. <https://doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800050033x>
- Carbajal, A., & Martos, A. (2019). Parasitismo de *Encarsia citrina* (Signoret) sobre *Hemiberlesia lataniae* (Crawford) (Hemiptera: Diaspididae), en cultivo de "palto". *Agroindustrial Science*, 10(1), 49-54. <http://dx.doi.org/10.17268/agroind.sci.2020.01.07>
- Collier, T. R. (1995). Host feeding, egg maturation, resorption, and longevity in the parasitoid *Aphytis melinus* (Hymenoptera: Aphelinidae). *Annals of the Entomological Society of America*, 88(2), 206-214. <https://doi.org/10.1093/aesa/88.2.206>
- Duarte, F., Calvo, M. V., Borges, A., & Scatoni, I. B. (2015). Geostatics applied to the study of the spatial distribution of insects and its use in integrated pest management. *Revista Agronómica del Noreste Argentina*, 35(2), 9-20. <https://www.semanticscholar.org/paper/Geostatistics-applied-to-the-study-of-the-spatial-Duarte-Calvo/685d6530feea1fc03bd115b98dab87ee0fbb65?p2df>
- Evans, G. A., Watson, G. W., & Miller, D. R. (2009). A new species of armored scale (Hemiptera: Coccoidea: Diaspididae) found on avocado fruit from Mexico and a key to the species of armored scales found on avocado worldwide. *Zootaxa*, 1991(1), 57-68. <https://www.biotaxa.org/Zootaxa/article/view/zootaxa.1991.1.5/47986>
- Faber, B. A., & Phillips, P. A. (2003). *Avocado armored scale. UC IPM management guidelines: avocado*. UC ANR Publication 3436. <https://www2.ipm.ucanr.edu/agriculture/avocado/Soft-scales/>
- Gallardo, A. (2006). Geoestadística. *Ecosistemas*, 15(3), 48-58. <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/161>

## Conclusiones

La geoestadística constituye una herramienta eficaz al determinar el comportamiento y distribución espacial de escama armada en el cultivo de aguacate en los municipios de Coatepec Harinas, Donato Guerra e Ixtapan del Oro. Los mapas de densidad de poblaciones permiten conocer las fluctuaciones, así como la posición de las plagas dentro de la parcela. Esto es de gran ayuda para proponer e implementar estrategias de manejo integrado que permitan reducir la presencia de insecticidas en los frutos, así como daños ecológicos y ambientales por su uso indiscriminado.

## Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada para realizar los estudios de Maestría en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales. Al Dr. Carlos del Colegio de Postgraduados por el apoyo en la identificación de escama armada. A los dueños de las huertas de aguacate seleccionadas, a la Ingeniera Armida y a su equipo de trabajo (Ing. Julia, Ing. Alberto e Ing. Héctor) de las diferentes juntas locales de Sanidad Vegetal del Estado de México por las facilidades brindadas en la identificación de las parcelas con presencia de escamas.

## Fin de la versión en español

- Gómez-Vives, S. (2002). Cría masiva de *Rhyzobius lophanthae* Blaisdell (Coleoptera: Coccinellidae) depredador de la cochinilla roja de las palmeras (*Phoenicococcus marlatti* Cockerell). *Boletín Sanidad Vegetal Plagas*, 28, 167-176. <https://www.semanticscholar.org/paper/Cr%C3%ADa-masiva-de-%22Rhyzobius-lophantae%22-Blaisdell-de-Vives/cc73bfa408f2b90739068a2ce31e1dc191125e3c>
- Heraty, J. M., Polaszek, A., & Schauff, M. (2008). Systematic and biology of *Encarsia*. In: Gould, J., Hoelmer, K., & Goolsby, J. (Eds). *Classical Biological Control of Bemisia Tabaci in the United States* (pp. 71-87). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6740-2\\_4](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6740-2_4)
- Hernández-Rivero, R., Arévalo-Galarza, M. L., Valdovinos-Ponce, G., González-Hernández, H., Valdez-Carrasco, J., & Ramírez-Guzmán, M. E. (2013). Histología del daño en fruto y rama de aguacate 'Hass' por escamas armadas (Hemiptera: Diaspididae). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(5), 739-752. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_aetext&pid=S2007-09342013000500007&Ing=es&tIng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_aetext&pid=S2007-09342013000500007&Ing=es&tIng=es)
- Isaaks, E., & Srivastav, R. M. (1989). *An introduction to applied Geostatistics*. Oxford University Press.
- Journel, A., & Huijbregts. (1978). *Mining geostatistics*. Academic Press.
- Lara-Vázquez, F., Ramírez-Dávila, J. F., Rubí-Arriaga, M., Morales-Rosales, E., Figueroa-Figueroa, D. K., Acosta-

- Guadarrama, A. D., & Rivera-Martínez, R. (2018). Distribución espacial de araña roja *Oligonychus punicae* Hirst en el cultivo del aguacate, en dos municipios del Estado de México. *Southwestern Entomologist*, 43(3), 743-759. <https://doi.org/10.3958/059.043.0320>
- Larral, P., Ripa, R., Funderburk, J., & López, E. (2018). Population abundance, phenology, spatial distribution and a binomial sampling plan for *Heliothrips haemorrhoidalis* (Thysanoptera:Thripidae) in avocado. *Florida Entomologist*, 101(2), 166-171. <https://doi.org/10.1653/024.101.0203>
- Lázaro-Castellanos, C., González, H., Lomelí, J. R., Myartseva, S. N., Ortega, L. D., & Ochoa, S. (2012). Enemigos naturales de escamas armadas (Hemiptera: Diaspididae) en aguacate Hass en Michoacán, México. *Revista Colombiana de Entomología*, 38(1), 6-13. <http://www.scielo.org.co/pdf/rcen/v38n1/v38n1a02.pdf>
- Lemus-Soriano, B. A. (2018). *Insectos chupadores (Hemiptera) del aguacate*. Artículos Técnicos del Instituto para la Innovación Tecnológica en la Agricultura. México. <https://www.intagri.com/articulos/frutales/insectos-chupadores-hemiptera-del-aguacate>.
- 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>
- McClure, M. S. (1990). Influence of environmental factors. In: Rosen, D. (Ed). *Armored scale insects their biology, natural enemies and control* (pp. 319-330). Elsevier Science Publisher B. V. <https://www.journals.uchicago.edu/doi/pdf/10.1086/416999>
- Myartseva, S. N., & González-Hernández, A. (2008). Descripción de dos especies nuevas de *Encarsia* Förster (Hymenoptera: Aphelinidae) y nuevos registros de especies de este género para Chiapas y Jalisco, México. *Acta Zoológica Mexicana*, 24(2), 101-114. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57524207>
- Navea, D., & Vargas, R. (2012). Parasitoidism rate and life table parameters of *Aphytis diaspidis* (Howard) (Hymenoptera: Aphelinidae) and *Hemiberlesia lataniae* (Signoret) (Hemiptera: Diaspididae). *Chilean Journal of Agricultural Research*, 72(3), 338-344. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392012000300006>
- Olivares, N. (2017). *Escama blanca del palto*. *Entomología - Plagas en frutales*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. <https://biblioteca.inia.cl/handle/123456789/66954>
- Pannatier, Y. (1996). *Variowin: Software for spatial data analysis in 2D*. Springer-Verlag New York. <https://doi.org/10.1007/978-1-4612-2392-4>
- Park, Y. L., Krell, R. K., & Carroll, M. (2007). Theory, technology and practice of sites-specific insect pest management. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 10(2), 89-101. [https://doi.org/10.1016/S1226-8615\(08\)60337-4](https://doi.org/10.1016/S1226-8615(08)60337-4)
- Peña, J. (2008). Plagas de palto en Florida. In: Ripa, R., & Larral, P. (Eds), *Manejo de plagas en Paltos y Cítricos* (pp. 310-316). Gobierno de Chile, Ministerio de agricultura. [http://www.avocadosource.com/books/ripa2008/Ripa\\_Chapter\\_11c.pdf](http://www.avocadosource.com/books/ripa2008/Ripa_Chapter_11c.pdf)
- Ponsonby, D. J., & Copland, M. (2000). Environmental effects on the development and survival of the scale insect *Abgrallaspis cyanophylli* (Signoret) (Homoptera:Diaspididae) with reference to its suitability for use as a host for rearing biological control agents. *Biocontrol Science and Technology*, 10(5), 583-594. <https://doi.org/10.1080/095831500750016389>
- Ramírez-Dávila, J. F., & Porcayo-Camargo, E. (2009). Estudio de la distribución espacial del muérdago enano (*Arceuthobium* sp.) en el nevado de Toluca, México, utilizando el Método de SADIE. *Revista Madera y Bosques*, 15(2), 93-111. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?idp=1&id=61712399006&cid=82318>
- Ramírez-Dávila, J. F., & Figueroa-Figueroa, D. K. (2013). Modelización y mapeo de la distribución espacial de *Bactericera cockerelli* Sulc (Hemiptera: Trioizidae) en papa en el Estado de México. *Revista Centro Agrícola*, 40(3), 57-70. <https://www.redalyc.org/pdf/3828/382837655026.pdf>
- Ramírez-Dávila, J. F., Solares-Alonso, V. M., Figueroa-Figueroa, D. K., & Sánchez-Pale, J. R. (2013). Comportamiento espacial de trips (Insecta: Thysanoptera), en plantaciones comerciales de aguacate (*Persea americana* Mill) en Zitácuaro, Michoacán, México. *Acta Zoológica Mexicana*, 29(3), 545-562. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57529246007>
- Ripa, R., Larral, P., & Rodríguez, S. (2007a). Manejo integrado de plagas (MIP). In: Ripa, R., & Larral, P. (Eds), *Manejo de plagas en paltos y Cítricos* (pp. 41-50). Instituto de Investigaciones Agropecuarias. <https://frutales.files.wordpress.com/2011/01/cit-16-manejo-de-plagas-en-paltos-y-cc3adtricos.pdf>
- Ripa, R., Vargas, R., Larral, P., & Rodríguez, S. (2007b). Manejo de las principales plagas del Palto. *Revista Tierra Adentro*, 73, 29-33. [http://www.avocadosource.com/journals/TierraAdentro\\_2007\\_73\\_29-33.pdf](http://www.avocadosource.com/journals/TierraAdentro_2007_73_29-33.pdf)
- Rivera-Martínez, R., Ramírez-Dávila, J. F., Rubí-Arriaga, M., Domínguez-López, A., Acosta-Guadarrama, A. D., & Figueroa-Figueroa, D. K. (2017). Modelización espacial de trips (Insecta:Thysanoptera) en el cultivo de aguacate (*Persea americana*). *Revista Colombiana de Entomología*, 43(2), 131-140. <https://doi.org/10.25100/socolen.v43i2.5933>
- Rosii, R., Mulla, J., Journel, G., & Franz, H. (1992). Geostatistical tools for modeling and interpreting ecological spatial dependence. *Ecological Monographs*, 62(2), 277-314. <https://doi.org/10.2307/2937096>
- Rugman-Jones, P. F., Morse, J. G., & Sthoutamer, R. (2009). Rapid molecular identification of armored scale insects (Hemiptera: Diaspididae) on Mexican "Hass" avocado. *Journal of Economic Entomology*, 102(5), 1948-1953. <https://doi.org/10.1603/029.102.0527>
- Samper-Calvete, F. J. (1996). *Geoestadística: aplicaciones a la hidrología subterránea*. Centro Internacional de Métodos de Ingeniería.
- Sánchez-Castro, A., Miranda-Cabrera, I., & Fernández-Argudín, B. M. (2016). Distribución espacial y temporal de *Empoasca* spp. (Typhlocybinae) en un campo de frijol

- (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista de Protección Vegetal*, 31(3), 159-164. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1010-27522016000300002](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1010-27522016000300002)
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2020). *Estadísticas de producción agrícola*. <https://www.gob.mx/siap>
- Sepúlveda-Jiménez, G., Porta-Ducoing, H., & Rocha-Sosa, M. (2004). La participación de los metabolitos secundarios en la defensa de las plantas. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 21(3), 355-363. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61221317>
- Stocks, I. C., & Evans, G. A. (2017). Armored scales (Hemiptera: Diaspididae) infesting Hass avocado intercepted in Florida and new parasitoid-host association for *Davidsonaspis aguacatae*. *Florida Entomologist*, 100(2), 491-494. <https://doi.org/10.1653/024.100.0244>
- Urías-López, M. A., Osuna-García, J. A., Vázquez-Valdivia, V., & Pérez-Barraza, M. H. (2010). Fluctuación poblacional y distribución de la escama blanca del mango (*Aulacaspis tubercularis* Newstead) en Nayarit, México. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 16(2), 77-82. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2010.16.009>
- Valencia-Arias, C., Martínez-Osorio, A., Morales-Osorio, J. G., & Ramírez-Gil, J. G. (2019). Spatial analysis of presence, injury, and economic impact of the Melolonthidae (Coleoptera: Scarabaeoidea) complex in avocado crops. *Neotropical Entomology*, 48(4), 583-593. <https://doi.org/10.1007/s13744-019-00685-6>
- Vargas, R., & Rodríguez, S. (2008). Escama latania. In: Ripa, R., & Larral, P. (Eds), *Manejo de plagas en Paltos y Cítricos* (pp. 163-170). Gobierno de Chile, Ministerio de Agricultura. [http://www.avocadosource.com/books/ripa2008/ripa\\_chapter\\_08f.pdf](http://www.avocadosource.com/books/ripa2008/ripa_chapter_08f.pdf)