

Modelización espacial de *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) en aguacate

Modelling the spatial behavior of *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) in growing avocado

Maldonado FI¹, JF Ramírez², M Rubí², X Antonio³, AV Lara⁴, AD Acosta⁴, R Rivera⁴, AL Ávila⁵

Resumen. El cultivo de Aguacate (Lauraceae: *Persea americana* Mill.) es para México de gran importancia económica en cuanto a los sistemas de producción perenne. Esto se debe a que en los últimos años la comercialización de este fruto se ha incrementado notablemente a nivel nacional e internacional. En México, se cultivaron 168113,64 ha con un rendimiento promedio de 10,2 ton/ha en 2013, obteniendo una producción aproximada de 1467837,35 ton. Como cualquier otro frutal, el aguacate puede sufrir daños ocasionados por plagas (insectos, nematodos, ácaros entre otros) y enfermedades (causadas por hongos, bacterias y virus). A este respecto, uno de los insectos con mayor problemática es *Frankliniella occidentalis*, que provoca pérdidas significativas en el cultivo, al preferir alimentarse de tejidos tiernos como brotes foliares, florales, hojas jóvenes y frutos en desarrollo. Los daños más severos, económicamente hablando, son notorios a simple vista, ya que originan crestas o protuberancias sobre el pericarpio y estas lesiones son más evidentes conforme madura el fruto. El objetivo del presente trabajo fue modelizar la distribución espacial de *F. occidentalis* mediante técnicas geoestadísticas, así como obtener mapas de densidad por medio del kriging. Los muestreos fueron llevados a cabo quincenalmente en tres parcelas comerciales de cuatro hectáreas cada una en el municipio de Coatepec Harinas, Estado de México usando el método de cuadrantes. Los resultados indicaron que la distribución espacial de las poblaciones de *F. occidentalis* presentó una distribución agregada en cada una de las fechas de muestreo. La validación cruzada de los valores de los semivariogramas obtenidos corroboraron dicha información, además de una dependencia espacial alta. Los mapas obtenidos permiten delimitar áreas infestadas y áreas libres de daños, lo que permitirá establecer medidas de control en puntos específicos de cada parcela para hacer un uso eficiente de los recursos plaguicidas.

Palabras clave: Aguacate; *Frankliniella occidentalis*; Distribución espacial; Coatepec Harinas.

Abstract. Avocado (Lauraceae: *Persea americana* Mill.) is a crop of great economic importance for Mexico in terms of perennial production systems, since in recent years the marketing of this fruit has increased markedly at national and international levels. In 2013, 168113.64 ha were cultivated in Mexico, with an average yield of 10.2 ton/ha, obtaining a production of approximately 1467837.35 ton. Like any other fruit can suffer damage from pests (insects, nematodes, mites etc.) and diseases (caused by fungi, bacteria and viruses). In this regard, one of the most problematic insects is *Frankliniella occidentalis*, which causes significant crop losses, feeding preferably on soft tissues such as leaf buds, flowers, young leaves and developing fruits. The most severe damage, economically speaking, is notorious at first glance, and that it causes ridges or bumps on the pericarp, and these lesions are more apparent as the fruit ripens. The aim of this study was to model the spatial distribution of *Frankliniella occidentalis* using geostatistical techniques and density maps obtained by kriging. The samplings were carried out fortnightly in three commercial plots of four acres each in the town of Coatepec Harinas, State of Mexico using the method of quadrants. The results indicated that the spatial distribution of populations of *F. occidentalis* was aggregated in each of the sampling distribution dates; cross-values validation semivariograms corroborated that information, and also a high spatial dependence. The maps obtained allowed to define infested areas and areas free of damage, thus establishing control measures at specific points in each plot to make an efficient use of pesticides.

Keywords: Avocado; *Frankliniella occidentalis*; Spatial distribution; Coatepec Harinas.

¹ Estudiante de Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, México. Apartado postal 5020. irita_3@hotmail.com

² Profesor Investigador de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, México. Apartado postal 5020. jframirez@uaemex.mx, mrubia@uaemex.mx

³ Profesor Investigador de la Facultad de Geografía de la Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, México. Apartado postal 5020. xantonion@uaemex.mx

⁴ Estudiante de Maestría en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, México. Apartado postal 5020. sakua_02@hotmail.com

⁵ Estudiante de Licenciatura, Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, México. Apartado postal 5020. beth_liz3@hotmail.com

Received 13.I.2015. Accepted 20.I.2016.

INTRODUCCIÓN

El aguacate (*Persea americana* Mill) es uno de los principales cultivos perennes en México, y el país es el principal productor mundial, aportando el 30% de la oferta; las exportaciones alcanzan hoy cerca de 600000 ton con un valor de más de mil millones de dólares; éstas están dirigidas a E.E.U.U. (80%), Japón (9%) y Canadá (5%). El estado de Michoacán concentra el 89% del volumen de la producción de aguacate del país. Otras entidades tienen cierta participación, aunque no mayor al 3% del volumen total: Jalisco, Morelos, Nayarit, Estado de México y Guerrero (SIAP, 2014).

La estacionalidad, el clima y las plagas son elementos que inciden en el nivel de la producción y la problemática fitosanitaria. En el cultivo de aguacate, el principal daño lo producen los insectos y entre estos, el grupo más numeroso pertenece al orden Hemiptera (Moreno et al., 2010). Otro orden de insectos de gran importancia son los Thysanoptera, que se alimentan de tejidos tiernos como brotes foliares, florales, hojas jóvenes y frutos en desarrollo (Castañeda y Johansen, 2011). En los frutos, el daño es de mayor importancia, ya que el pericarpio se torna de color café y adquiere una consistencia áspera con agrietamientos que reducen su valor comercial. El daño es más grave en frutos recién cuajados, en los cuales provoca atrofia y aborto de los mismos sin que haya producción. El daño de los trips en frutos jóvenes causa deformaciones en la superficie del pericarpio en forma de protuberancias o crestas (Moreno et al., 2010). Las heridas que provoca *F. occidentalis* en los frutos también pueden favorecer la entrada de patógenos (Marroquín, 1998). Las épocas de mayor temperatura y sequía favorecen la abundancia de trips, lo que coincide con las etapas de floración tardía e inicio de amarre de frutos, lo que causa un daño mayor. El menor número de trips coincide con la época de lluvias (Ascensión et al., 1999).

El propósito del siguiente trabajo fue mostrar cómo hacer uso de las técnicas geoestadísticas para el manejo de plagas y, de esta manera, determinar los patrones de distribución a los que se ajusta *F. occidentalis* en el cultivo de aguacate. Por otro lado, los métodos geoestadísticos proporcionan una medida más directa de la dependencia espacial, debido a que tienen en cuenta la naturaleza bidimensional de la distribución de los organismos a través de su localización espacial. Además, permiten elaborar mapas de gran utilidad (Isaaks y Srivastava, 1989; Oliver y Webster, 1991; Blom y Fleischer, 2002) para conocer la distribución espacial de los insectos, permiten establecer grados de infestación que requieran un control inmediato, como también detectar posibles preferencias en su estructura de agregación y zonas que no presenten infestación (Rossi et al., 1992; Sciarretta et al., 2001).

Conocer la distribución espacial de la plaga es de gran importancia para la elaboración de programas de manejo integrado. El conocimiento de estas técnicas permite el desarrollo exacto y eficiente de métodos de muestreo, de

técnicas de control y de valoración de riesgos (Bressan et al., 2010). Las técnicas de distribución espacial de insectos con uso geoestadístico han sido empleadas por Solares et al. (2011) para trips en el cultivo de aguacate en Michoacán, Jiménez et al. (2013) donde realiza la modelización espacial de *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) en tomate de cáscara por medio de técnicas geoestadísticas, y Ramírez et al. (2011) en obtención de los patrones espaciales que presentó *Bactericera cockerelli* en papa, entre otros. Como resultado, se plantearon los siguientes objetivos: Determinar y establecer la modelización espacial de *F. occidentalis* en el municipio de Coatepec Harinas, Estado de México, así como, generar mapas de la superficie infestada de *F. occidentalis* en el cultivo de aguacate.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la determinación de la distribución espacial de *F. occidentalis* se realizaron muestreos quincenales de enero a junio de 2014 en tres parcelas comerciales de aguacate cv *Hass* de cuatro hectáreas cada una, con antecedentes de presencia de trips en el municipio de Coatepec Harinas, Estado de México. Los muestreos se realizaron por el método de los cuadrantes. Cada uno de ellos fue de 20 m x 20 m, tomando 40 de estos cuadrantes al azar. Para cada cuadrante seleccionado se tomaron 3 árboles de muestra teniendo un total de 120 árboles por parcela.

Se colocaron 12 vasos-trampa para la captura y conteo de trips usando como referencia los puntos cardinales del árbol. Cada árbol fue georeferenciado con un navegador modelo eTrex Vista HCx2007. Los vasos-trampa fueron vasos plásticos color amarillo del No. 8, de 10 cm de alto, 4,5 cm de diámetro base y 7,5 cm de diámetro de borde superior, siguiendo las investigaciones de González et al. (1998). Para su colocación, a cada vaso se le hizo un gancho de metal en la base, un tanto sobre él manteca vegetal para que se adhirieran los trips en la parte externa del vaso; estos se revisaron quincenalmente con ayuda de lupas. Los muestreos comenzaron a partir del 3 de enero de 2014 al 18 de junio del mismo año.

Geoestadística. En base a los datos de puntos georeferenciados y los muestreos quincenales de las poblaciones de *F. occidentalis* se estimaron los semivariogramas experimentales con el programa Variowin 2.2 (Software for Spatial Data Analysis in 2D. Spring Verlag, New York, USA). El valor experimental del semivariograma se calculó con la expresión (Journel et al., 1978):

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

Donde:

$\gamma^*(h)$ es el valor experimental del semivariograma para el intervalo de distancia h ; $N(h)$ es el número de pares de puntos muestrales separados por el intervalo de distancia h ; $z(x_i)$ es el valor de la variable de interés en el punto muestral x_i ; $z(x_i+h)$ es el valor de la variable de interés en el punto muestral x_i+h .

Normalmente, el semivariograma es una función monótona no decreciente, ya que al aumentar h también aumenta, al menos en sentido cuadrático, la diferencia entre $Z(x+h)$ y $Z(x)$. Si Z es estacionaria, γ alcanza un valor límite constante llamado meseta, que coincide con la varianza σ^2 de Z . La distancia a la que se alcanza este valor se denomina rango o alcance y marca la zona de influencia en torno a un punto, más allá de la cual, la autocorrelación es nula. Aunque $\gamma(0) = 0$, con frecuencia el semivariograma es discontinuo en el origen, con un salto finito que se llama pepita, o "efecto pepita" (del inglés "nugget"). Dicho efecto representa la incertidumbre asociada a los datos experimentales y/o a la variabilidad espacial que pueda existir a una escala de muestreo menor que la efectuada (citado por Ramírez et al., 2011).

Nivel de dependencia espacial. La determinación del grado de relación de datos o nivel de dependencia espacial se obtuvo al dividir el efecto pepita entre la meseta y expresando el resultado en porcentaje; si se tiene un resultado menor del 25% el nivel de dependencia espacial es alta, si se encuentra entre 26 y 75% el nivel de dependencia espacial es moderado y si es mayor de 76% el nivel de dependencia es bajo (Samper y Carrera, 1996).

Validación cruzada. Los valores de validación cruzada se realizaron de acuerdo al procedimiento establecido por Isaaks

y Srivastava (1989). Estos valores son media de los errores de estimación (MEE), error cuadrático medio (ECM), error cuadrático medio adimensional (ECMA) y la varianza de los errores.

Elaboración de mapas. Se utilizó el método geoestadístico para la interpolación de valores a través del krigeado ordinario que permite la estimación insesgada de valores asociados a puntos que no fueron muestreados (ver Samper et al., 1996).

Las estimaciones obtenidas fueron representadas en forma de mapa para cada parcela de estudio en las diferentes fechas de muestreo de *F. occidentalis* mediante el uso del programa Surfer 9 (Surface Mapping System, Golden Software Inc. 809, 14th Street. Golden, Colorado 80401-1866. USA).

RESULTADOS

Con los datos obtenidos fue posible generar la modelización espacial y mapeo de las poblaciones de *F. occidentalis* en aguacate. Se estableció el porcentaje de infestación en cada fecha de muestreo y se logró determinar la estabilidad espacio-temporal de este insecto; con ello se consiguió determinar realmente el patrón de comportamiento espacial. Los resultados se detallan en la Tabla 1.

Geoestadística. En los muestreos realizados, se pudo observar que la mayor cantidad de trips se encontraron en las etapas de floración del aguacate (febrero-abril) (Fig. 3, 4 y 5); por el contrario, la menor incidencia de estos insectos, se observó en los meses de enero y junio, cuando las poblaciones

Tabla 1. Parámetros de los modelos teóricos ajustados a los semivariogramas de *F. occidentalis* en aguacate en el Estado de México en 2014 (parcela 1).

Table 1. Parameters of theoretical models adjusted to the semivariogram of *F. occidentalis* in avocado in the State of Mexico in 2014 (plot 1).

Localidad	Fecha	Modelo	Pepita	Rango	Meseta	Pepita/ Meseta %	Dependencia Espacial
COATEPEC HARINAS (PARCELA 1)	3 enero	Esférico	0	13,2	18,69	0	Alta
	18 enero	Esférico	0	13,2	15,3	0	Alta
	3 febrero	Esférico	0	14,4	21,56	0	Alta
	18 febrero	Esférico	0	15,6	347,8	0	Alta
	3 marzo	Esférico	0	14,8	5100	0	Alta
	18 marzo	Esférico	0	14,4	2320	0	Alta
	3 abril	Esférico	0	13,2	752	0	Alta
	18 abril	Esférico	0	16,8	1116	0	Alta
	3 mayo	Esférico	0	16,8	282	0	Alta
	18 mayo	Esférico	0	13,2	20,9	0	Alta
	3 junio	Esférico	0	13,2	10,2	0	Alta
	18 junio	Esférico	0	11,2	3,145	0	Alta

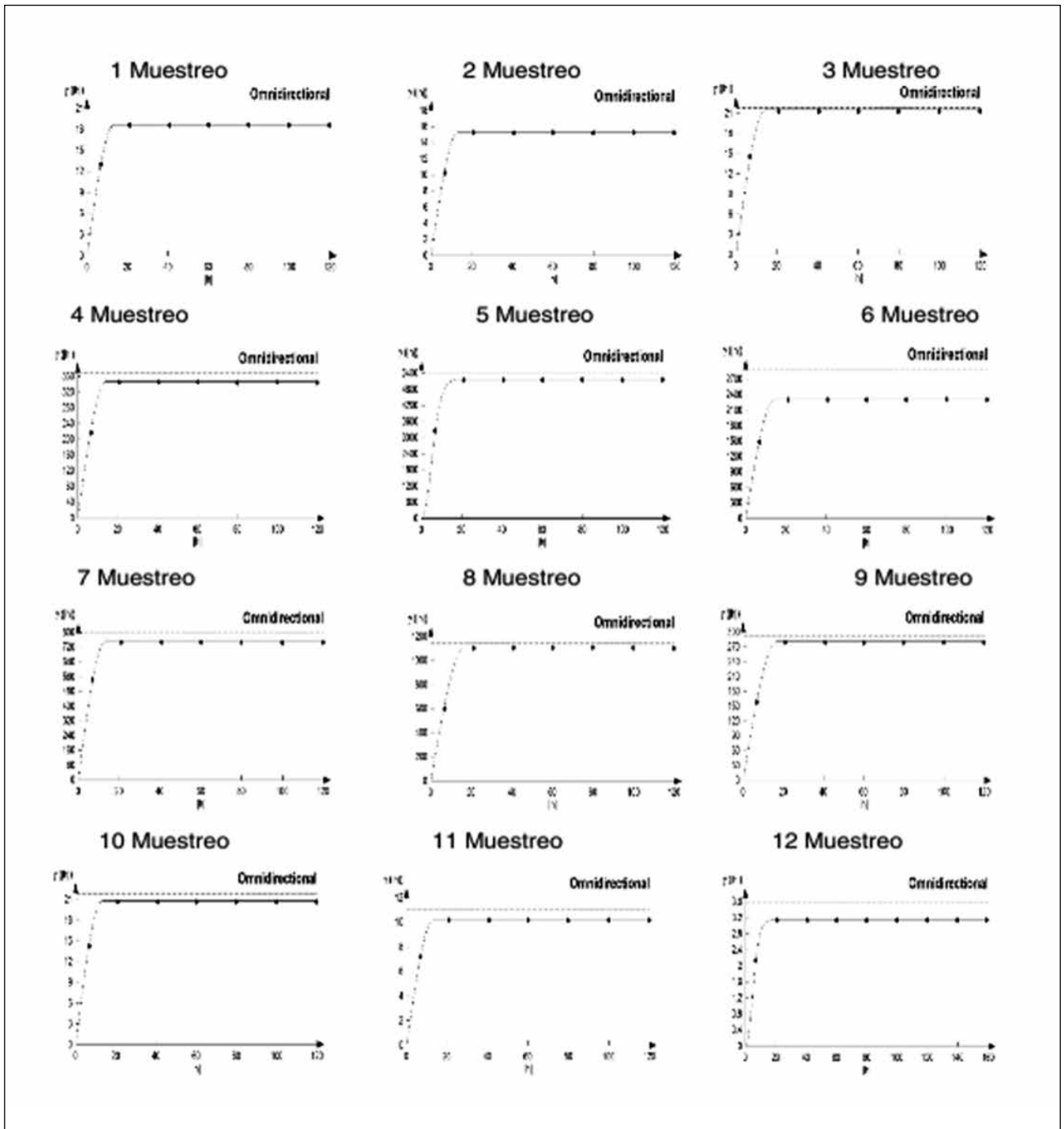


Fig. 1. Semivariogramas de Trips en aguacate en Coatepec Harinas durante 2014 (parcela 1).

Fig. 1. Semivariograms avocado Thrips in Coatepec Harinas during 2014 (plot 1).

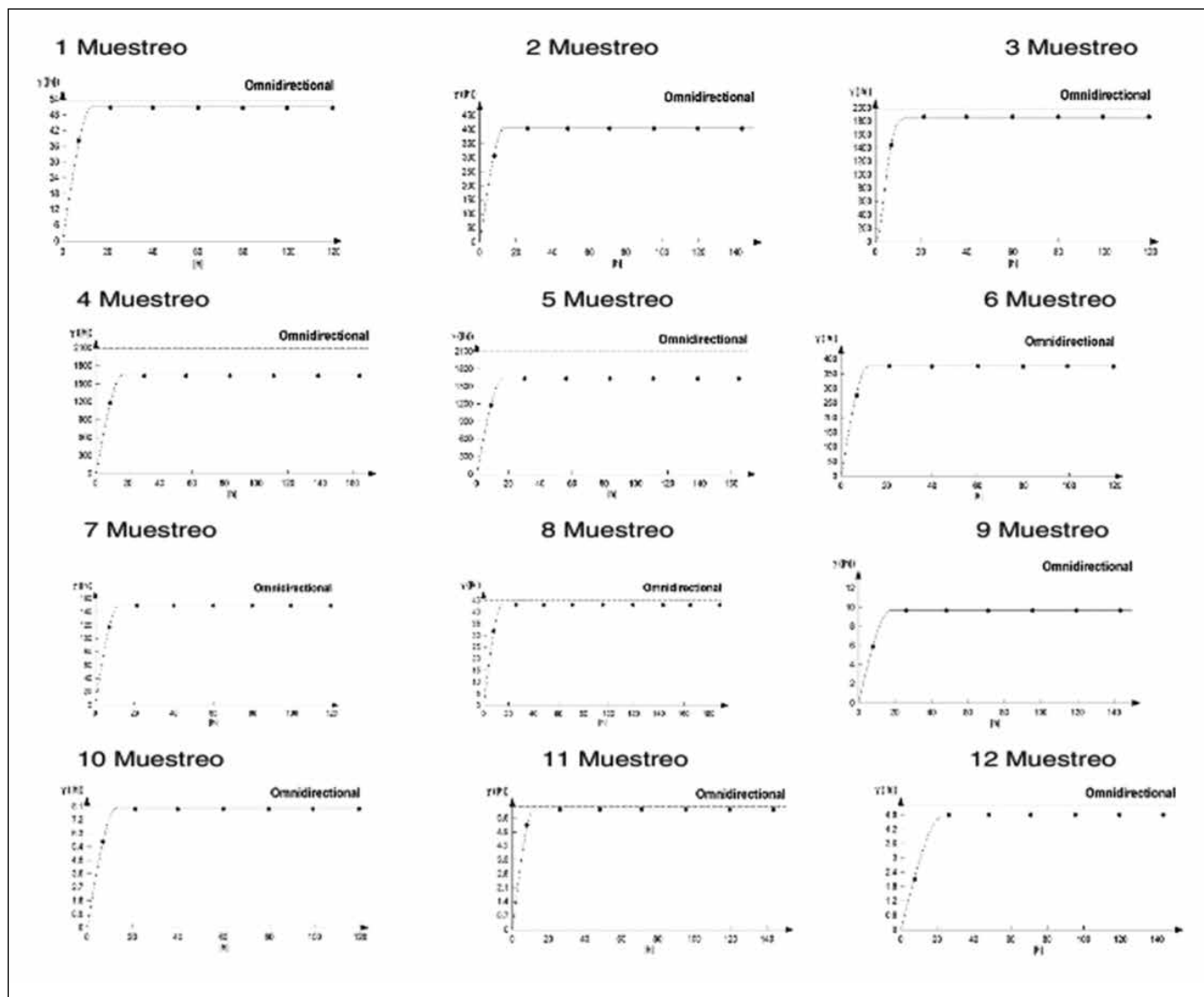


Fig. 2. Semivariogramas de Trips en aguacate en Coatepec Harinas durante 2014 (parcela 2).

Fig. 2. Semivariograms avocado Thrips in Coatepec Harinas during 2014 (plot 2).

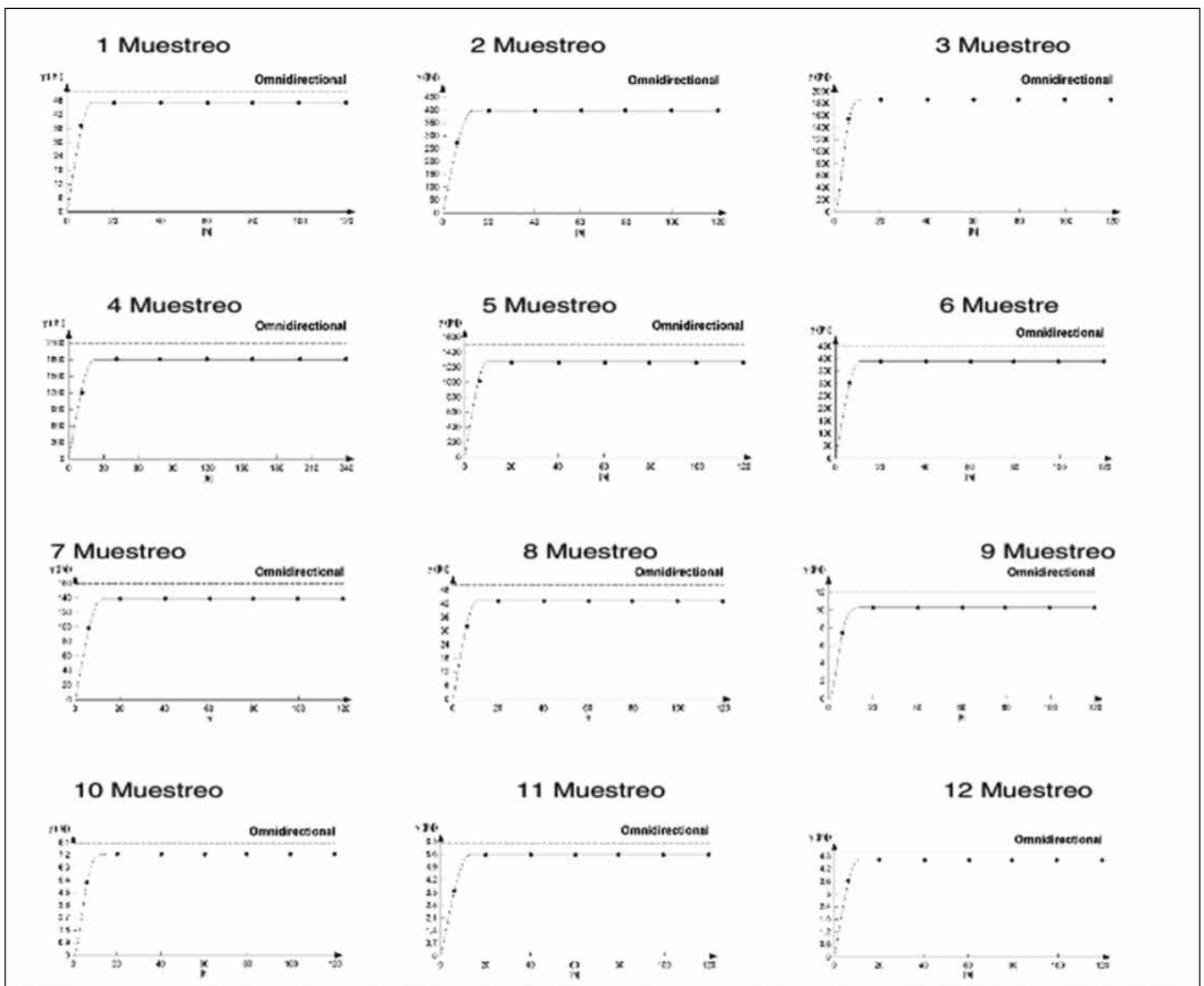


Fig. 3. Semivariogramas de Thrips en aguacate en Coatepec Harinas durante 2014 (parcela 3).

Fig. 3. Semivariogramas avocado Thrips in Coatepec Harinas during 2014 (plot 3).

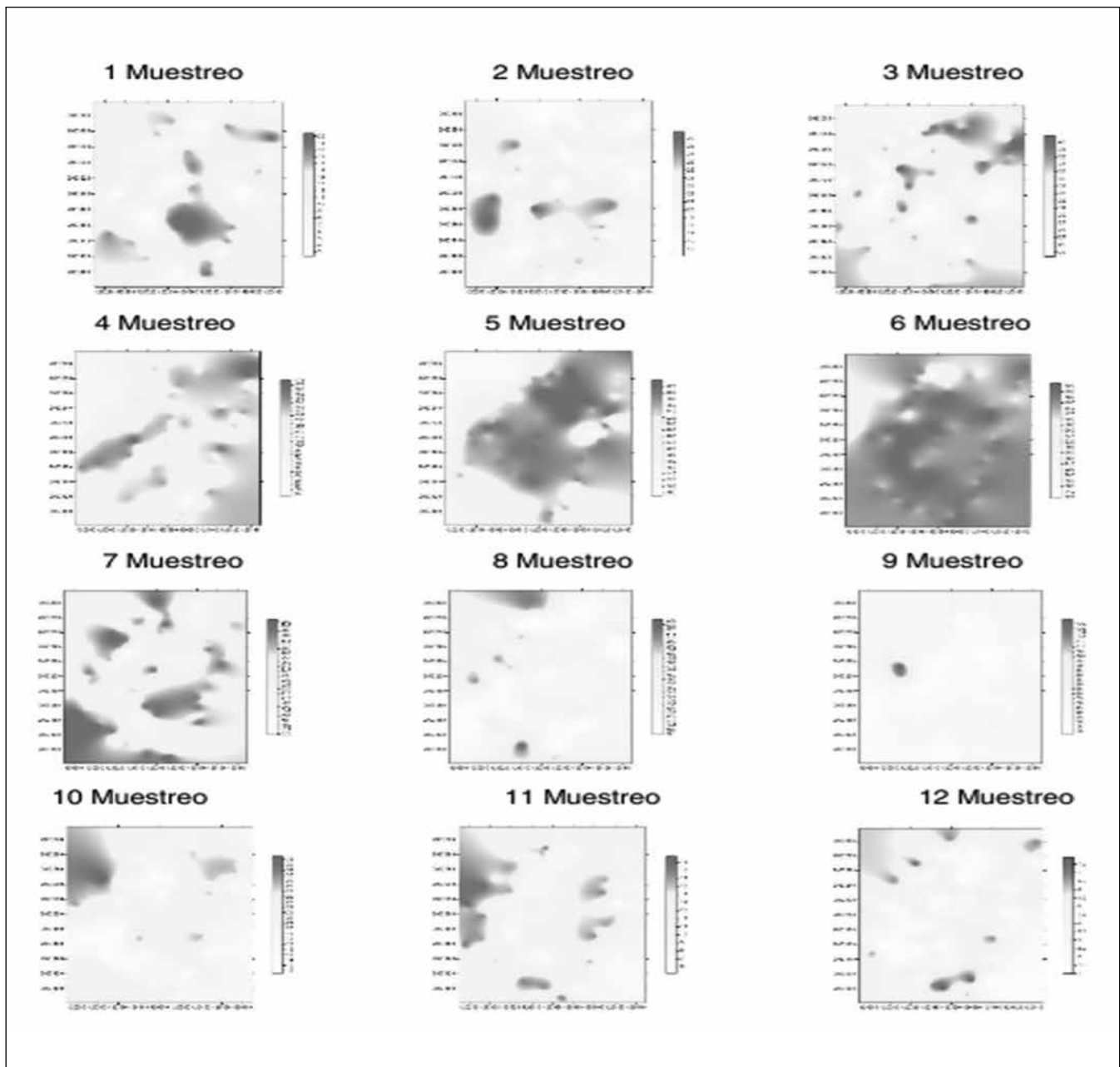


Fig. 4. Mapas de densidad de Trips en aguacate en Coatepec Harinas durante 2014 (parcela 1).

Fig. 4. Density Maps of Thrips on avocado in Coatepec Harinas during 2014 (plot 1).

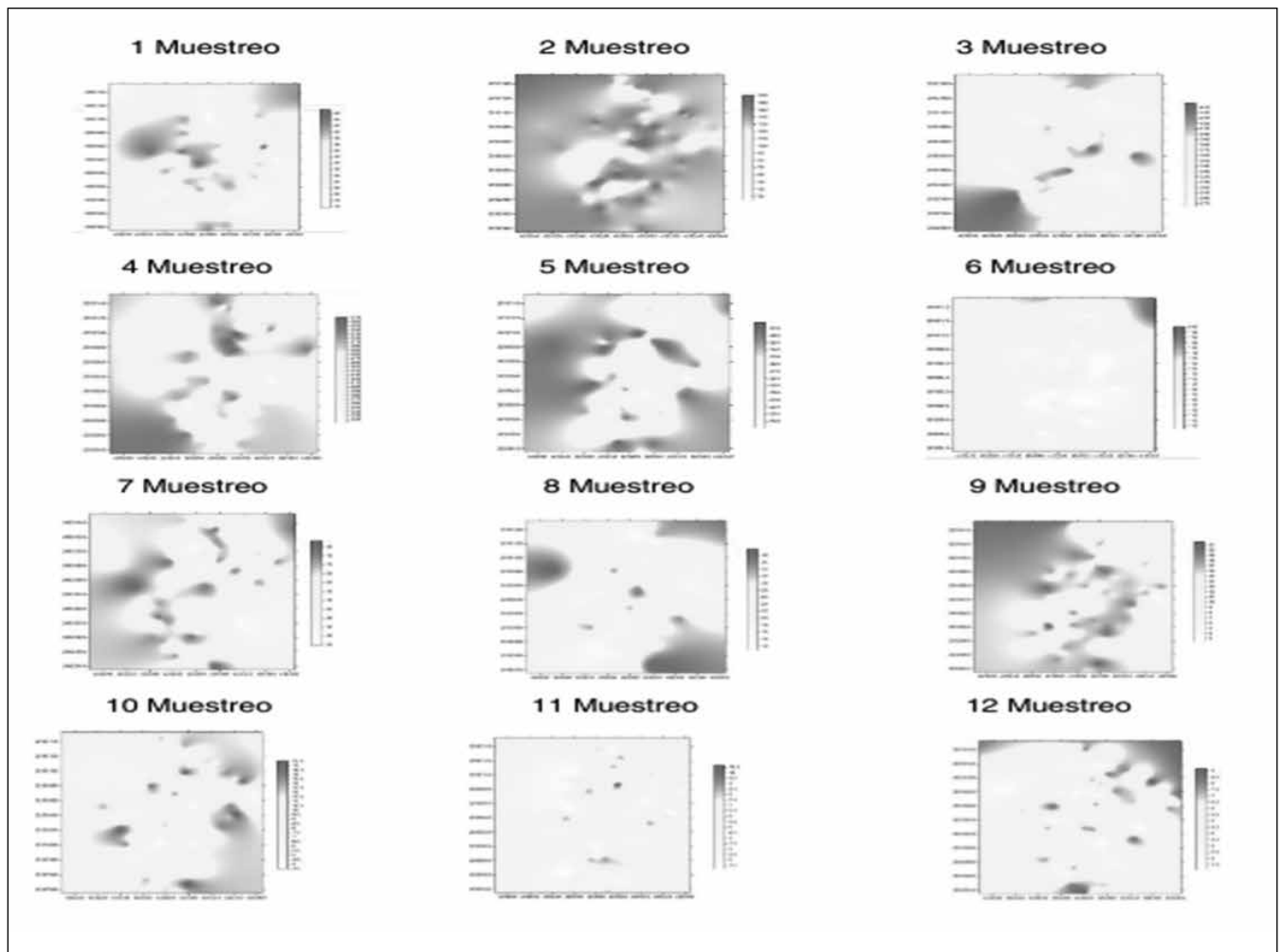


Fig. 5. Mapas de densidad de Trips en aguacate en Coatepec Harinas durante 2014 (parcela 2).
 Fig. 5. Density Maps of Thrips on avocado in Coatepec Harinas during 2014 (plot 2).

por árbol disminuyeron hasta veinte o treinta individuos por árbol (Fig. 3, 4 y 5). Respecto a los semivariogramas, en la parcela 1, todos se adaptaron al modelo esférico (Tabla 1).

Para la parcela dos, las poblaciones se ajustaron en su mayoría a un modelo esférico mientras que el muestreo correspondiente a la primer quincena de febrero tuvo un ajuste al modelo gaussiano (Tabla 2). Los semivariogramas de la parcela tres se ajustaron a un modelo esférico para los meses de enero, marzo, abril y junio; excepto la primer quincena de febrero, y el mes de mayo cuando se ajustaron al modelo gaussiano (Tabla 3). Para todos los modelos ajustados se presentó un efecto pepita igual a cero. Este valor es indicativo de que la escala de muestreo utilizada en ellos fue la adecuada y el error de muestreo fue mínimo. Este tipo de comportamiento pudo deberse al ambiente heterogéneo de cada parcela que propició el agrupamiento de trips, permitiéndoles sobrevivir a las actividades de control que normalmente realiza el productor. De esta forma, los insectos produjeron descendencia en cada muestreo realizado, o bien

hubo constantes migraciones desde huertos aledaños. Las parcelas presentaron condiciones ambientales favorables al insecto creando nichos dinámicos o refugios.

A pesar de tener densidades variables de insectos en las fechas evaluadas, la menor densidad promedio se encontró en el primer muestreo correspondiente a la primera quincena de enero en las tres parcelas. Esto probablemente se debió a las bajas temperaturas reportadas en la zona durante este periodo.

En cuanto a los modelos ajustados de los semivariogramas, los modelos gaussianos indicaron que su distribución espacial tuvo una manifestación continua, que implicó el avance hacia una gran cantidad de zonas aledañas susceptibles. Es decir, el insecto tuvo condiciones favorables para su expansión dentro de la parcela. El modelo esférico, que representó la mayoría de los semivariogramas, indicó la existencia de zonas en las que el insecto se presentó más respecto al resto de los puntos. Es decir, los centros de agregación tuvieron una distribución aleatoria y se propagó desde una fuente puntual.

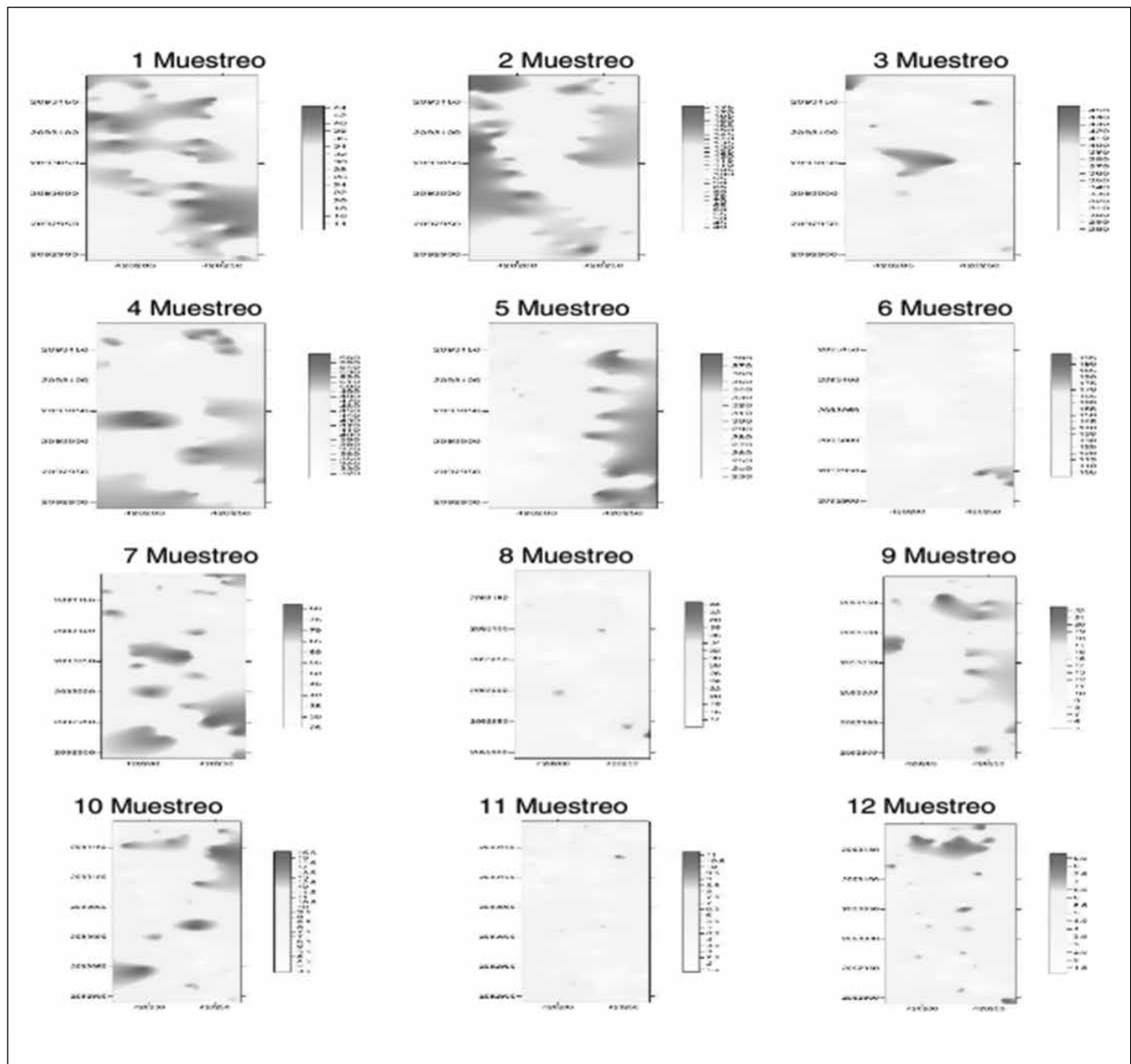


Fig. 6. Mapas de densidad de Trips en aguacate en Coatepec Harinas durante 2014 (parcela 3).

Fig. 6. Density Maps of Thrips on avocado in Coatepec Harinas during 2014 (plot 3).

Tabla 2. Parámetros de los modelos teóricos ajustados a los semivariogramas de *F. occidentalis* en aguacate en el Estado de México en 2014 (parcela 2).

Table 2. Parameters of theoretical models adjusted to the semivariogram of *F. occidentalis* in avocado in the State of Mexico in 2014 (plot 2).

Localidad	Fecha	Modelo	Pepita	Rango	Meseta	Pepita/ Meseta %	Dependencia Espacial
COATEPEC HARINAS (PARCELA 2)	3 enero	Esférico	0	13,2	51,3	0	Alta
	18 enero	Esférico	0	13,5	408,9	0	Alta
	3 febrero	Gaussiano	0	9,6	1860	0	Alta
	18 febrero	Esférico	0	17	1659	0	Alta
	3 marzo	Esférico	0	12	1320	0	Alta
	18 marzo	Esférico	0	12	378	0	Alta
	3 abril	Esférico	0	12	150,4	0	Alta
	18 abril	Esférico	0	15,2	43,7	0	Alta
	3 mayo	Esférico	0	18	9,75	0	Alta
	18 mayo	Esférico	0	13,2	8,036	0	Alta
3 junio	Esférico	0	12	6,076	0	Alta	
18 junio	Esférico	0	24	4,836	0	Alta	

Tabla 3. Parámetros de los modelos teóricos ajustados a los semivariogramas de *F. occidentalis* en aguacate en el Estado de México en 2014 (parcela 3).

Table 3. Parameters of theoretical models adjusted to the semivariogram of *F. occidentalis* in avocado in the State of Mexico in 2014 (plot 3).

Localidad	Fecha	Modelo	Pepita	Rango	Meseta	Pepita/ Meseta %	Dependencia Espacial
COATEPEC HARINAS (PARCELA 3)	3 enero	Esférico	0	10,8	47,32	0	Alta
	18 enero	Esférico	0	13,2	399,5	0	Alta
	3 febrero	Gaussiano	0	8,4	1880	0	Alta
	18 febrero	Esférico	0	21,6	1804	0	Alta
	3 marzo	Esférico	0	9,6	1280	0	Alta
	18 marzo	Esférico	0	10,8	391	0	Alta
	3 abril	Esférico	0	12	139,2	0	Alta
	18 abril	Esférico	0	10,8	43,75	0	Alta
	3 mayo	Gaussiano	0	9,6	10,35	0	Alta
	18 mayo	Gaussiano	0	9,6	7,29	0	Alta
3 junio	Esférico	0	13,2	5,607	0	Alta	
18 junio	Esférico	0	10,8	4,641	0	Alta	

Los valores del rango, que es la distancia máxima hasta la cual existe relación espacial entre los datos oscilaron: en la parcela 1 entre 11,2 y 16,8 m (Tabla 1); para la parcela 2, los valores fueron de 9,6 y 24 m (Tabla 2), mientras que en la parcela 3 los valores fluctuaron entre los 8,4 y 21,6 m (Tabla 3). En todos los modelos se presentó un alto nivel de dependencia espacial para cada una de las fechas de muestreo (Tablas 1, 2 y 3).

Los modelos de la distribución espacial de *F. occidentalis* en las 3 parcelas analizadas se lograron validar con los parámetros estadísticos al ubicarse dentro del rango aceptable (Tablas 4, 5 y 6).

Obtención de mapas. Los mapas de superficie infestada, obtenidos en el muestreo por cuadrantes, demuestran que las poblaciones de *F. occidentalis*, se ubicaron en centros de agregación. Es decir, las poblaciones se concentraron principalmente en puntos específicos de la parcela (Fig. 4, 5 y 6). En todos los mapas, podemos observar que no hay un patrón determinado en la conducta de los insectos, y se ha observado a la maleza como reservorio para esta especie. Esto nos permite pensar que si se lleva a cabo un control sobre estas plantas, conjuntamente con el control común con insecticidas, es posible disminuir las poblaciones de trips en los huertos de producción.

Tabla 4. Valores de los estadísticos de la validación cruzada de los semivariogramas obtenidos en el muestreo de *F. occidentalis*, por cuadrantes en el municipio de Coatepec Harinas, Estado de México: media de los errores de estimación (MEE), error cuadrático medio (ECM) y error cuadrático medio adimensional (ECMA) en 2014 (Parcela 1).

Table 4. Values of statistics of cross-semivariograms obtained in samplings of *F. occidentalis* by the quadrant method in the town of Coatepec Harinas, State of Mexico: average estimation errors (MEE), mean square error (RMSE) and dimensionless quadratic mean error (ECMA) in 2014 (Plot 1).

Municipio	Tamaño de Muestra	Media Maestral	Desviación Estándar	Varianza Maestral	MEE	Varianza de los Errores	ECM	ECMA
COATEPEC HARINAS (PARCELA 1)	121	11,619	4,574	20,92	0,07 ns	12,67	0,07	1,11
	121	20,743	4,135	17,099	0,10 ns	11,08	0,11	1,09
	121	32,958	4,669	21,808	0,08 ns	13,52	0,12	1,12
	121	128,925	19,227	369,70	0,12 ns	114,32	0,09	1,07
	121	334,578	73,785	5444,24	0,09 ns	531,98	0,12	1,13
	121	455,355	53,74	2888,37	0,11 ns	751,05	0,14	1,10
	121	251,16	28,22	796,84	0,06 ns	206,77	0,09	1,08
	121	141,90	33,91	1150,28	0,11 ns	602,13	0,10	1,12
	121	47,80	17,08	292,01	0,10 ns	97,05	0,13	1,06
	121	21,26	4,66	21,79	0,12 ns	15,92	0,06	1,12
	121	12,66	3,32	11,03	0,07 ns	8,05	0,09	1,13
	121	3,64	1,89	3,60	0,11 ns	1,55	0,11	1,10

Tabla 5. Valores de los estadísticos de la validación cruzada de los semivariogramas obtenidos en el muestreo de *F. occidentalis*, por cuadrantes en el municipio de Coatepec Harinas, Estado de México: media de los errores de estimación (MEE), error cuadrático medio (ECM) y error cuadrático medio adimensional (ECMA) en 2014 (Parcela 2).

Table 5. Values of statistics of cross-semivariograms obtained in samplings of *F. occidentalis* by the quadrant method in the town of Coatepec Harinas, State of Mexico: average estimation errors (MEE), mean square error (RMSE) and dimensionless quadratic mean error (ECMA) in 2014 (Plot 2).

Municipio	Tamaño de Muestra	Media Maestral	Desviación Estándar	Varianza Maestral	MEE	Varianza de los Errores	ECM	ECMA
COATEPEC HARINAS (PARCELA 2)	121	32,18	7,28	53,1	0,10 ns	24,95	0,12	1,09
	121	131,36	21,67	469,82	0,12 ns	251,90	0,05	1,11
	121	355,94	44,55	1985,56	0,06 ns	362,33	0,13	1,10
	121	473,66	45,78	2095,64	0,08 ns	695,11	0,08	1,13
	121	310,94	37,84	1431,9	0,12 ns	270,67	0,10	1,06
	121	135,01	20,34	413,90	0,10 ns	114,80	0,11	1,12
	121	58,39	12,45	155,20	0,11 ns	57,23	0,06	1,08
	121	23,12	6,72	45,20	0,09 ns	22,64	0,09	1,11
	121	14,76	3,46	12,00	0,12 ns	7,02	0,11	1,07
	121	9,90	2,84	8,12	0,07 ns	5,44	0,08	1,10
	121	5,30	2,48	6,19	0,13 ns	3,01	0,12	1,08
	121	4,93	2,27	5,19	0,11 ns	2,77	0,11	1,12

Tabla 6. Valores de los estadísticos de la validación cruzada de los semivariogramas obtenidos en el muestreo de *F. occidentalis*, por cuadrantes en el municipio de Coatepec Harinas, Estado de México: media de los errores de estimación (MEE), error cuadrático medio (ECM) y error cuadrático medio adimensional (ECMA) en 2014 (Parcela 3).

Table 6. Values of statistics of cross-semivariograms obtained in samplings of *F. occidentalis* by the quadrant method in the town of Coatepec Harinas, State of Mexico: average estimation errors (MEE), mean square error (RMSE) and dimensionless quadratic mean error (ECMA) in 2014 (Plot 3).

Municipio	Tamaño de Muestra	Media Maestral	Desviación Estándar	Varianza Maestral	MEE	Varianza de los Errores	ECM	ECMA
COATEPEC HARINAS (PARCELA 3)	121	32,216	7,206	51,93	0,11 ns	34,67	0,09	1,12
	121	130,93	21,67	469,75	0,09 ns	125,76	0,14	1,06
	121	354,79	44,63	1991,96	0,12 ns	589,21	0,12	1,10
	121	472,53	45,88	2104,94	0,10 ns	276,90	0,10	1,13
	121	312,52	38,80	1505,15	0,13 ns	492,13	0,08	1,07
	121	136,06	21,27	452,60	0,06 ns	110,54	0,10	1,09
	121	58,81	12,63	159,50	0,12 ns	87,92	0,13	1,11
	121	23,45	7,09	50,25	0,11 ns	24,77	0,11	1,10
	121	14,68	3,47	12,03	0,14 ns	7,56	0,15	1,12
	121	9,86	2,83	8,01	0,08 ns	3,02	0,07	1,08
	121	5,25	2,49	6,21	0,10 ns	4,81	0,10	1,13
	121	4,93	2,25	5,04	0,09 ns	2,31	0,13	1,09

Respecto a la superficie con presencia de insectos, podemos deducir que el manejo es deficiente en las tres parcelas. La parcela 1 presentó un mayor número de insectos, llegando hasta un promedio de 560 individuos por árbol. Este huerto se encuentra en una ladera, y el control es menos homogéneo, debido a que el paso de las bombas de aspersión y el tractor se dificulta por la pendiente. Se determinó el porcentaje de infestación por trips para las tres parcelas en los doce muestreos y, aunque no llegó a un 100% con presencia de insectos, los mismos se encontraron hasta en más del 95% de la parcela en todos los casos. Esto indica que los insectos tienen una alta importancia dentro de los problemas de sanidad que presenta este huerto.

Los mapas generados permiten poner en marcha estrategias de manejo del insecto, sobre todo si consideramos su papel como agente facilitador para la entrada de enfermedades como la roña del aguacate (*Sphaceloma perseae* Jenk.), la cual genera pérdidas importantes y reduce la calidad del producto final. La apariencia poco usual de estos insectos puede hacer difícil su observación, y su control es cada día una tarea más complicada. Debido a esto, se deben tener en cuenta su dinámica poblacional y su relación con el estado fenológico de las plantas, así como su comportamiento espacial para desarrollar estrategias de manejo de este insecto.

Los mapas de distribución correspondientes a los meses de enero y junio mostraron la menor incidencia de insectos, con una media menor a cuarenta insectos por árbol (Fig. 4, 5 y 6, Tablas 4, 5 y 6). Esta situación no generaría daño significativo,

pero conforme las temperaturas van subiendo e inicia la etapa de floración, las poblaciones de insectos se incrementan. Esto se puede corroborar en las Tablas 4, 5 y 6, que muestran que la mayor cantidad de insectos ocurrió los meses de febrero, marzo y abril, cuando hubo más de 200 insectos por árbol, llegando a un pico entre febrero y marzo de hasta 570 insectos por árbol.

También podemos observar distribuciones agregadas de las poblaciones de insectos dispersos en las parcelas. En ellos no existe un patrón de comportamiento definido, ya que los insectos se mueven dentro de ellas según las etapas fenológicas del cultivo y la hora del día.

El análisis de estos mapas nos permite definir también áreas libres de infestación, como puede observarse en los mapas de la parcela 3 (Fig. 6). Estos mapas muestran áreas donde no se encontraron insectos, sobre todo en los meses de mayo y junio. En estos meses las densidades de población disminuyeron debido a la presencia de lluvias y por ende, la disminución de temperaturas.

Los porcentajes de incidencia de insectos fueron altos en las parcelas de estudio, con un máximo de 96% en la parcela 1 en la segunda quincena de marzo, y un mínimo de 12% en la segunda quincena de junio. En la parcela 2, se obtuvo un máximo nivel de insectos de 97% en el mes de febrero, y un mínimo de 76% en la segunda quincena de junio. Finalmente, en la parcela 3 se registró la mayor infestación (92%) durante el mes de febrero, y la menor infestación (71%) en junio (Tablas 7, 8 y 9).

Tabla 7. Porcentajes de infestación de *F. occidentalis* en aguacate en el municipio de Coatepec Harinas, Estado de México en 2014 (parcela 1).

Table 7. Percentages of *F. occidentalis* infestation on avocado in the town of Coatepec Harinas, State of Mexico in 2014 (plot 1).

Muestreo	% Infestado	% No Infestado
1	78	22
2	75	25
3	77	23
4	92	8
5	84	16
6	96	4
7	82	18
8	56	44
9	54	46
10	60	40
11	65	35
12	52	48

Tabla 8. Porcentajes de infestación de *F. occidentalis* en aguacate en el municipio de Coatepec Harinas, Estado de México en 2014 (parcela 2).

Table 8. Percentages of *F. occidentalis* infestation on avocado in the town of Coatepec Harinas, State of Mexico in 2014 (plot 2).

Muestreo	% Infestado	% No Infestado
1	84	16
2	97	3
3	85	15
4	93	7
5	86	14
6	80	20
7	87	13
8	81	19
9	95	5
10	84	16
11	78	22
12	76	24

DISCUSIÓN

El análisis geoestadístico demostró ser una herramienta apropiada para determinar los patrones espaciales y la generación de mapas de la distribución espacial de *Frankliniella occidentalis* en tres parcelas de Coatepec Harinas, Estado de México, con modelos esféricos y gaussianos con efecto pepita igual a cero en todos los casos. Una situación similar fue repor-

Tabla 9. Porcentajes de infestación de *F. occidentalis* en aguacate en el municipio de Coatepec Harinas, el Estado de México en 2014 (parcela 3).

Table 9. Percentages of *F. occidentalis* infestation on avocado in the town of Coatepec Harinas, the State of Mexico in 2014 (plot 3).

Muestreo	% Infestado	% No Infestado
1	85	15
2	92	8
3	61	39
4	86	14
5	66	34
6	69	31
7	87	13
8	60	40
9	79	21
10	76	24
11	71	29
12	72	28

tada por Ramírez et al. (2014). Esta información nos permite afirmar que la escala de muestreo fue correcta, y que el error de muestreo fue mínimo (Oliver y Webster, 1991) por lo que el porcentaje de los modelos ajustados tiene un 99% de confiabilidad. Por lo tanto, se sugiere que más del 90% de la variación total fue originada por la dependencia espacial encontrada en la escala de muestreo utilizada (Liebhold y Sharov, 1998).

La mayoría de los semivariogramas ajustados se apegaron al modelo esférico, y gaussiano en menor medida, como lo presentado por Sánchez et al. (2014). Estos autores hacen referencia solo a modelos esféricos y gaussianos en el trabajo realizado sobre la distribución espacial de *Uromyces transversalis* en el cultivo de gladiolo durante el ciclo primavera verano en la región sureste del Estado de México.

El hecho de haber encontrado una dependencia espacial alta significa que la distribución espacial de la plaga fue de tipo agregada durante los doce muestreos. Es decir, la agregación fue muy estable, siendo de utilidad para realizar un manejo de la plaga, ya que el insecto se mantiene estable en el espacio y el tiempo tal como lo menciona Moral (2004). Este autor obtuvo mapas irregulares de la distribución de *Helicoverpa armigera* Hb. Los resultados de agregación y los mapas obtenidos sugieren la posibilidad de realizar alternativas de control químico o biológico en forma dirigida durante las primeras etapas de floración para controlar las infestaciones iniciales de *B. cockerelli* en el cultivo de tomate de cascara. Jiménez et al. (2014) también reportaron una alta dependencia espacial en la modelización espacial de huevos de trips en tomate de cascara, así como Solares et al. (2011) en su trabajo sobre trips en el cultivo de aguacate en Zitácuaro, Michoacán.

La validación cruzada de los valores del semivariograma corroboró la distribución agregada dentro de los huertos de producción. Esto verifica que la escala de muestreo y el método usado para la toma de datos fueron correctos y que el error de muestreo fue mínimo. Es decir, el procedimiento utilizado para la toma de los datos fue apropiada, situación similar refleja el estudio realizado por Ramírez et al. (2011). Tal como lo mencionan Ramírez et al. (2013), el comportamiento de tipo agregado en las poblaciones de insectos en aguacate permite sugerir que la reducción de las infestaciones se puede lograr al focalizar las estrategias de manejo hacia puntos específicos o focos de infestación en donde se ubican los puntos de agregación, además de poder visualizarlos a través de los mapas generados.

La distribución presentada por los trips en la realización de este trabajo fue de manera agregada. Estos resultados con la presencia de plagas en cultivos también son válidos en enfermedades y plantas parásitas, tal como lo informan Sánchez et al. (2011) respecto a la distribución espacial de *Sporisorium reilianum* en maíz. En dicho trabajo se encontró una distribución espacial de tipo agregada en plantas de maíz afectadas por este hongo. Ramírez y Porcayo (2010), por medio de técnicas del análisis espacial por índices de distancia, reportaron que la infestación de *Pinnus* spp. por el muérdago enano se lleva a cabo de manera agregada en la ladera norte del Parque Nacional Nevado de Toluca. También Zúñiga et al. (2005) encontraron una distribución agregada de *Lophophora difusa* y asociación con otras especies; se encontró una disociación con *Celtis pallida* y *Myrtillocactus geometrizans*. Por su parte, Amador en 2004 informó que las malezas también se distribuyen de manera agregada, reportando que estos tipos de distribución espacial, son el resultado de la distribución de los tipos de suelo y el manejo agronómico que se lleva a cabo.

Los mapas elaborados permiten visualizar los centros de agregación de la plaga y pueden ser usados para evaluar su aparición dentro del huerto. Esta herramienta ha sido utilizada por De la Casa et al. (2003). Estos autores, usando mapas obtenidos mediante krigeado, lograron ilustrar la disposición de la humedad y el nitrógeno disponible para el cultivo de papa en dos horizontes del suelo. Dichos autores concluyeron que aunque hubiera mayor contenido de N en superficie, no se garantiza un consumo uniforme de este nutriente entre 0 y 40 cm. Al mismo tiempo, la mayor acumulación de N-NO₃⁻ entre 0 y 20 cm demostró que no ocurrió lixiviación en el perfil del suelo.

En nuestro trabajo, la plaga no se distribuyó en el 100% del huerto, aunque Sánchez et al. (2014) reportaron que es posible que las infecciones por hongos afecten el 100% de las parcelas, situación que no había sido informada en aguacate. Johansen et al. (2007) reportaron daños por insectos de hasta el 75%, aún descuidando su control. Durante la realización de nuestro trabajo se encontró hasta un 97% como máximo de la superficie infestada por el insecto.

Todo lo observado durante el desarrollo de este trabajo se confirma con los estudios realizados por Carrizo (1998), quien observó que la mayoría de los integrantes de las poblaciones de insectos se encuentran en las flores, ya que es donde obtienen su alimento.

Con lo anterior, podemos concluir que la elaboración de mapas de densidad de población permiten dirigir certeramente las medidas de control de insectos, situación que concuerda con los estudios realizados por Fleischer et al. (1997) y Rong et al. (2006).

Debido a que en las parcelas estudiadas se observó que los insectos encuentran un nicho de protección en las malezas llegamos a la misma conclusión que González et al. (2010); con un control de la presencia de arvenses podríamos reducir significativamente la presencia de *F. occidentalis* en los huertos de producción, además del control común con insecticidas. Sin embargo, es más recomendable usar medidas de control biológico.

CONCLUSIONES

Con la aplicación de técnicas geoestadísticas fue posible determinar la distribución y comportamiento de insectos como *F. occidentalis* en el cultivo de aguacate, ya que estos insectos forman centros de agregación dispersos dentro de los huertos de cultivo de este fruto. Esta situación fue verificada en las tres parcelas de estudio en el Municipio de Coatepec Harinas, Estado de México. Adicionalmente, el krigeado permite obtener imágenes claras sobre la ubicación geográfica de los centros de agregación de este insecto lo que permite dirigir certeramente las medidas de control necesarias.

REFERENCIAS

- Amador R., M.D. y J.S. Escobedo Rosales (2004). Distribuciones espaciales de malezas y rendimiento de maíz en labranza reducida y convencional. *Revista Fitotecnia Mexicana* 27: 223-231.
- Ascensión, G., H. Bravo, H. González, R.M. Johanssen y A.E. Becerril (1999). Fluctuación poblacional y daño de trips en aguacate cv. Hass. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 5: 291-296.
- Blom, E. y S. Fleischer (2002). Dynamics in the spatial structure of *Leptinotarsa decemlineata* (Coleoptera: Chrysomelidae). *Environmental Entomology* 30: 350-364.
- Bressan, A., J.F. Moral, O. Semetey y E. Boudon-Paidieu (2010). Spatio-temporal pattern of *Pentastiridius Leporinus* migration in an ephemeral cropping system. *Agricultural and Forest Entomology* 12: 59-68.
- Carrizo, P.I. (1998). Eficiencia de captura con trampas de *Frankliniella occidentalis* (Pergande) en el cultivo de pimiento en invernáculo y en malezas en el Gran La Plata. *Revista Facultad de Agronomía, La Plata* 103: 1-10.
- Castañeda, E.L. y R.M. Johanssen (2011). Trips asociados al aguacate en el estado de México. Actas del VII Congreso mundial del aguacate. Cairns, Australia. pp. 1130-1150.

- De la Casa, A., G. Ovando, A. Rodríguez, L. Bressanini y E. Buffa (2003). Evaluación espacial del nitrógeno disponible del suelo en un cultivo de papa cv. *spunta* en Córdoba, Argentina. *Agricultura Técnica* 63: 311-318.
- Fleischer, S., R. Weisz, Z. Smilowitz y D. Midgarden (1997). Spatial variation in insect populations and site-specific integrated pest management, En: F.J. Pierce y E.J. Sadlerb (eds.), pp. 101-130. The state of Site-Specific Management for Agriculture. ASA miscellaneous Publication. Madison, WI, 430 p.
- González H., H., C.M. Sosa T., M. González R. y A.R. Valle de la Paz (1998). Selección del color de trampas adhesivas para muestreo de trips en el cultivo del aguacate (*Persea americana* Mill.). Avances de investigación, 1997. Instituto de Fitosanidad, Colegio de Postgraduados. Montecillo, México, pp. 209-210.
- González, H., A. Méndez, A. Valle y M. González (1999). Selección de trampas de color y fluctuación poblacional de trips del aguacate en Michoacán, México. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 5: 287-290.
- González, C., S. Moraima y R. Axel (2010). Especies de trips asociadas a plantas arvenses en la provincia de La Habana. *Métodos en Ecología y Sistemática* 5: 37-43.
- Isaaks, E.H. y R.M. Srivastava (1989). An Introduction to Applied Geostatistics. Oxford Univ. Press, New York. 35-38 p.
- Jiménez C., R.A., J.F. Ramírez D., J.R. Sánchez P., M.L. Salgado S. y A. Laguna (2014). Modelización espacial de Thrips (Thysanoptera: *Frankliniella occidentalis*) en tomate de cáscara por medio de técnicas geoestadísticas. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCUIYO* 46: 29-44.
- Jiménez C., R.A., J.F. Ramírez D., J.R. Sánchez P., M.L. Salgado S. y C.A. Laguna (2013). Modelización espacial de *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) en tomate de cáscara por medio de técnicas geoestadísticas. *Revista Colombiana de Entomología* 39: 183-192.
- Johansen N., R.M., G.A. Mujica, H.H. González, A.R. Valle de La Paz, G.E.L. Castañeda, Q.G. Ávila y C.M. Sosa T. (2007). Trips asociados con el aguacate en México. En: M. Téliz y A. Mora (eds.), pp. 134-153. El aguacate y su manejo integrado. Mundi Prensa México. México. 321 p.
- Journel, A.G. y C.J. Huijbregts (1978). Mining Geostatistics. Academic Press, London, U. K. 600 p.
- Liebholt, A. y A. Sharov (1998). Testing for correlation in the presence of spatial autocorrelation in insect count data. En: Baumgartner, J., Brandmayr, P. y Manly, B.F.J. (eds.), pp. 1-17. Population and community Ecology for insect management and conservation. Balkema, Rotterdam, 435 p.
- Marroquín, P.F.J. (1998). Factores que favorecen la incidencia de la roña *Sphaceloma perseae* Jenk. en el cultivo del aguacate (*Persea americana* Mill.) variedad "Hass" en tres regiones agroclimáticas de Michoacán. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 5: 309-312.
- Moral, G. (2004). Aplicación de la geoestadística en las ciencias ambientales. *Ecosistemas Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente*. ISSN 1697-2473, Número 1.
- Moreno, S., A. Rocha, M.A. Alvarado, M.G. Salgado y E.P. Pinson (2010). Aguacate variedades, cultivo y producción en Nuevo León. Universidad Autónoma de Nuevo León. México. Jiménez editores e impresores.
- Oliver, M. y R. Webster (1991). How geostatistics can help you. Soil use and Management. pp. 206-217.
- Ramírez, J.F. y E. Porcayo (2010). Estudios de la distribución espacial del muérdago enano (*Arceuthobium* sp.) en el Nevado de Toluca, México, utilizando el Método de SADIE. *Madera y Bosques* 34: 93-111.
- Ramírez D., J.F., C.E. Porcayo y J.R. Sánchez P. (2011). Análisis de la distribución espacial de *Bactericera cockerelli* SULC (HEMIPTERA: TRIOZIDAE) en *Solanum tuberosum* L. en Donato Guerra, México. *Boletín del Museo de Entomología de la Universidad del Valle* 12: 12-24.
- Ramírez D., J.F., J.R. Sánchez P., A. González y C. De León (2011). Modelización y generación de mapas del comportamiento espacial de *Sporisorium reilianum* [(Kuhn) Langdon y Fullerton] en Estado de México, México. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCUIYO* 43: 157-173.
- Ramírez D., J.F., V.M. Solares A., D.K. Figueroa F. y J.R. Sánchez P. (2013). Comportamiento espacial de trips (Insecta: THYSANOPTERA), en plantaciones comerciales de aguacate (*Persea americana* mill.) en Zitácuaro, Michoacán, México. *Acta Zoológica Mexicana* 29: 550-556.
- Ramírez D., J.F., R.A. Jiménez C., J.R. Sánchez P., M. Rubí A. y D.K. Figueroa F. (2014). Distribución espacial de *Asclepias curassavica* L. en el Estado de México, México. *Phyton International Journal of Experimental Botany* 83: 193-202.
- Rong, J., L. Dian-Mo, X. Bao-Yu, L. Zhe y M. Dong-Li (2006). Spatial distribution of oriental migratory locust (Orthoptera: Acrididae) egg pod populations: Implications for site-specific pest management. *Environmental Entomology* 35: 1244-1248.
- Rossi, R., J. Mulla, G. Journel y H. Franz (1992). Geostatistical tools for modeling and interpreting ecological spatial dependence. *Ecological Monographs* 62: 277-314.
- Samper, F.J. y J. Carrera (1996). Geoestadística: Aplicaciones a la Hidrología subterránea. 2nd ed. Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería. 484 p.
- Sánchez, P.J.R., E.A.K. Pedraza, C.M. De la Cruz, V.R. Quiñonez y J.F. Ramírez D. (2014) distribución espacial de *Uromyces transversalis* en el cultivo de gladiolo durante el ciclo primavera-verano en la región sureste del estado de México. XVI Congreso Internacional y XLI Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Fitopatología. *Revista Mexicana de Fitopatología* Vol. 32 (Suplemento): 41.
- Sciarretta, A., P. Trematerra y P. Baumgärtner (2001). Geostatistical analysis of *Cydia funebrana* (Lepidoptera: Tortricidae) pheromone trap catches at two spatial scales. *American Entomologist* 47: 174-184.
- Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) (2014). Anuario estadístico de la producción agrícola. SAGARPA. URL: www.siap.gob.mx (Consulta: 25 de Octubre 2014).
- Solares, V., J.F. Ramírez D. y P.J.R. Sánchez (2011). Distribución espacial de trips (Insecta: Thysanoptera) en el cultivo de aguacate (*Persea americana* Mill.) Boletín del Museo de Entomología de la Universidad del Valle 12: 1-12.
- Zúñiga, B., G. Malda y H. Suzán (2005). Interacciones planta-nodriza en *Lophophora diffusa* (Cactaceae) en un desierto subtropical de México. *Biotrópica* 37: 351-356.