



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

ANÁLISIS ESPACIAL DE LAS POBLACIONES DE
BARRENADOR DE LA RAMA (*Copturus aguacatae*) EN EL
CULTIVO DE AGUACATE EN EL ESTADO DE MÉXICO

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE DOCTOR EN
CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

PRESENTA:

ROBERTO RIVERA MARTÍNEZ

COMITÉ DE TUTORES

Dr. José Francisco Ramírez Dávila. Tutor Académico

Dr. Martín Rubí Arriaga. Tutor Adjunto

Dr. Aurelio Domínguez López. Tutor Adjunto



El cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México. Noviembre 2019

RESUMEN

El insecto *Copturus aguacatae* es una plaga importante en el cultivo de aguacate ya que está catalogada como cuarentenaria, lo cual lo hace una plaga de importancia económica. México es el principal productor de aguacate en el mundo y la presencia de *C. aguacatae* dentro de las huertas de aguacate representa una limitante para la exportación del fruto, esto aunado a los daños que causa a los árboles a los cuales en grandes infestaciones les puede ocasionar la muerte. Por lo anterior, es necesario hacer estudios que permitan conocer la ubicación real del insecto dentro del cultivo de aguacate, por lo tanto, el objetivo del trabajo fue desarrollar un análisis espacial de las poblaciones de barrenador de la rama (*Copturus aguacatae*) en el cultivo de aguacate en el Estado de México. El trabajo se llevó a cabo durante los años 2017 y 2018 en 4 municipios (Tenancingo, Coatepec Harinas, Temascaltepec y Donato Guerra) que son los principales productores de aguacate en el Estado de México. Para realizar el análisis espacial de la plaga se utilizó la geoestadística y el SADIE, con la geoestadística se determinó el semivariograma experimental para ajustarse a un modelo teórico (exponencial, esférico o gaussiano) a través de los programas Variowin 2.2, su ajuste se validó con el método de validación cruzada y se obtuvieron los mapas de agregación de la plaga a través del Krigeado con el programa Surfer 9.0. La estabilidad espacio temporal a corto plazo de la plaga se determinó con la prueba de Cramer-von Mises y con el índice de asociación (I_m) de SADIE. Los resultados mostraron que el comportamiento espacial del insecto se da en forma de parches dentro de las huertas de aguacate, los modelos a los que se ajustaron los semivariogramas fueron esféricos, exponenciales y gaussianos, se obtuvo una dependencia espacial alta en todos los muestreos realizados y los mapas de infestación generados mediante la técnica del krigeado ordinario permitieron observar de manera gráfica las zonas específicas en donde se distribuye la plaga, lo cual resulta interesante, ya que así se pueden dirigir las medidas de control sobre áreas específicas de infestación.

Palabras clave: Mapas de infestación, Geoestadística, SADIE, Semivariogramas, Krigeado.

ABSTRACT

The *Copturus aguacatae* insect is an important pest in the avocado crop as it is listed as a quarantine, which makes it a pest of economic importance. Mexico is the main producer of avocado in the world and the presence of *C. aguacatae* within the avocado orchards represents a limitation for the export of the fruit, this coupled with the damage it causes to trees which in large infestations can cause death. Therefore, it is necessary to make studies that allow to know the real location of the insect within the avocado crop, therefore, the objective of the work was to develop a spatial analysis of the borer populations of the branch (*Copturus aguacatae*) in the crop of avocado in the State of Mexico. The work was carried out during the years 2017 and 2018 in 4 municipalities (Tenancingo, Coatepec Harinas, Temacaltepec and Donato Guerra) that are the main avocado producers in the State of Mexico. To perform the spatial analysis of the pest, geostatistics and the SADIE were used, with the geostatistics the experimental semivariogram was determined to fit a theoretical model (exponential, spherical or Gaussian) through the Variowin 2.2 programs, its adjustment was validated with the cross-validation method and pest aggregation maps were obtained through the Krigeado with the Surfer 9.0 program. The short-term temporal space stability of the pest was determined by the Cremer-von Mises test and with the association index (I_m) of SADIE. The results showed that the spatial behavior of the insect is given in the form of patches inside the avocado orchards, the models to which the semivariograms were adjusted were spherical, exponential and Gaussian, a high spatial dependence was obtained in all the samples taken and The infestation maps generated by the ordinary krigeado technique allowed us to graphically observe the specific areas where the pest is distributed, which is interesting, since this way the control measures can be directed on specific infestation areas.

Keywords: Infestation maps, Geostatistics, SADIE, Semivariograms, Kriging.

CONTENIDO

DEDICATORIA.....	i
RESUMEN.....	ii
ABSTRACT.....	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
CONTENIDO.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE TABLAS	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISION DE LA LITERATURA.....	3
2.1 AGUACATE	3
2.1.1 Origen del aguacate.....	3
2.1.2 Clasificación botánica del aguacate	3
2.1.3 Situación del cultivo a nivel mundial	4
2.1.4 Aguacate en México	4
2.1.5 Fases fenológicas del aguacate.....	5
2.1.6 Requerimientos edafoclimáticos del aguacate	6
2.2 PLAGAS CUARENTENARIAS.....	7
2.2.1 <i>Copturus aguacatae</i>	8
2.3 GPS (Sistema de posicionamiento global)	11
2.4 ESTADISTICA ESPACIAL	12
2.4.1 Antecedentes de la geoestadística.....	13
2.4.2 Análisis geoestadístico	16
2.4.3 Nivel de dependencia espacial	26
2.4.4 Elaboración de mapas	27
2.4.5 Geoestadística aplicada a estudios entomologicos	33
2.4.6 Análisis Espacial por Índices de Distancia (SADIE)	35
2.4.7 SADIE aplicado a estudios entomológicos	40
III. JUSTIFICACIÓN.....	42
IV. HIPÓTESIS	43
V. OBJETIVOS.....	44
VI. MATERIALES Y MÉTODOS.....	45

6.1 ZONA DE ESTUDIO	45
6.2 ESTABLECIMIENTO DE LAS PARCELAS Y TOMA DE DATOS	45
6.3 ANÁLISIS ESPACIAL POR ÍNDICES DE DISTANCIA (SADIE).....	46
6.4 ANÁLISIS GEOESTADÍSTICO.....	48
VII. RESULTADOS	53
Comportamiento espacial de las poblaciones de adultos de <i>Copturus aguacatae</i> (Coleoptera: Curculionidae) mediante técnicas geoestadísticas en el cultivo de aguacate	55
Modelización Espacial de <i>Copturus aguacatae</i> (Coleoptera: Curculionidae) en el Cultivo de Aguacate (<i>Persea americana</i> Mill.)	72
Comportamiento espacial de <i>Copturus aguacatae</i> (Coleoptera: Curculionidae) en el cultivo de aguacate (<i>Persea americana</i>) utilizando el método del SADIE	98
VIII. OTROS RESULTADOS.....	117
8.1 ANÁLISIS ESPACIAL POR ÍNDICES DE DISTANCIA (SADIE).....	120
8.2 ANÁLISIS GEOESTADÍSTICO.....	123
8.3 ELABORACIÓN DE MAPAS DE DENSIDAD.....	138
8.4 SUPERFICIE INFESTADA	143
8.5 ESTABILIDAD ESPACIAL Y TEMPORAL.....	146
IX. DISCUSIÓN GENERAL	150
X. CONCLUSIONES.....	156
XI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	158

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo biológico de <i>Copturus aguacatae</i> Kissinger	9
Figura 2. GPS marca Garmin	12
Figura 3. Parámetros del semivariograma: efecto pepita, meseta y rango	21
Figura 4. Semivariogramas teóricos más comunes.....	23
Figura 5. Ilustración del efecto suavizador del Krigado	28
Figura 6. Estimación o Interpolación Espacial (Krigado)	29
Figura 7. Localización de los municipios en los que se llevó acabo el estudio.	45
Figura 8. Etiquetado de árboles y trampas para conteo de <i>C. aguacatae</i>	46
Figura 9. Precipitaciones promedio mensuales en 2017 de las cuatro localidades de la zona de estudio.	117
Figura 10. Precipitaciones promedio mensuales en 2018 de las cuatro localidades de la zona de estudio.	118
Figura 11. Temperaturas promedio mensuales en 2017 de las cuatro localidades de la zona de estudio.	119
Figura 12. Temperaturas promedio mensuales en 2018 de las cuatro localidades de la zona de estudio.	120
Figura 13. Semivariogramas correspondientes al segundo semestre del 2017 en el municipio de Temascaltepec.....	126
Figura 14. Semivariogramas correspondientes al segundo semestre del 2017 en el municipio de Tenancingo.	128
Figura 15. Semivariogramas correspondientes al municipio de Coatepec Harinas para el año 2018.	132
Figura 16. Semivariogramas correspondientes al municipio de Donato Guerra para el año 2018.....	136
Figura 17. Mapas de densidad poblacional de <i>C. aguacatae</i> en el municipio de Temascaltepec en el año 2017.	139
Figura 18. Mapas de densidad poblacional de <i>C. aguacatae</i> en el municipio de Tenancingo en el año 2017.....	140
Figura 19. Mapas de densidad poblacional de <i>C. aguacatae</i> en el municipio de Coatepec Harinas en el año 2018.	141

Figura 20. Mapas de densidad poblacional de *C. aguacatae* en el municipio de Donato Guerra en el año 2018..... 142

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valor de los índices I_a y J_a y sus respectivas probabilidades P_a y Q_a en las poblaciones de <i>Copturus aguacatae</i> en el municipio de Temascaltepec segundo semestre 2017.....	121
Tabla 2. Valor de los índices I_a y J_a y sus respectivas probabilidades P_a y Q_a en las poblaciones de <i>Copturus aguacatae</i> en el municipio de Tenancingo segundo semestre 2017.....	121
Tabla 3. Valor de los índices I_a y J_a y sus respectivas probabilidades P_a y Q_a en las poblaciones de <i>Copturus aguacatae</i> en el municipio de Coatepec Harina en el 2018.	122
Tabla 4. Valor de los índices I_a y J_a y sus respectivas probabilidades P_a y Q_a en las poblaciones de <i>Copturus aguacatae</i> en el municipio de Donato Guerra en el 2018.	123
Tabla 5. Parámetros (Efecto Pepita, Meseta y Rango) de los modelos ajustados a los semivariogramas de las poblaciones de <i>C. aguacatae</i> en el cultivo de aguacate, en el municipio de Temascaltepec para el segundo semestre del año 2017.	124
Tabla 6. Valores de los estadísticos de la validación cruzada de los semivariogramas obtenidos en los muestreos del municipio de Temascaltepec en el segundo semestre del año 2017: media de los errores de estimación (MEE), error cuadrático medio (ECM) y error cuadrático medio adimensional (ECMA). .	125
Tabla 7. Parámetros (Efecto Pepita, Meseta y Rango) de los modelos ajustados a los semivariogramas de las poblaciones de <i>C. aguacatae</i> en el cultivo de aguacate, en el municipio de Tenancingo para el segundo semestre del año 2017.	126
Tabla 8. Valores de los estadísticos de la validación cruzada de los semivariogramas obtenidos en los muestreos del municipio de Tenancingo para el segundo semestre del año 2017: media de los errores de estimación (MEE), error cuadrático medio (ECM) y error cuadrático medio adimensional (ECMA).	127

Tabla 9. Parámetros (Efecto Pepita, Meseta y Rango) de los modelos ajustados a los semivariogramas de las poblaciones de adultos de <i>C. aguacatae</i> en el cultivo de aguacate, en el municipio de Coatepec Harinas para el año 2018.	129
Tabla 10. Valores de los estadísticos de la validación cruzada de los semivariogramas obtenidos en los muestreos del municipio de Coatepec Harinas para el año 2018: media de los errores de estimación (MEE), error cuadrático medio (ECM) y error cuadrático medio adimensional (ECMA).	130
Tabla 11. Parámetros (Efecto Pepita, Meseta y Rango) de los modelos ajustados a los semivariogramas de las poblaciones de adultos de <i>C. aguacatae</i> en el cultivo de aguacate, en el municipio de Donato Guerra para el año 2018.	133
Tabla 12. Valores de los estadísticos de la validación cruzada de los semivariogramas obtenidos de los muestreos en el municipio de Donato Guerra para el año 2018: media de los errores de estimación (MEE), error cuadrático medio (ECM) y error cuadrático medio adimensional (ECMA).	134
Tabla 13. Porcentaje de superficie infestada en el municipio de Temascaltepec en el año 2017.	143
Tabla 14. Porcentaje de superficie infestada en el municipio de Tenancingo en el año 2017.	143
Tabla 15. Porcentaje de superficie infestada en el municipio de Coatepec Harinas en el año 2018.	144
Tabla 16. Porcentaje de superficie infestada en el municipio de Donato Guerra en el año 2018.	145
Tabla 17. Comparación de mapas (Krigado) con la prueba bivariable de Cramér–von Mises (Ψ) para el municipio de Temascaltepec en el año 2017.	146
Tabla 18. Comparación de mapas (Krigado) con la prueba bivariable de Cramér–von Mises (Ψ) para el municipio de Tenancingo en el año 2017.	147
Tabla 19. Comparación de mapas (Krigado) con la prueba bivariable de Cramér–von Mises (Ψ) para el municipio de Coatepec Harinas en el año 2018.	148
Tabla 20. Comparación de mapas (Krigado) con la prueba bivariable de Cramér–von Mises (Ψ) para el municipio de Donato Guerra en el año 2018.	149

I. INTRODUCCIÓN

El aguacate (*Persea americana* Mill) es una de las frutas de mayor importancia en el mundo, debido al gran valor económico que representa, ya que es un fruto muy rentable que genera buenos ingresos a los productores. Desde hace algunos años hasta la actualidad se han ido incrementado las plantaciones de aguacate, con lo cual México se ubica como el principal productor de aguacate a nivel mundial con una producción total de 2,186,376 ton en una superficie sembrada de 231,028 ha, de las cuales solo se cosechan 206,078 ha (SIAP, 2018). Este fruto se cultiva en diferentes entidades del país dentro de los cuales sobresalen los estados de Michoacán, siendo este el principal productor de aguacate a nivel nacional con una producción promedio de 1,668,356 ton después le sigue Jalisco con 202,180 ton y el estado de México se ubica en el tercer lugar con una producción de 105,208 ton (SIAP, 2018).

El estado de México cuenta con 9,978 ha plantadas las cuales representan alrededor del 1.8% de la producción nacional. Los principales municipios productores de aguacate en el estado de México son Coatepec Harinas con 29,390 ton, Donato Guerra con 15,173 ton, Temascaltepec con 12,956 ton y Tenancingo con 9,696 ton (SIAP, 2018). Las proyecciones a futuro de este cultivo indican que tiene una tendencia a incrementar su superficie plantada y por lo tanto, un incremento en el volumen de producción, teniendo una preferencia por el aguacate de la variedad Hass, ya que es la más demandada a nivel mundial (Naamani, 2007).

Una de las plagas más importantes en el cultivo de aguacate es el barrenador de las ramas (*Copturus aguacatae* Kissinger), esto debido a su estatus de plaga cuarentenaria, lo cual limita la exportación de la fruta y por otro lado afecta el buen desarrollo de los árboles provocando daños en las ramas, ocasionando el aborto de flores y frutos y por consiguiente una pérdida económica.

La infestación de este insecto plaga, y la poca eficacia de los agroquímicos en el control de la misma hace importante implementar diferentes alternativas de manejo como lo son la agricultura de precisión, y con base en la información generada aplicar diferentes medidas de control que sean eficaces en el tratamiento de este problema.

Teniendo en cuenta la importancia que representa este insecto, realizar un monitoreo en campo es un procedimiento fundamental en el manejo de la plaga ya que con ello se puede tener información del tipo de hábito y distribución dentro de las parcelas de estudio. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue realizar el análisis espacial de las poblaciones de barrenador de la rama (*Copturus aguacatae*) en el cultivo de aguacate en el Estado de México. Para obtener esta información es necesario establecer puntos de muestreo que generen datos fidedignos con los cuales se podrá visualizar el comportamiento espacial de dicha plaga.

El uso de la estadística espacial (geoestadística y SADIE) en la modelización de plagas sirve para conocer de manera exacta y en tiempo real la distribución espacial de las plagas dentro de un cultivo. Además, una de las ventajas que tienen estas herramientas en comparación con la estadística clásica es que las primeras toman en cuenta datos bidimensionales de los organismos estudiados y por lo tanto, se conoce su ubicación exacta, esto aunado a que también permiten elaborar mapas de distribución espacial de un organismo (Isaaks y Srivastava, 1988; Rossi *et al.*, 1992; Sciarretta *et al.*, 2001; Blom y Fleischer, 2001; Ramírez *et al.*, 2002). Dichos mapas pueden ser de utilidad para conocer porcentajes de infestación y realizar aplicaciones en áreas específicas del cultivo.

II. REVISION DE LA LITERATURA

2.1 AGUACATE

2.1.1 Origen del aguacate

El aguacate (*Persea americana* Mill) pertenece a la familia Lauraceae, es un árbol nativo del continente americano, el cual se originó en México, Centro América hasta Colombia, Venezuela, Ecuador y Perú. Existen registros de restos fósiles de aguacate encontrados en el valle de Tehuacán, Estado de Puebla de alrededor de 8,000 años (Téliz y Marroquín, 2007). Por otro lado, Scora y Bergh (1992) indican que el género *Persea* ya se encontraba en Norteamérica (lo que hoy es la Sierra Nevada de California) durante el Eoceno (35-56 millones de años) lugar que tenía las condiciones apropiadas para el desarrollo de la especie. Tomando en cuenta esto, los autores Liu & Shen, 1998; Wakabayashi y Sawyer, 2001 mencionan que es posible que cuando se formó la Sierra Nevada en el Cenozoico tardío (5-8 millones de años) por adaptación se originaron los primero aguacates modernos en esta área y no en la zona de México, Centroamérica, Venezuela, Ecuador y Perú.

2.1.2 Clasificación botánica del aguacate

Reino: Plantae

Subreino: Tracheobionta

Superdivisión: Spermatophyta

División: Magnoliophyta

Clase: Magnolipsida

Subclase: Magnoliidae

Orden: Laurales

Familia: Lauraceae

Tribu: *Perseae*

Género: *Persea*

Especie: *Persea americana* Mill

Consultado 2019: (<http://plants.usda.gov/core/profile?symbol=PEAM3>)

2.1.3 Situación del cultivo a nivel mundial

A nivel mundial México ocupa el primer lugar en producción de aguacate, ya que aporta alrededor del 31 % de la producción mundial, Chile es el segundo país productor aportando el 9% de la producción mundial. Destacan también República Dominicana e Indonesia como importantes productores (FAO, 2012).

Los principales países importadores de esta fruta son Estados Unidos con 314 mil toneladas, le sigue Francia con 94 mil toneladas, posteriormente están Países bajos, España, Reino Unido y Canadá, en conjunto captan el 36% de las importaciones mundiales, es decir, una tercera parte del total de las mismas. Las importaciones del aguacate en los últimos años han desarrollado un crecimiento acelerado y la demanda del fruto va en aumento (SAGARPA, 2017).

2.1.4 Aguacate en México

En México los principales estados productores son Michoacán, Jalisco y Estado de México (SIAP, 2018). Las exportaciones mundiales de aguacate mexicano se han incrementado en los últimos años por la creciente demanda en algunos países y la apertura comercial. Países industrializados como Estados Unidos de América y Japón han consolidado su demanda por esta fruta, siendo los principales países importadores de aguacate.

El aguacate que predomina en todas las plantaciones es el Hass este fruto fue obtenido por una semilla de una planta guatemalteca en la Habra heights, California, Estados Unidos, por Rudolph Hass y patentado en 1935. Es la principal variedad comercial en el mundo (Téliz *et al.*, 2000), muy desarrollada comercialmente en EUA

y difundida en Israel, Islas Canarias, Sur de España, México y América del Sur. Posee 95% de las características de la raza guatemalteca y solamente el 5% de la raza mexicana. Esta variedad es altamente productiva, puede alcanzar alrededor de 16 toneladas por hectárea. La floración principal ocurre de diciembre a marzo y la cosecha de noviembre a abril. Ocasionalmente presenta una floración entre agosto y octubre, denominada loca por estar fuera del periodo normal. En general se estima que en la variedad Hass, en el período de flor a fruto oscila entre 9 y 14 meses, aumentando con la altura sobre el nivel del mar.

2.1.5 Fases fenológicas del aguacate

- Fase vegetativa

La fase vegetativa del aguacate se esquematiza en cinco estados, de acuerdo con la evolución y desarrollo de las yemas vegetativas (Rodríguez, 1992).

Yema terminal delgada y alargada, Yemas hinchadas, Brotes con 4-5 hojas, Brote juvenil rojo o rosado y Diferenciación de hojas.

- Floración

La inflorescencia en aguacate se lleva a cabo en las ramas de un año de edad y en los brotes del mismo año. Por lo tanto, es de suma importancia realizar una poda adecuada para mantener o cuidar estas ramas secundarias y eliminar únicamente las ramas vegetativas (chuponas).

La floración del aguacate es típicamente lateral, es decir que la yema terminal de la rama se desarrolla en forma vegetativa, aunque este desarrollo será diferente según las variedades. Cada flor abre en dos momentos distintos y separados, es decir los órganos femeninos y masculinos son funcionales en diferentes tiempos. Por esta razón, las variedades se clasifican, con base en el comportamiento de la inflorescencia, en dos tipos A y B. en ambos tipos las flores abren primero como

femeninas, cierran por un periodo fijo y luego abren como masculinas en su segunda apertura (Rodríguez, 1992).

- Fructificación

Cuando termina el proceso de floración ya se ha producido la fecundación y las primeras divisiones celulares que le siguen, en este momento el fruto alcanza el **estado fenológico de “amarre”, de ahí en adelante comienza el proceso** de desarrollo del fruto, el cual culmina con la madurez final del mismo que tiene un tiempo variable. (Rodríguez, 1992).

El fruto pasa por tres fases distintas, las cuales son:

- I. La de multiplicación celular (duración de 10 – 15 días)
- II. El engrosamiento celular (duración variable)
- III. La maduración

- Maduración del fruto

Una vez que se alcanza el volumen natural del fruto, la etapa final del desarrollo consiste en una serie de transformaciones físico-químicas a partir de las cuales culmina el proceso previo a la cosecha del producto, en el ciclo natural este se desprende cayendo y descomponiéndose (Rodríguez, 1992).

2.1.6 Requerimientos edafoclimáticos del aguacate

Se adapta a diversos tipos de suelo, desde los arenosos hasta los compactos, prefiriendo un suelo franco y moderadamente profundo con poca salinidad, ya que el aguacate es muy susceptible al exceso de sodio. El pH óptimo para el desarrollo del aguacate oscila entre 6.0 a 7.5, aunque puede variar según la raza o variedad. Según lo reportado por Benacchio (1982), es indispensable que el terreno tenga un buen drenaje. En cuanto a la precipitación, el aguacate requiere aproximadamente entre 800 y 1000 mm anuales, aunque hay algunas razas que requieren una mayor

cantidad de agua (antillana requiere hasta 2000 mm y la guatemalteca hasta 1500 mm anuales). Las temperaturas óptimas para el desarrollo del aguacate son entre 15 a 30°C, en cuanto a la luz, el aguacate se comporta como una planta de día corto pero requiere mucha insolación y lugares con vientos moderados, ya que podrían provocar caída de flores y afectar la producción (Benacchio, 1982).

2.2 PLAGAS CUARENTENARIAS

En México existen zonas bajo control fitosanitario, y además zonas libres de barrenadores del hueso y de las ramas, las cuales se deberán preservar, se han emitido disposiciones técnicas por las que se establecen regulaciones o medidas fitosanitarias para el manejo integrado de estas plagas cuarentenarias, con la finalidad de incrementar la producción y calidad fitosanitaria del aguacate para el consumo interno y así facilitar su exportación a otros países, lo anterior expuesto se encuentra señalado en la Norma Oficial Mexicana NOM-066-FITO-2002 por la que se establecen especificaciones para el manejo fitosanitario y movilización del aguacate.

El Comité Estatal de Sanidad Vegetal del Estado de México (CESAVEM, 2018) menciona que centro de las plagas de interés cuarentenario en el cultivo del aguacate se encuentran las siguientes:

- Barrenador de ramas del aguacatero: *Copturus aguacatae* Kissinger (Coleoptera: Curculionidae).
- Barrenador grande de la semilla de la semilla del aguacatero: *Helipus lauri* Boheman (Coleoptera: Curculionidae).
- Barrenadores pequeños de la semilla del aguacatero: *Conotrachelus aguacatae* Barber y *Conotrachelus Persea* Barber (Coleoptera: Curculionidae).
- Palomilla barrenadora de la semilla: *Stenoma catenifer* Walsingham (Lepidoptera: Elachistidae).

Estas son las plagas reglamentadas para el aguacate mexicano, las cuales formaron parte de la causa que originó la implementación de la cuarentena impuesta por el gobierno de Estados Unidos de América en 1912 al aguacate mexicano.

2.2.1 *Copturus aguacatae*

- Distribución Geográfica

El barrenador de las ramas de aguacate es una plaga nativa de México y generalmente su presencia se concentra en áreas aguacateras en los estados del centro del país Guanajuato (CESAVEG, 2012), México, Michoacán, Morelos, Oaxaca, Puebla (Hernández-Fuentes *et al.*, 2009; Engstrand *et al.*, 2010), Nayarit (Soto *et al.*, 2013), Nuevo León (Lozano *et al.*, 2015), Colima, Guerrero, Jalisco, Querétaro, Veracruz (Equihua y Estrada, 2008). Aunque este insecto se considera nativo de México, se ha reportado su presencia en países como Nicaragua, Guatemala, El Salvador y Costa Rica (Engstrand *et al.*, 2010; González-Herrera, 2003).

- Taxonomía

Phylum: Arthropoda

Clase: Insecta

Orden: Coleoptera

Suborden: Polyphaga

Superfamilia: Curculionoidea

Familia: Curculionidae

Género: *Copturus*

Especie: *C. aguacatae* Kissinger

- Ciclo biológico y hábitos

Los adultos generalmente son activos en el día y éstos se mueven a través de las ramas, debido a su tamaño y sus movimientos rápidos se dificulta su observación (GIIIA, 2013). Las hembras hacen la oviposición sobre ramas que reciben la luz solar y generalmente son ramas tiernas, aunque también pueden ovipositar en ramas sombreadas (Coria *et al.*, 2007). Para realizar la oviposición la hembra utiliza su aparato bucal con el cual hace un orificio en la rama, deposita el huevo con el ovipositor y posteriormente ayudándose con el aparato bucal introduce el huevo hasta el fondo. La capacidad máxima de oviposición de las hembras es de siete a ocho huevos puestos en grupo (Gudiño y García, 1990; Coria *et al.*, 2007). Cuando los huevos eclosionan y emergen las larvas, éstas perforan la rama, introduciéndose hasta la médula de la misma. Las larvas y pupas se encuentran al interior de la rama (Urías y Salazar, 2008).

El huevo dura aproximadamente 10 días en incubación, las larvas tienen una duración promedio de 128 días, la pupa 21.5 días, el imago 24 días y tomando en cuenta que las hembras empiezan a ovipositar a los 27.4 días de la emergencia, se puede deducir que el ciclo de vida completo es de 215.8 días aproximadamente (Coria *et al.*, 2007). Esta duración del ciclo biológico va a estar muy influenciada por las condiciones climáticas y la altitud.



Figura 1. Ciclo biológico de *Copturus aguacatae* (Kissinger). Fuente CESAVENAY 2013.

- Descripción morfológica

El barrenador de las ramas comprende cuatro estados biológicos: huevo, larva, pupa y adulto.

Los huevos son de forma oval, tienen 0.3 mm de ancho y 0.5 mm de largo y van de un color translucido cuando estos están recién ovipositados y posteriormente agarran una coloración blanco perla.

Las larvas son de tipo curculioniforme y tienen un color blanco lechoso o rosado con la cápsula cefálica y la parte dorsal del primer segmento torácico de color pardo amarillento, siendo las mandíbulas más oscuras, la anchura de la cápsula cefálica varía de 69 a 80 micras y su longitud de 111 a 156 micras (DGSV, 2012). Las larvas pasan por cinco instares, en su primer instar mide 1.2 a 4.9 mm de longitud y en el quinto instar adquiere su máximo tamaño que es 10.9 a 12 mm (Equihua *et al.*, 2007).

Las pupas miden 6.0 a 8.0 mm de largo por 2.0 a 2.5 mm de ancho; presenta una superficie dorsal convexa y la ventral más o menos plana; inicialmente es de color blanco cremoso y posteriormente cambia a color beige claro. La cabeza está cubierta casi totalmente por las manchas oculares (Kissinger, 1957; Equihua *et al.*, 2007).

Los adultos son de forma romboidal de color negro, miden 3.77 a 4.87 mm de largo y 2.00 a 2.25 mm de ancho; élitros rojizos, con pubescencia escasa, no arreglada en un patrón definido, de color blanco o anaranjado. Abdomen densamente cubierto por escamas blanquecinas. Cabeza casi esférica, cubierta en gran parte por los ojos, que son alargados o puntiagudos. El rostrum fuertemente curvado hacia la región ventral; antenas geniculadas y maso antenal grande formada por cuatro segmentos. Los élitros en la región humeral más ancho que la base del protórax, ápices de los élitros ligeramente agudos, con una carina longitudinal definida en los

intervalos 3, 5 y 7, estos intervalos son más prominentes que los otros en los intervalos 4 y 6 (Kissinger, 1957; DGSV, 2012).

- Daños

El daño inicial se da con la oviposición de las hembras en las ramas, ya que éstas remueven la corteza de la rama o tronco para depositar los huevos bajo de ella, este insecto tiene preferencia por las ramas expuestas a los rayos solares y además que sean tiernas, en ramas gruesas las larvas no penetran a más de 2 cm de profundidad. Los daños de la perforación en las ramas se caracterizan inicialmente por puntos blancos de consistencia polvosa y posteriormente por la acumulación de aserrín y savia cristalizada que va de un color crema hasta un café oscuro (Urías y Salazar, 2008). Las larvas barrenan la rama hasta llegar a la médula, impidiendo la circulación de agua y nutrientes, por lo que se ocasiona defoliación, aborto de flores y frutos (González *et al.*, 2000; Equihua *et al.*, 2007). También las ramas afectadas pueden secarse o romperse por el peso del fruto (Gasca, 2000).

2.3 GPS (Sistema de posicionamiento global)

El Sistema de Posicionamiento Global (GPS), diseñado por el departamento de defensa de los Estados Unidos de América con fines militares, se basa en una constelación de 24 satélites que están en órbita alrededor de la tierra a gran altitud. La altura a la que se encuentran los satélites es suficiente como para no presentar los graves inconvenientes de otros sistemas con base en la tierra o con órbita muy baja (Hofmann y Collins, 1994).

Los sistemas GPS (Figura 2) utilizan una tecnología precisa que define posiciones casi exactas en cualquier lugar del mundo durante las 24 horas del día. El sistema calcula la posición de un receptor que se encuentra situado en la tierra midiendo la distancia del mismo a un grupo de satélites. Esta distancia se calcula a partir del tiempo que tarda una señal de radio emitida por un satélite. Aunque pueda parecer que este tipo de localización es muy precisa hay errores asociados a las señales de radio, un método de corrección lo suministra el GPS diferenciales (DGPS) (Weber

y Tiwari, 1995). En este caso se dispone de un receptor GPS ubicado en una posición conocida de la Tierra, de modo que la diferencia entre la posición calculada y la verdadera situación del receptor es lo que permite conocer la corrección que debe hacerse y esta se transmite a otros receptores GPS cercanos (hasta 100Km.). El uso de DGPS obliga, al menos inicialmente, a disponer de una antena base fija que será a partir de la cual se recibirán las correcciones diferenciales. Otro método de recibir correcciones diferenciales es a través de empresas que las transmiten, este es el caso en España de Radio Nacional que transmite las correcciones diferenciales en frecuencia modulada (sistema RASANT).

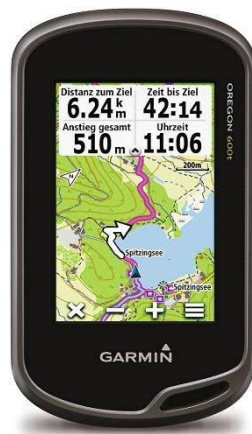


Figura 2. GPS marca Garmin

2.4 ESTADISTICA ESPACIAL

La estadística espacial es la reunión de un conjunto de metodologías apropiadas para el análisis de datos que corresponden a la medición de variables aleatorias en diversos sitios (puntos en el espacio o agregaciones espaciales) de una región. Las técnicas de análisis de la estadística espacial son relativamente recientes y forman parte de una rama de investigación muy activa y que está siendo aplicada no sólo

en la minería, donde surgió, sino también en muchos otros campos y muy diversos: hidrología, geología, silvicultura, meteorología, edafología, ingeniería forestal, epidemiología, climatología, industrias petrolíferas, ciencias ambientales, experimentos agrícolas, topografía, cartografía, etc.

La ventaja que tiene la estadística espacial sobre la estadística clásica en el estudio de distribuciones espaciales es que esta última no toma en cuenta la naturaleza bidimensional de los datos, por lo que solo se basa en distribuciones estadísticas e índices de dispersión y no muestra la localización exacta de la muestra. Estos métodos en ocasiones fallan al diferenciar patrones espaciales diferentes y sus descripciones de los patrones espaciales son altamente dependientes del tamaño de las unidades de muestreo y de la relación entre la media y la varianza (Sawyer, 1989; Hurlbert, 1990). A causa de estos problemas y la disponibilidad de paquetes estadísticos apropiados, se ha incrementado el interés en el uso de distintas ramas de la estadística espacial. Una de las ramas más frecuentemente utilizada es la geoestadística que tiene la ventaja de caracterizar la distribución espacial en un espectro de escalas y direcciones múltiples, además de ser independientes de la relación entre la media y la varianza. Otra de las ventajas del uso de los métodos geoestadísticos es que permiten elaborar mapas de la distribución espacial de un microorganismo los cuales son de gran utilidad (Isaaks y Srivastava, 1988; Oliver y Webster, 1991; Rossi *et al.*, 1992; Liebhold *et al.*, 1993; Midgarden *et al.*, 1993; Wallace y Hawkins, 1994; Brenner *et al.*, 1998; Estrada, 1998; Liebhold y Sharov, 1998; Speight, *et al.*, 1998; Sciarretta *et al.*, 2001 y Blom y Fleisher, 2001).

Una herramienta fundamental para poder llevar acabo el uso de la geoestadística son los sistemas de posicionamiento global, descrito anteriormente.

2.4.1 Antecedentes de la geoestadística

Matheron (1962) padre de la Geoestadística en su forma actual, la **definió como “la aplicación del formalismo de las funciones aleatorias al reconocimiento y estimación**

de fenómenos naturales”. La función aleatoria se puede visualizar como una variable aleatoria definida en todos los puntos del espacio, o lo que es igual, cada realización de la función aleatoria es una función espacial. Según Journel (1986), el **concepto de función aleatoria es la “piedra angular” de la** geoestadística. Menciona que este concepto hay que entenderlo más como un modelo que como un ente con una significación física.

La geoestadística nace como una herramienta para resolver problemas prácticos en ingeniería de minas (Matheron, 1962). Como antecedentes suelen citarse los trabajos de Sichel (1947 y 1949) y Krige (1951). El primero observó la naturaleza asimétrica de la distribución del contenido de oro en las minas sudafricanas, la equiparó a una distribución log normal y desarrolló las fórmulas básicas para esta distribución. Ello permitía una primera estimación de las reservas, pero suponía implícitamente que los datos eran independientes, en clara contradicción con la **experiencia de que existen “zonas” más ricas que otras. Una primera aproximación** a la solución de este problema fue dada por Krige que propuso una variante del método de medias móviles que pueden considerarse equivalente al del kriging simple que, como se describirá más adelante en material y métodos, es uno de los métodos básicos de interpolación lineal. Sin embargo, la formulación rigurosa de la teoría vino de la mano de Matheron, en 1962, y su grupo en la escuela de minas de Paris (Samper y Carrera, 1996).

Desde la minería, las técnicas geoestadísticas se han exportado a otros muchos campos y, como técnica parece haber alcanzado su madurez. De hecho, en la actualidad, los ámbitos de aplicación de la geoestadística abarcan la minería, la industria petrolífera, la geología, la meteorología, climatología, la cartografía de suelos y edafología, la hidrología y geohidrología, la silvicultura, la ecología, la patología vegetal, la epidemiología, la entomología, las ciencias ambientales, la remediación de suelos contaminados y la salud pública (Chilés y Delfiner, 1999).

La interpretación probabilística de una variable regionalizada $z(x)$ como realización de una función aleatoria $Z(x)$ tiene sentido operativo sólo si es posible inferir, al menos en parte, la función de distribución o ley de probabilidad de $Z(x)$. En general, no es posible la inferencia estadística a partir de una sola realización, de la misma manera que no es posible reconstituir la función de distribución de una variable aleatoria a partir de una sola observación. Para hacer posible la inferencia estadística, se hace imprescindible introducir hipótesis adicionales acerca de $Z(x)$ para poder reducir el número de parámetros de los que depende la función de distribución. Estas hipótesis tienen que ver con la homogeneidad espacial de la función aleatoria. Por ejemplo, suponer que la función aleatoria es estacionaria puede pensarse como equivalente a que la función aleatoria se repite en el espacio y esta repetición proporciona la información equivalente a muchas realizaciones de la misma función aleatoria, permitiendo de esta forma la posibilidad de la inferencia estadística (Oliver y Webster, 1991).

A este mismo aspecto se refieren Goovaerts (1997) y Houlding (2000), al decir que las funciones aleatorias tienen distribuciones multidimensionales, por lo que hay que establecer una hipótesis sobre las características de estas distribuciones. Se introduce la hipótesis de estacionalidad, suponer estacionalidad es importante para poder tratar los datos en diferentes puntos como si fueran realizaciones diferentes de la propiedad. Estacionalidad significa que la función de distribución del proceso aleatorio tiene características que son iguales en todos los puntos (primer y segundo momento). Esta hipótesis supone que la media es constante en todos los puntos (estacionalidad de primer orden), que la varianza es finita y constante en todos los puntos (estacionalidad de segundo orden) y que la covarianza tan sólo depende de la separación (h) entre dos puntos y no de su posición absoluta.

Por otro lado, con el objeto de facilitar la inferencia estadística de una función aleatoria $Z(x)$ suele ser conveniente introducir la hipótesis de ergodicidad. En su forma más general, se dice que un proceso es ergódico si se pueden determinar

todos sus estadísticos a partir de una sola de sus realizaciones. Por ejemplo, si la función aleatoria $Z(x)$ es una propiedad de un acuífero, cada realización de la función aleatoria puede interpretarse como un acuífero distinto. Por tanto, el conocimiento de la esperanza matemática $E[Z(x_0)]$, o de cualquier otro estadístico de Z , requeriría conocer el valor de dicha propiedad en el punto x_0 en cada uno de los distintos acuíferos. En la práctica, sólo se puede disponer de información en un único acuífero (una sola realización). La hipótesis de ergodicidad surge como una forma de soslayar esta dificultad ya que la estimación de los estadísticos de Z , puede expresarse como la media de los valores observados en un único acuífero (Samper y Carrera, 1996; Rivoirard *et al.*, 2000).

2.4.2 Análisis geoestadístico

La geoestadística es una rama de la estadística que trata fenómenos espaciales (Journel y Huijbregts, 1978). Su interés primordial es la estimación, predicción y simulación de dichos fenómenos (Myers, 1987). Esta herramienta ofrece una manera de describir la continuidad espacial, que es un rasgo distintivo esencial de muchos fenómenos naturales y proporciona adaptaciones de las técnicas clásicas de regresión para tomar ventajas de esta continuidad (Isaaks y Srivastava, 1989). Petitgas (1996), la define como una aplicación de la teoría de probabilidades a la estimación estadística de variables espaciales.

Los métodos geoestadísticos describen la autocorrelación espacial entre datos muestreados y la usa en varios tipos de modelos espaciales. La auto correlación espacial puede ser analizada usando variogramas (semivariogramas), correlogramas y funciones de covarianza. En el presente trabajo se utilizaron para este fin únicamente semivariogramas. Los pasos del análisis geoestadístico son los siguientes:

a) Estimación del semivariograma

Considérese una función aleatoria $Z(x)$ definida en R_n . Para cualquiera k puntos x_1, x_2, \dots, x_k , el vector aleatorio $[Z(x_1), Z(x_2), \dots, Z(x_k)]$ se caracteriza por su función de distribución k -variable.

$$F_{x_1, x_2, \dots, x_k}(z_1, z_2, \dots, z_k) = \Pr \{ Z(x_1) \leq z_1, Z(x_2) \leq z_2, \dots, Z(x_k) \leq z_k \} \quad (1)$$

El conjunto de todas estas distribuciones para todo valor de k y para cualquier selección de puntos en R_n **constituye la "ley espacial de probabilidad" de la función aleatoria $Z(x)$** . En Geoestadística lineal son suficientes los dos primeros momentos de la distribución de $Z(x)$. De hecho, en la mayoría de las aplicaciones prácticas la información disponible no permite inferir momentos de mayor orden.

El momento de primer orden es la esperanza matemática definida como:

$$E[Z(x)] = m(x) \quad (2)$$

Aunque la función $m(x)$ se conoce con los nombres de deriva y tendencia, algunos autores prefieren la utilización del término deriva.

Los tres momentos de segundo orden considerados en Geoestadística son:

La varianza o momento de segundo orden de $Z(x)$ respecto a $m(x)$:

$$\sigma^2 = \text{Var}[Z(x)] = E\{[Z(x) - m(x)]^2\} \quad (3)$$

En general, $\text{Var}[Z(x)]$ es una función de x .

b) La covarianza de dos variables aleatorias $Z(x_i)$ y $Z(x_j)$, $C(x_i, x_j)$, definida

$$\text{como: } C(x_i, x_j) = E\{[Z(x_i) - m(x_i)][Z(x_j) - m(x_j)]\} \quad (4)$$

Es en general una función de x_i y x_j . Esta función se llama a veces función de auto covarianza.

c) El Semivariograma $\gamma(x_i, x_j)$ que se define como:

$$\gamma(x_i, x_j) = \frac{1}{2} E\{[Z(x_i) - Z(x_j)]^2\} \quad (5)$$

El variograma es por tanto $2\gamma(x_i, x_j)$. Sin embargo, hay autores que usan indistintamente ambos términos para referirse a la **función $\gamma(x_i, x_j)$** (Chilés y Delfiner, 1999).

Es importante hacer notar que tanto la varianza como el semivariograma son siempre positivos mientras que la covarianza puede adoptar valores negativos (Mcbratney y Pringle, 1999).

Se dice que una función aleatoria es estrictamente estacionaria si su función de distribución (1) es invariante respecto a cualquier traslación de vector h , o lo que es lo mismo, la función de distribución del vector aleatorio $[Z(x_1), Z(x_2), \dots, Z(x_k)]$ es idéntica a la del vector $[Z(x_1+h), Z(x_2+h), \dots, Z(x_k+h)]$ para cualquier h . Sin embargo, puesto que la geoestadística lineal se basa en los dos primeros momentos de la función aleatoria, es suficiente suponer que estos dos momentos existen y limitan la hipótesis de estacionariedad a los dos primeros momentos. Se dice que una función aleatoria $Z(x)$ es estacionaria de orden 2 o de segundo orden si:

$E[Z(x)]$ existe y no depende de x , es decir,

$$E[Z(x)] = m \text{ para todo } x \quad (6)$$

b) Para toda pareja de variables aleatorias $\{Z(x+h), Z(x)\}$ su covarianza existe y sólo depende del vector separación h , es decir,

$$C(x+h, x) = E[Z(x+h)Z(x)] - m^2 = C(h) \quad (7)$$

La estacionariedad de la covarianza implica que la varianza $\text{Var}[Z(x)]$ existe, es finita y no depende de x , es decir, $\text{Var}[Z(x)] = C(0)$. Asimismo, bajo esta hipótesis el semivariograma también es estacionario y se cumple que:

$$\gamma(x+h, x) = \gamma(h) = \frac{1}{2} E\{[Z(x+h) - Z(x)]^2\} \quad (8)$$

Dado que h es un vector y γ una función escalar, en general γ puede depender tanto de la magnitud $h = |h|$ como de la orientación $u = h/h$. Es decir, $\gamma(h)$ puede ser anisótropa. Sin embargo, en la mayoría de los casos el número de datos no es suficiente para estimar esta anisotropía y se suele hacer la hipótesis de suponer que γ es independiente de la orientación de h y tomarlo como isótropo (Houlding, 2000).

Podría considerarse que el semivariograma es repetitivo, redundante e innecesario ya que mide la variabilidad espacial del fenómeno de forma similar a la más conocida función de covarianza. Efectivamente, cuando la función aleatoria es estacionaria, la relación entre el semivariograma y la covarianza es inmediata, ya que de acuerdo con (8) se cumple

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} E\{[Z(x+h) - m - Z(x) + m]^2\} = \frac{1}{2} \{E[Z(x+h) - m]^2 + E[Z(x) - m]^2 - 2E[Z(x+h) - m](Z(x) - m)\} = \text{Var}(Z) - E[(Z(x+h) - m)(Z(x) - m)] \quad (9)$$

y puesto que de (7) se deduce que

$$C(h) = E[Z(x+h) - m][Z(x) - m] \quad (10)$$

Se obtiene finalmente

$$\gamma(h) = \text{Var}(z) - C(h) \quad (11)$$

Es decir, bajo la hipótesis de estacionariedad el semivariograma resulta ser igual a la varianza menos la covarianza, por lo que la equivalencia es total. Sin embargo, cuando la media varía **“lentamente” de forma que en la escala local se puede suponer constante** (aunque desconocida), el semivariograma es independiente del valor local de dicha media, mientras que la auto covarianza requiere su estimación. Esto introduce un sesgo en el cálculo de la función de auto covarianza (Anderson, 1971). En este sentido, $\gamma(h)$ es un estadístico más conveniente que $C(h)$, para aquellas funciones cuya media varía lentamente (Isaaks y Srivastava, 1988).

El denominado semivariograma experimental se estimó con base a los datos recolectados en los distintos muestreos de la población de adultos de *C. aguacatae* en cada parcela experimental, el valor experimental del semivariograma se calculó con la siguiente expresión (Journel y Huijbregts, 1978; Isaaks y Srivastava, 1988):

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i + h) - z(x_i)]^2 \quad (12)$$

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 y $z(x_i+h)$ es el valor de la variable de interés en el punto muestral x_i+h . Cabe notar que esta expresión es consecuencia inmediata de (8) si se tiene en cuenta que, en términos de valores esperados:

$$E\left\{\frac{1}{N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i + h) - Z(x_i)]^2\right\} = E\{[Z(x) - Z(x+h)]^2\} \quad (13)$$

Cabe resaltar que el número de pares de puntos muestrales separados por el intervalo de distancia h disminuye al aumentar la distancia h . Si bien esto no tiene porqué ser así siempre, es común que el número de parejas se reduzca a partir de una cierta distancia.

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"), el efecto pepita 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 (Figura 3).

Para la realización del semivariograma experimental correspondiente a cada muestreo y a cada parcela experimental se utilizó el programa Variowin 2.2 (Software for Spatial Data Analysis in 2D. Spring Verlag, New York. USA.).

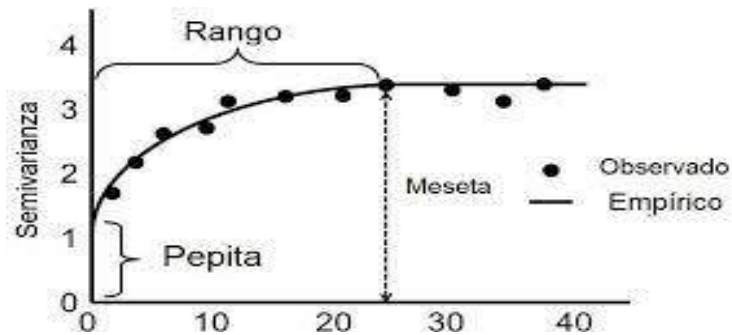


Figura 3. Parámetros del semivariograma: efecto pepita, meseta y rango

b) Estimación de los parámetros del modelo del semivariograma

Una vez que se estimó el correspondiente semivariograma experimental para cada muestreo de las poblaciones de adultos de *C. aguacatae* en cada parcela correspondiente, este se ajustó a algún semivariograma teórico. Los semivariogramas teóricos no son más que funciones con una expresión analítica sencilla y que, por ello se emplean frecuentemente para representar semivariogramas reales. Debe indicarse, sin embargo, que en general sus expresiones no se han deducido a partir de ninguna hipótesis especial, ni pretenden representar procesos específicos. En este sentido, los modelos teóricos de semivariograma no son realmente teóricos y este apelativo debe entenderse como acuñado por la práctica y no como un calificativo estricto (Englund y Sparks, 1988). Los modelos de semivariograma deben de cumplir ciertas condiciones:

1) De la definición de semivariograma se deduce que $\gamma(h)$ ha de ser idénticamente nulo en el origen, es decir:

$$\gamma(0) = 0 \quad (14)$$

Esto no tiene graves implicaciones prácticas, ya que, como se permiten discontinuidades, la condición (14) se obvia fácilmente imponiendo las definiciones analíticas para $h > 0$ (Armstrong y Jabin, 1981).

2) $\gamma(h)$ es una función “condicionalmente negativa definida”, o bien, $-\gamma(h)$ es “condicionalmente positiva definida”. Es decir, para todo conjunto x_1, \dots, x_n de puntos arbitrarios y para todo conjunto $\lambda_1, \dots, \lambda_n$ de coeficientes que satisfacen $\sum_{i=1}^n \lambda_i = 0$ ha

$$\text{de cumplirse que: } \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_i \lambda_j \gamma(x_i - x_j) \leq 0 \quad (15)$$

Esta condición se deduce del hecho de que la variable Y ,

$$Y = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (16)$$

ha de tener varianza positiva, es decir:

$$\text{Var}(Y) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_i \lambda_j C(x_i - x_j) \geq 0 \quad (17)$$

Sustituyendo (11) en (17), esta condición es equivalente a:

$$\text{Var}(Y) = \text{Var}(Z) \sum_{i=1}^n \lambda_i \sum_{j=1}^n \lambda_j - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_i \lambda_j \gamma(x_i - x_j) \geq 0 \quad (18)$$

Pero como:

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 0$$

(Condición que se impone precisamente para evitar los casos en que $\text{Var}(Z)$ no esté definida), resulta (15).

3) Como consecuencia de la propiedad anterior, se puede demostrar que el semivariograma debe tener un ritmo de crecimiento inferior a h^2 (Journel y

$$\text{Huijbregts, 1978), es decir: } \lim_{h \rightarrow \infty} \frac{\gamma(h)}{h^2} = 0 \quad (19)$$

Cuando el semivariograma experimental no satisface esta condición, hay que plantearse la posibilidad de que no satisfaga la condición de estacionariedad (Goovaerts, 1997).

Cuando se habla de modelos de semivariograma, se refiere a una serie de funciones de las que se sabe que satisfacen las condiciones anteriores. Estas funciones son las utilizadas en la práctica para ajustar los semivariogramas experimentales, ya que estos últimos pueden no satisfacerlas y son más incómodos para trabajar con ellos. Los modelos teóricos más comunes son los presentados en la Figura 4.

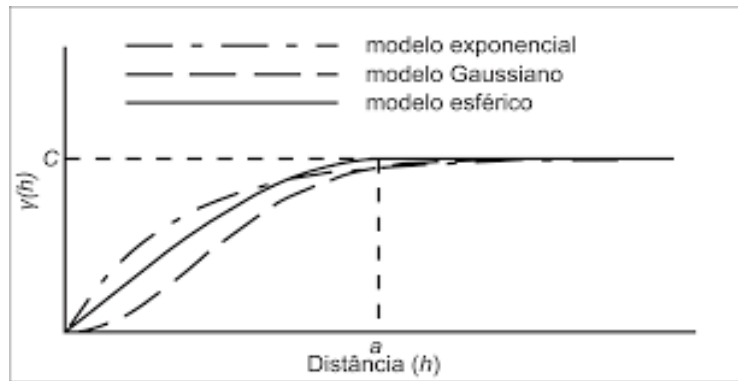


Figura 4. Semivariogramas teóricos más comunes

Modelo esférico. Su ecuación está dada por: (20)

$$\begin{aligned} \gamma(h) &= C_0 + C \left[1.5 \left(\frac{h}{a} \right) - 0.5 \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right] && \text{si } h \leq a \\ \gamma(h) &= C_0 + C && \text{si } h > a \end{aligned}$$

Donde: C_0 es el efecto pepita; $C_0 + C$ es la meseta y a representa el rango o alcance. Sus características, pues son el alcance y la meseta. Es uno de los más empleados en la práctica, cuando se presenta una distribución espacial en agregados. Se caracteriza porque alcanza la meseta para una distancia finita ($h=a$). Es indicativo de fenómenos continuos (o con un conjunto a lo sumo numerable de

discontinuidades), aunque no derivables. Es decir, fenómenos cuya representación puede presentar quiebros. Es decir, aparecen tanto fluctuaciones de pequeña amplitud, pero gran frecuencia como de amplitud grande y frecuencia baja. Respecto a estas últimas, cabe notar que las amplitudes máximas están relacionadas con el valor de la meseta, o mejor, con su raíz cuadrada. Análogamente el período máximo (inverso de la frecuencia) será tanto mayor cuanto mayor sea el alcance.

Modelo exponencial. Viene dado por:

$$\gamma(h) = C_0 + C(1 - e^{-\frac{h}{a}}) \quad (21)$$

donde: $C_0 + C$ es la meseta y a representa el rango o alcance.

Por lo tanto, alcanza su meseta de forma asintótica:

$$Meseta = \lim_{h \rightarrow \infty} C_0 + C(1 - e^{-\frac{h}{a}}) = C_0 + C \quad (22)$$

Este modelo es utilizado en casos de una distribución espacial en agregados. También, al igual que el modelo esférico, el semivariograma exponencial es representativo de fenómenos continuos salvo en un conjunto de puntos (en una dimensión), líneas (en dos dimensiones) o planos (en tres dimensiones).

Modelo Gaussiano. También alcanza su meseta asintóticamente. Es utilizado cuando la distribución espacial es en agregados. Este modelo se emplea para **representar fenómenos “suaves”, es decir, continuos en todos los puntos y derivables** en la mayoría.

Los otros modelos tienen las siguientes características generales:

Efecto pepita puro. Este modelo es indicativo de un fenómeno sin ningún auto correlación espacial. No es común emplearlo solo, sino en combinación con algún otro. Este modelo se utiliza cuando existe una distribución espacial al azar.

Efecto agujero. Es indicativo de fenómenos con componentes periódicos o casi periódicos.

Modelos monómicos: Se emplean para representar fenómenos no estacionarios (Samper y Carrera, 1996).

Para ajustar los correspondientes semivariogramas experimentales a los semivariogramas teóricos de cada muestreo y parcela experimental se utilizó el programa Variowin 2.2. (Software for Spatial Data Analysis in 2D. Spring Verlag, New York. USA.).

c) Validación

Una vez que los semivariogramas experimentales fueron ajustados a alguno de los modelos descritos fue necesario validarlos. La validación de los diferentes modelos ajustados a los semivariogramas experimentales se realizó con el procedimiento denominado validación cruzada (Isaaks y Srivastava, 1989).

Este método ha sido ampliamente utilizado para evaluar el grado de bondad de un modelo de semivariograma y reconocido como un método óptimo de estimación de sus parámetros. La operación de validar un semivariograma teórico ajustado a uno experimental siempre toma mucho tiempo, éste se considera como el último de los pasos importantes del análisis de variabilidad, debido a que una vez obtenido este resultado será utilizado en la estimación por krigeado en cualquiera de sus variantes.

Este proceso se efectúa sucesivamente en todos los puntos muestrales y las diferencias entre los valores experimentales y los estimados se resumen mediante los denominados estadísticos de validación cruzada (Isaaks y Srivastava, 1989; Hevesi *et al.*, 1992). Los parámetros del modelo a validar (C_0 , C y a) se van modificando en un procedimiento de prueba y error hasta la obtención de estadísticos de validación cruzada adecuados.

Estos estadísticos son los siguientes:

Media de los errores de estimación (MEE)

$$MEE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [z^*(x_i) - z(x_i)] \quad (23)$$

Donde: $z^*(x_i)$ es el valor estimado de la variable de interés en el punto x_i ; $z(x_i)$ es el valor medio de la variable de interés en el punto x_i y n es el número de puntos muestrales utilizado en la interpolación

Error cuadrático medio (ECM)

$$ECM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [z^*(x_i) - z(x_i)]^2 \quad (24)$$

Un modelo de semivariograma se considera adecuado si, como regla práctica, el ECM es menor que la varianza de los valores maestres (Hevesi *et al.*, 1992).

Error cuadrático medio adimensional (ECMA)

$$ECMA = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{[z^*(x_i) - z(x_i)]^2}{\sigma_k} \quad (25)$$

Donde: σ_k es la desviación estándar del error esperado en la estimación del Krigado. La validez del modelo se satisface si ECMA está comprendido entre los valores $1+2(2/N)^{0.5}$.

Además, **se debe cumplir que la varianza de los errores de estimación debe ser \leq** que la varianza muestral (Samper y Carrera, 1996).

2.4.3 Nivel de dependencia espacial

Para conocer el grado de relación entre los datos correspondientes resulta importante establecer el nivel de dependencia espacial. Este valor se obtiene al dividir el efecto pepita entre la meseta y expresando el resultado en porcentaje. Si

el resultado es menor de 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 del 76% el nivel de dependencia es bajo (Cambardella *et al.*, 1994).

2.4.4 Elaboración de mapas

Una vez que los modelos de los semivariogramas correspondientes fueron validados se empleó el método geoestadístico denominado krigado para la elaboración de los mapas de densidad. El krigado es un método de interpolación que permite la estima insesgada de puntos no muestreados. La Figura 5 muestra el efecto suavizador de las estimaciones del krigado.

Etimológicamente la palabra krigado procede del nombre de un geólogo sudafricano, D. G. Krige, cuyo trabajo sobre la estimación de reservas de oro de los depósitos de Witwatersrand (Krige, 1951) suele considerarse como precursor del método. El objetivo de la utilización de este método es obtener una estimación $Z^*(x)$, de $Z(x)$, como una combinación lineal de los valores medidos Z_i en los puntos de observación X_i . Y obtener, además, la varianza del error de estimación. Por ser lineal, el estimador tiene la siguiente forma:

$$Z^* = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z_i \quad (26)$$

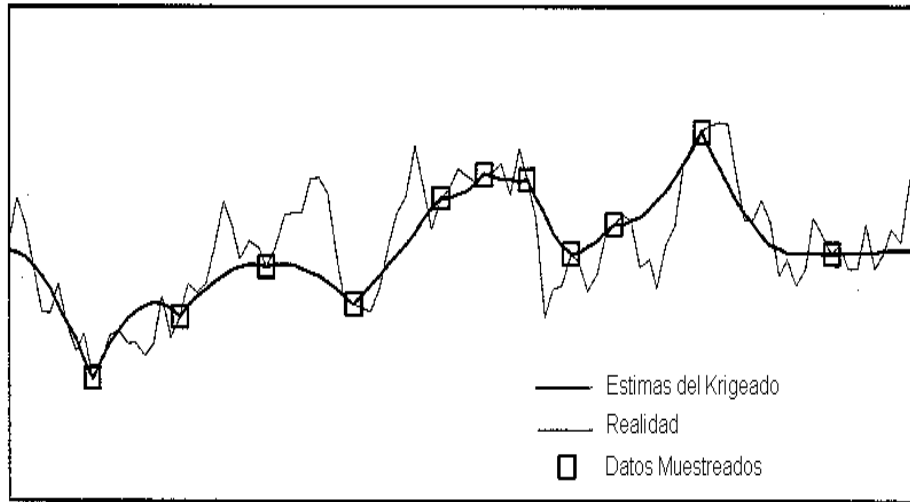
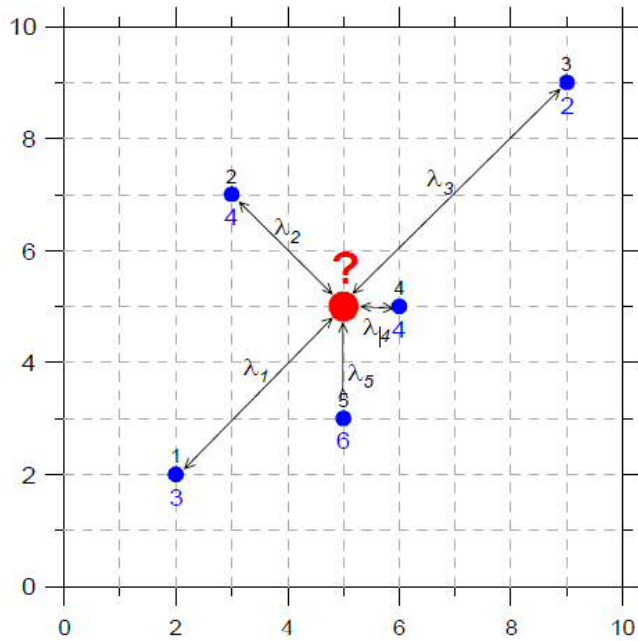


Figura 5. Ilustración del efecto suavizador del Krigeado

Los parámetros λ_i se denominan coeficientes de ponderación o coeficientes de krigeado. Z^* debe ser insesgado, es decir, $E(Z^* - Z) = 0$, por lo que suponiendo que Z es estacionaria la varianza del error de estimación es:

$$\begin{aligned}
 \text{Var}(Z^* - Z) &= E[(Z^* - Z)^2] = \\
 &= E\left[\left(\sum_i \lambda_i Z_i\right)\left(\sum_j \lambda_j Z_j\right)\right] - 2E\left[\sum_i \lambda_i Z_i Z\right] + E[Z^2] = \\
 &= \sum_i \sum_j \lambda_i \lambda_j E(Z_i Z_j) - 2\sum_i \lambda_i E(Z_i Z) + E(Z^2) \quad (27)
 \end{aligned}$$



$$Z^* = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z_i$$

⇒ λ_i = ?

Figura 6. Estimación o Interpolación Espacial (Krigado)

Si se conocen $E(Z_i Z_j)$, $E(Z_i, Z)$ y $E(Z_2)$, lo cual es posible si se conoce el semivariograma o bien la función de covarianza, entonces basta obtener λ_i ($i=1 \dots n$, número de puntos de observación), para que Z_i^* y su varianza queden perfectamente determinados. Los coeficientes λ_i se obtienen imponiendo que la varianza de estimación sea mínima. Esto da lugar a un sistema lineal de ecuaciones que se conoce con el nombre de ecuaciones de krigado. Bajo distintas hipótesis hay varios tipos de krigado a continuación se describen sus características distintivas.

1. Krigado Simple: Se utiliza cuando la variable es estacionaria con media y covarianza conocidas.
2. Krigado Ordinario: Se utiliza cuando la variable es estacionaria con covarianza conocida y media desconocida.

3. Kriging con una Deriva: Cuando la media no es constante dentro de un área limitada.

4. Kriging por Bloques: Resuelve el problema de la estimación del valor promedio de una variable sobre un dominio (bloques) a partir de medidas puntuales o promediadas de la misma (Chilés y Delfiner, 1999).

Linealidad

$$Z^* = \sum_i \lambda_i Z_i \quad (28)$$

Sesgo nulo

$$E(Z^*) = E(Z), \text{ equivalente a } \sum_i \lambda_i = 1 \quad (29)$$

Varianza mínima

$$E[(Z^* - Z)^2] \text{ es mínimo} \quad (30)$$

Desarrollando esta última expresión se obtiene:

$$\begin{aligned} E[(Z^* - Z)^2] &= E[(\sum_i \lambda_i Z_i - Z)^2] = E[(\sum_i \lambda_i Z_i - \sum_i \lambda_i Z)^2] = \\ &= E[(\sum_i \lambda_i (Z_i - Z))^2] = \\ &= E\left[\sum_i \lambda_i (Z_i - Z) \sum_j \lambda_j (Z_j - Z)\right] = \\ &= \sum_i \sum_j \lambda_i \lambda_j E[(Z_i - Z)(Z_j - Z)] \quad (31) \end{aligned}$$

Este último término se puede obtener a partir de la definición del semivariograma:

$$\begin{aligned} \gamma(x_i - x_j) &= \frac{1}{2} E[(Z_i - Z_j)^2] \\ &= \frac{1}{2} E\{[(Z_i - Z) - (Z_j - Z)]^2\} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{1}{2} E[(Z_i - Z)^2] + \frac{1}{2} E[(Z_j - Z)^2] - E[(Z_i - Z)(Z_j - Z)] \\
&= \gamma(x_i - x) + \gamma(x_j - x) - E[(Z_i - Z)(Z_j - Z)] \quad (32)
\end{aligned}$$

A partir de (32) se obtiene el valor esperado que aparece en la última línea de (31). Sustituyéndolo se obtiene:

$$E[(Z^* - Z)^2] = -\sum_i \sum_j \lambda_i \lambda_j \gamma(x_i - x_j) + \sum_i \sum_j \lambda_i \lambda_j \gamma(x_i - x) + \sum_i \sum_j \lambda_i \lambda_j \gamma(x_j - x) \quad (33)$$

Sacando factor común a $\sum \lambda_i$ y $\sum \lambda_j$, que valen uno, en los dos últimos sumandos de (33), y teniendo en cuenta que

$$\sum_i \lambda_i \gamma(x_i - x) = \sum_j \lambda_j \gamma(x_j - x)$$

ya que i y j son índices de referencia, resulta la siguiente expresión de la varianza de estimación:

$$E[(Z^* - Z)^2] = -\sum_i \sum_j \lambda_i \lambda_j \gamma(x_i - x_j) + 2 \sum_i \lambda_i \gamma(x_i - x) \quad (34)$$

Para la minimización se emplea el método de los multiplicadores de Lagrange, que conduce a la siguiente función objetivo

$$\zeta(\lambda_i, \mu) = \frac{1}{2} E[(Z^* - Z)^2] - \mu (\sum_i \lambda_i - 1) \quad (35)$$

que hay que minimizar con respecto a λ_i y μ . Para ello se igualan a cero las derivadas parciales de (34) con respecto a los λ_i y a μ , lo que conduce al siguiente sistema lineal de (n+1) ecuaciones:

$$\sum_j \lambda_j \gamma(x_i - x_j) + \mu = \gamma(x_i - x) \quad i = 1, \dots, n$$

$$\sum_j \lambda_j = 1 \quad (36)$$

En forma matricial, este sistema tiene la siguiente expresión:

$$\begin{pmatrix} 0 & \gamma_{12} & \gamma_{13} & \dots & \gamma_{1n} & 1 \\ \gamma_{21} & 0 & \gamma_{23} & \dots & \gamma_{2n} & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots \\ \gamma_{n1} & \gamma_{n2} & \gamma_{n3} & \dots & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & \dots & 1 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \vdots \\ \lambda_n \\ \mu \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \gamma_1 \\ \gamma_2 \\ \vdots \\ \gamma_n \\ 1 \end{pmatrix} \quad (37)$$

donde

$$\gamma_{ij} = \gamma(x_i - x_j) \quad \text{y} \quad \gamma_i = \gamma(x_i - x)$$

Si $\gamma(h)$ es condicionalmente definida positiva, la matriz del sistema es siempre regular y siempre existe solución.

La varianza del error de estimación, también llamada varianza del krigado, se obtiene teniendo en cuenta que, al ser $E(Z^* - Z) = 0$,

$$\sigma_k^2 = \text{Var}(Z^* - Z) = E[(Z^* - Z)^2] \quad (38)$$

de donde se deduce, tras sustituir la primera línea de (36) en (34),

$$\text{Var}(Z^* - Z) = \sum_i \lambda_i \gamma(x_i - x) + \mu \quad (39)$$

Esta la formulación más común del método del krigado. Tras resolver (36), se obtiene Z^* mediante (28) y la varianza de su error de estimación mediante (39) (Wackernagel, 1998 y Webster y Oliver, 2001).

Una de las ventajas del krigado sobre la mayoría de los interpoladores es la forma en que tiene en cuenta la distribución de los datos. Parece razonable exigir a cualquier estimador que asignase pesos máximos a los puntos situados más cerca y que estos fuesen disminuyendo a medida que aumenta la distancia entre puntos de estimación y datos. Igualmente, parece razonable exigir que, si dos puntos están muy próximos, sus pesos sean menores que si están alejados. En el método del krigado no es preciso exigir estas propiedades porque se cumplen de forma

natural. En este método de interpolación el error de estimación es mínimo y no sesgado. Es importante notar que la minimización del error se hace sobre la base de que se conoce el semivariograma con exactitud, sin embargo, la estimación del semivariograma es no sólo un proceso difícil, sino que no cuantificable. El krigado es un estimador exacto, esto es, si se trata de estimar Z en un punto de observación, el resultado será el valor medido con incertidumbre nula. Las ecuaciones de krigado no dependen de los valores medidos de las variables, sino solamente de sus posiciones y del semivariograma. La técnica del krigado permite además la posibilidad de obtener mapas de la distribución espacial de los organismos estudiados, los cuales, a su vez, tienen amplias utilidades (Samper y Carrera, 1996). Los mapas de distribución espacial pueden ser de utilidad en la agricultura de precisión con el objeto de dirigir las medidas de control sobre áreas específicas de infestación o zonas donde se rebase el umbral de daño económico por parte de un insecto plaga (Fleischer *et al.*, 1999).

2.4.5 Geoestadística aplicada a estudios entomológicos

Las condiciones que determinan la distribución y abundancia de los insectos plaga en el campo son muy variadas y tienen relación con factores intrínsecos y extrínsecos, en la mayoría de los casos, estos cambios son el resultado de la acción del hombre, ya que se puede llegar a alterar las condiciones del cultivo (Taylor y Woiwod, 1980).

El control de insectos plaga es muy importante en el manejo de los cultivos, esto desde el ámbito ecológico y económico (Castela *et al.*, 1999; Mazza *et al.*, 1996; Hall *et al.*, 1997; Ramírez *et al.*, 2008). Para poder realizar un control adecuado de las plagas se debe tener el conocimiento de su distribución espacial dentro de las zonas productoras y de los factores que pueden llegar a alterar la distribución y la presencia de insectos plaga en un cultivo, como lo son: la fecundación de las hembras, los enemigos naturales, la competencia, las condiciones climáticas, las

enfermedades, la dispersión y migración y la calidad del alimento (Taylor *et al.*, 1983).

La aplicación de la geoestadística para cuantificar patrones espaciales ha sido de gran utilidad en estudios entomológicos. A continuación, se citan algunos trabajos de investigación en los cuales se utilizaron las herramientas geoestadísticas con el fin de analizar la distribución espacial de insectos que son plagas en la agricultura.

Ribes *et al.* (1998) estudiaron la distribución espacial de *Cydia pomonella*, donde presentaron mapas de infestación de la plaga en una región de España los cuales fueron de gran importancia para establecer métodos de control efectivos de dicha plaga, Brandhorst-Hubbard *et al.* (2001), elaboraron mapas de distribución espacial de las poblaciones de invertebrados del suelo, muestreados por métodos acústicos y por conteo directo en excavaciones, para ello elaboraron semivariogramas para las especies de invertebrados del suelo (la mayoría de ellos eran Coleópteros) y utilizaron la técnica del krigeado para obtener las estimaciones de la población de estos organismos, necesarias para elaborar los mapas correspondientes, Sciarretta *et al.* (2008) realizaron un estudio cuyo objetivo fue investigar la dinámica espacio temporal de *Lobesia botrana*, en viñedos y encontraron que los correlogramas de la plaga se ajustaron a modelos esféricos y obtuvieron mapas de la distribución espacial de la plaga dentro de los viñedos, Ramírez *et al.* (2011) realizaron un trabajo que tuvo por objetivo comparar la distribución espacial en campo, a través de la generación de mapas, de los estadíos preimaginales y adultos de *Bactericera cockerelli* obtenidos en transectos y cuadrantes en un cultivo de papa utilizando herramientas geoestadísticas. Las técnicas geoestadísticas permitieron modelar la distribución espacial de las poblaciones de preimaginales (huevos y ninfas) y adultos del insecto, que fue de tipo agregada, tanto en el muestreo por transectos como en el de cuadrantes. Los mapas tanto en el muestreo de cuadrantes como de transectos reflejaron la estructura agregada de las poblaciones del insecto el cual no invadió el 100% de la superficie de la parcela, permitiendo identificar áreas

infestadas y libres de infestación. Duarte *et al.* (2015) analizaron la distribución espacial de *Grapholita molesta* (Busk) y encontraron una distribución agregada ajustándose a modelos esféricos, gaussianos y exponenciales y también generaron mapas de distribución espacial de la plaga.

2.4.6 Análisis Espacial por Índices de Distancia (SADIE)

La metodología llamada SADIE (Análisis Espacial por Índices de Distancia) ha sido desarrollada por el Dr. Joe N. Perry del Dpto. de Entomología y Nematología de Rothamsted Experimental Station (Reino Unido). SADIE identifica el modelo espacial para datos bidimensionales, con un índice asociado de la agregación y de una prueba para la desviación de la aleatoriedad basada en un algoritmo de atracción, el cual incorpora un modelo biológico para la dispersión de individuos de un origen en el que a cada individuo se le asigna un territorio dinámico (Perry, 1995; Perry *et al.*, 1996). Con este método se hace uso de los datos concernientes a cada muestreo y no hay restricción en la ubicación de las unidades muestrales.

Esta metodología (SADIE) es una herramienta para el análisis de datos espacialmente explícitos en una o dos dimensiones (ej. transectos y superficies) basada en índices de distancia, y aunque ha sido específicamente diseñada para el análisis de conteos (p. ej. Número de insectos por planta), SADIE puede utilizarse además con datos binarios y variables ordinales y continuas previamente categorizadas. Entre las principales virtudes de SADIE se encuentran su simplicidad de uso para realizar todos los análisis, su sencilla base matemática, la utilización de pruebas estadísticas para evaluar la significación de los patrones espaciales observados y la posibilidad de representar visualmente los resultados obtenidos con su aplicación, lo que facilita enormemente su interpretación. Otras características de interés de SADIE son el hecho de que tiene en cuenta la localización espacial de los datos, éstos no necesitan seguir ninguna distribución determinada y los resultados obtenidos están condicionados únicamente por la heterogeneidad presente en los datos. Utilizando una serie de índices de distancia, SADIE permite

caracterizar el patrón espacial de una variable dada dentro de la zona de estudio (distinguiendo fundamentalmente tres tipos de patrón espacial: agregado, regular o aleatorio) y estimar la contribución de cada punto de muestreo al patrón espacial global. SADIE también permite evaluar estadísticamente los patrones de asociación/disociación espacial de dos variables en la zona de estudio, siempre que los datos de ambas hayan sido tomados en las mismas coordenadas, y generar índices de asociación/disociación local para cada punto de muestreo que pueden ser representados gráficamente mediante mapas (Maestre y Quero, 2008)

Las técnicas del SADIE se desarrollaron específicamente para realizar análisis espaciales de datos de poblaciones ecológicas agregadas, especialmente de datos recolectados en lugares con referencia espacial, los cuales tienen un patrón dinámico y desigual, donde frecuentemente hay una alta proporción de valores cero en el muestreo y la abundancia puede tener una estructura de covarianza no estacionaria (caso que no contempla la geoestadística). Perry *et al.* (1999) han extendido estos métodos para proporcionar un índice de agregación para cada una de las unidades muestrales, para medir el grado en el cual contribuye cada observación por unidad de muestreo a la agregación total. Además, los grupos se identifican separadamente, ya sea como anexos o como apartados. Estas técnicas también han sido utilizadas para proporcionar índices y pruebas de asociación espacial (Perry, 1998).

El objetivo de SADIE es establecer el modelo espacial de una población muestreada midiendo la distancia a la cual pueden desplazarse los individuos de la muestra observada. Perry y Hewitt (1991) desarrollaron un índice que utilizaba los datos colectados dentro de una cuadrícula ya preestablecida antes del muestreo, determinando que era un índice biológicamente más descriptivo e informativo de la distribución espacial de las poblaciones de insectos que el índice de dispersión, el cual depende directamente de la abundancia de la población. Perry (1995) indicó que para datos recolectados en ubicaciones específicas el uso de la distancia para

la regularidad es muy adecuado. El demostró cómo distinguir no aleatoriedad en la forma de heterogeneidad estadística, de la no aleatoriedad espacial. Perry (1995) desarrolló y extendió el uso del índice de la distancia para la regularidad (I_a) para el establecimiento de la estructura espacial de las poblaciones de insectos. Además, introdujo dos diagramas de diagnóstico como ayuda a la interpretación y un índice nuevo para estimar el número de focos de agrupamiento de una población, el índice J_a . Además, señaló que la escala de muestreo es un determinante importante del patrón espacial total. Alston (1996) corroboró que la distancia para la regularidad (D) proporciona bases más adecuadas para elaborar un índice, ya que el índice de agrupamiento desarrollado por Perry y Hewitt (1991) tiene serias limitaciones para detectar múltiples grupos, amontonamientos o parches.

- Análisis del patrón espacial de variables individuales

A grandes rasgos, una variable determinada puede tener fundamentalmente tres tipos de patrón espacial: agregado, regular o aleatorio. Utilizando una serie de índices de distancia, y apoyándose de forma importante en representaciones gráficas, SADIE permite caracterizar el patrón espacial de una variable dada dentro de la zona de estudio, así como estimar la contribución de cada punto de muestreo al patrón espacial global. En este apartado se presenta de una forma sucinta la base matemática subyacente al cálculo de los principales índices, un aspecto que es importante conocer para poder interpretar de forma adecuada los resultados producidos por SADIE, así como para evaluar las ventajas e inconvenientes de esta técnica.

- Índices I_a y J_a

En el presente trabajo se utilizó el índice basado en la distancia para la regularidad I_a y el índice J_a , basado en la distancia del agrupamiento Perry (1995) para establecer el modelo de distribución de las poblaciones de *C. aguacatae* en cada una de las parcelas experimentales.

- Estimación de los índices I_α y J_α

Los datos recolectados en una cuadrícula prediseñada (conformada por unidades de muestreo), se asumen como un sistema de conteo de individuos, donde $i = 1, \dots, n$ unidades de muestreo. Se asume además por ser conocidas la posición bidimensional (x_i, y_i) de cada unidad de muestreo y su conteo asociado, N_i . La distancia para la regularidad, D , es el valor mínimo de la distancia total que los individuos en la muestra pueden haberse movido, de una unidad de muestreo a otra, de modo que todas las unidades de muestreo contuvieran un número idéntico de individuos. La solución se refiere a la manera óptima en la cual los individuos se moverían desde cada unidad de muestreo con un conteo inicial más grande que la media, a otras unidades de muestreo con un conteo inicial más pequeño que la media. Los conteos observados se permutan aleatoriamente entre las unidades de muestreo, de modo que la muestra que resulta sea un cambio o reajuste simple de la original, entonces P_α (probabilidad de agregación) representa la proporción de muestras seleccionadas al azar con distancia para la regularidad tan grande como, o más grande que, el valor observado, D . Intuitivamente, con un valor grande de D podría esperarse que estuviera implicado un agregamiento o un agrupamiento, por ejemplo, un patrón espacial heterogéneo, e inversamente, un valor pequeño de D implicaría una regularidad, por ejemplo, un patrón espacial uniforme. Un valor de P_α derivado de un número suficientemente grande de aleatorizaciones proporciona una prueba formal de aleatoriedad; la hipótesis nula de aleatoriedad espacial se puede rechazar, si $P_\alpha < 0.025$ (en favor de una hipótesis alternativa de agregación), o si $P_\alpha > 0.975$ (en favor de la alternativa de regularidad) dando el usual 5% de probabilidad de rechazar la hipótesis nula cuando es verdad. Si la distancia media aritmética para la regularidad de las muestras aleatorias se denota como E_α , entonces el índice de agregación, denominado I_α , está definido como $I_\alpha = D/E_\alpha$. Usualmente, se dice que una muestra es agregada si $I_\alpha > 1$, la muestra es espacialmente aleatoria si $I_\alpha = 1$, y

la muestra es regular si $I_a < 1$. Un número total de 2000 aleatorizaciones son suficientes para derivar los valores de los índices correspondientes.

El término C denota la distancia para el agrupamiento, que es el valor mínimo de la distancia total que los individuos de la muestra deben moverse para congregarse en una unidad. Este valor se encuentra más pronto que D , usando una búsqueda directa simple sobre todas las unidades de muestreo; la unidad de muestreo con el **valor mínimo se le denomina como el “foco” del agrupamiento. Permutaciones** aleatorias de los conteos observados conducen a una proporción denominada Q_a (probabilidad de agrupamiento), con una distancia para el agrupamiento tan pequeña, o más pequeña que el valor observado, C . Intuitivamente, para datos que comprenden un agrupamiento individual, un valor pequeño de C denotaría un patrón espacial agregado; inversamente un valor alto de C implicaría un patrón espacial regular. Análogamente, la hipótesis nula de aleatoriedad puede ser rechazada si $Q_a < 0.025$ (en favor de la alternativa de agregación) o si $Q_a > 0.975$ (a favor de la alternativa de regularidad), y si la distancia media para el agrupamiento para muestras aleatorias se denota como F_a , entonces el índice de agregación J_a , se define como $J_a = F_a/C$.

Como en el caso del índice I_a , valores de $J_a > 1$ usualmente indican una muestra agregada, $J_a = 1$ representan datos espacialmente aleatorios y $J_a < 1$ muestras regulares. De esta manera, los valores del índice J_a sirven para corroborar los resultados obtenidos con el índice I_a . Además, este índice se utiliza para discriminar entre patrones espaciales donde hay un único agrupamiento importante para el cual sus valores son significativamente mayores que la unidad, y en donde hay dos o más agrupamientos para los cuales su valor no es significativamente diferente de la unidad o incluso menor que ella. Para determinar la significación con respecto a la unidad se utiliza su probabilidad respectiva (Q_a) (Perry, 1998). Los valores de I_a y J_a para conteos aleatorios no están correlacionados, por lo que se pueden utilizar

también 2000 aleatorizaciones en el software empleado para obtener sus respectivos valores.

El programa utilizado en este trabajo para determinar los valores y las probabilidades de ambos índices fue el SADIE 1.22 (programa cedido por el Dr. Perry).

2.4.7 SADIE aplicado a estudios entomológicos

Actualmente, esta metodología se utiliza con éxito en el análisis de la distribución espacial de insectos plaga de importancia económica. Perry y Klukowski, 1997; Winder *et al.*, 1999; Holland *et al.*, 2000 en diferentes estudios indican haber encontrado distribuciones agregadas y que las distribuciones espaciales entre muestras consecutivas estuvieron fuerte y positivamente asociadas, lo que indica una estabilidad de los focos de localización en escalas de tiempo corto. Finalmente, mencionaron que identificar las causas fundamentales de la distribución de las poblaciones de insectos tiene implicaciones importantes en el manejo de hábitat, para aumentar las poblaciones de depredadores benéficos y para regular las aplicaciones de insecticidas dentro de la agricultura de precisión y con ello disminuir sus efectos adversos.

Ferguson *et al.* (2001) investigaron la distribución espacio-temporal de los adultos de *Ceutorhynchus assimilis* Payk. (Coleoptera: Curculionidae) capturados en una malla rectangular de trampas aéreas en un cultivo de ajonjolí. La distribución de los adultos de este insecto la compararon con la de sus larvas y con la de su parasitoide *Trichomalus perfectus* (Walker) (Hymenoptera: Pteromalidae). Los autores hallaron que la distribución de los adultos de *C. assimilis* que inmigraron fue consistente en su llegada a las fronteras del cultivo y en el movimiento dentro del cultivo hacia su centro. Detectaron que los adultos de *C. assimilis* estuvieron agregados todo el tiempo, iniciando la invasión en dos frentes, dirigidos a la formación de dos grupos mayores dentro del cultivo. Mencionan además que grandes áreas del cultivo

permanecieron relativamente sin población de este insecto. Los autores encontraron que la distribución de los adultos y de las larvas de *C. assimilis* y de las larvas de su parasitoide *T. perfectus* estuvieron espacialmente asociadas. Por otro lado, detectaron que la distribución del parasitoide no mostró una densidad dependiente con la de su hospedero.

Thomas *et al.* (2001) estudiaron la agregación y la estabilidad temporal de las distribuciones de escarabajos de la Familia Carabidae en campos de cultivo y en un hábitat de setos. Estos autores utilizaron el análisis espacial por índices de distancia (SADIE) para obtener los índices de agregación y determinar a diferentes tiempos la distribución de las especies de escarabajos. Hallaron que cada especie estuvo agregada la mayor parte del tiempo, pero las especies se distribuyeron en parches dentro del campo de cultivo y/o el hábitat de setos con extensiones diferentes y variables, además encontraron que las distribuciones espaciales entre muestras consecutivas estuvieron fuerte y positivamente asociadas, lo que indica una estabilidad de los focos de localización en escalas de tiempo corto.

Pérez *et al.* (2010) realizaron el estudio de la dinámica espacial de los adultos del gusano blanco *Premnotrypes vorax* en dos cultivos comerciales de papa durante 18 semanas durante estos periodos registraron el número de adultos capturados semanalmente en 25 trampas de caída dispuestas en un diseño en cuadrícula. Utilizando SADIE se determinaron: Los patrones y estabilidad temporal de la distribución espacial de los adultos y la asociación espacial entre la distribución de los adultos y la distribución de la incidencia de daño en tubérculos. Los análisis sugieren una distribución agregada de los adultos en la mayoría de las fechas evaluadas y una estructura espacial temporalmente estable. Estos resultados sugirieron fue posible utilizar estrategias de control dirigidas hacia los focos específicos de infestación.

III. JUSTIFICACIÓN

México aporta 3 de cada 10 toneladas de aguacate que se producen en el mundo; lo cual lo coloca como el país exportador del fruto número uno, nuestro país supera el millón 316 mil 104 toneladas anuales exportadas. El Estado de México cuenta con 9,978 hectáreas plantadas las cuales representan el 4.2% del total (SIAP, 2018). Este cultivo es un producto de alto valor nutritivo y de importancia tradicional en la dieta mexicana, así como para el mercado de exportación ya que es una fuente de ingreso de divisas para el país (Santacruz, 2004). En las regiones productoras del Estado de México, el aguacate es afectado por diversos problemas fitosanitarios que intervienen en su desarrollo. Una de las plagas más importantes económicamente es el barrenador del tronco y ramas *Copturus aguacatae* Kissinger, el cual es un problema importante económicamente por los daños que causa en sí y por estar catalogada como plaga de interés cuarentenario de acuerdo con la NOM-066- FITO-2002 y de manera específica en el plan de trabajo para exportar aguacate de México a E.U.A., la cual establece que los huertos de aguacate deben de estar libres de esta plaga (Aguirre, 2010). La infestación de este insecto plaga hace importante implementar actividades y estudios que permitan conocer la distribución del insecto en el cultivo de aguacate, por lo que este trabajo pretende, realizar el análisis espacial del barrenador de la rama (*Copturus aguacatae*) en el cultivo de aguacate en el Estado de México, este estudio será de gran utilidad ya que la información se podrá representar gráficamente mediante mapas de infestación los cuales permitirán efectuar un análisis sobre la situación de la plaga dentro del cultivo y de esta manera apoyar en la toma de decisiones para dar recomendaciones y establecer un manejo integrado de la plaga que se aplique de manera oportuna, eficaz y pertinente y solamente en las zonas en las que se tenga la presencia del insecto.

IV. HIPÓTESIS

Las poblaciones de barrenador de la rama en el cultivo de aguacate presentarán un comportamiento espacial agregado, con lo cual se podrán elaborar mapas de incidencia y así mismo establecer medidas de control focalizadas.

V. OBJETIVOS

GENERAL

- Desarrollar un análisis espacial de las poblaciones de barrenador de la rama (*Copturus aguacatae*) en el cultivo de aguacate en el Estado de México.

ESPECÍFICOS

- Elaborar mapas de la distribución espacial del barrenador de la rama mediante la técnica del Krigado.
- Establecer el porcentaje de superficie infestada de barrenador de la rama.
- Determinar la existencia de una estabilidad espacio temporal a corto plazo de las poblaciones de barrenador de la rama en el cultivo de aguacate.

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 ZONA DE ESTUDIO

El estudio se llevó a cabo en la franja aguacatera del Estado de México, dentro de la cual se tomaron cuatro municipios: Coatepec Harinas, Tenancingo, Temascaltepec y Donato Guerra.

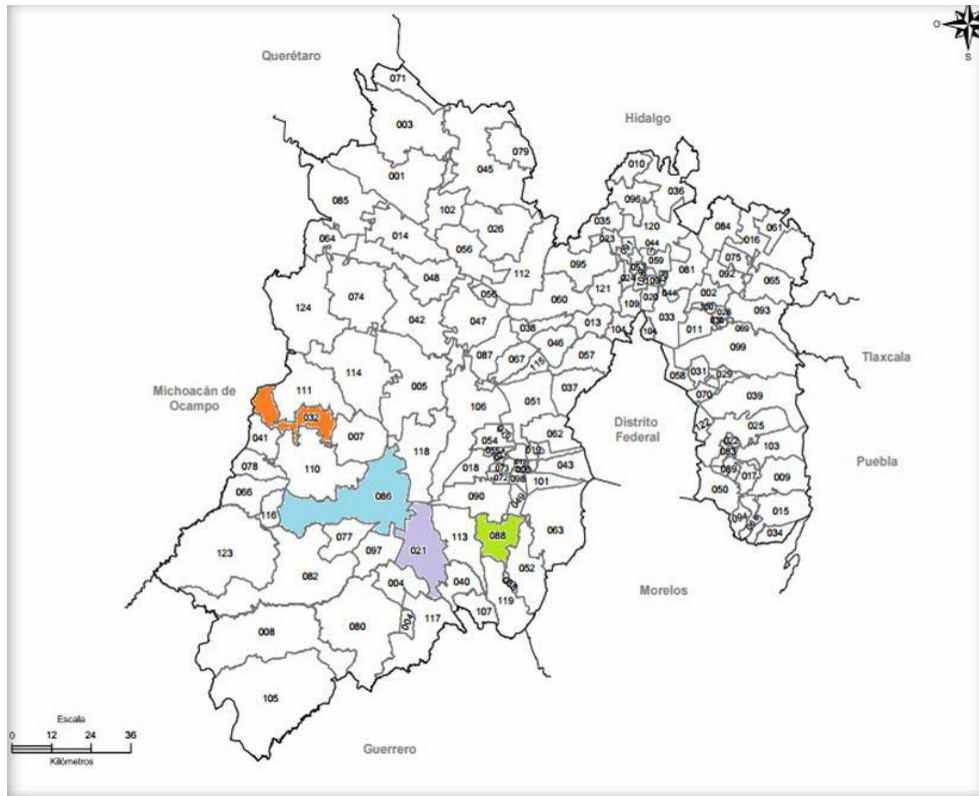


Figura 7. Localización de los municipios en los que se llevó a cabo el estudio.

6.2 ESTABLECIMIENTO DE LAS PARCELAS Y TOMA DE DATOS

Para la realización de este estudio se consideraron 200 árboles distribuidos aleatoriamente en una zona productora de cada municipio, para el muestreo se seleccionaron únicamente árboles de la variedad Hass, se verificó que existiera la presencia de la plaga en las parcelas establecidas y que el manejo agronómico de

las huertas de aguacate fuera de manera similar, es decir, que no se aplicaran agroquímicos. Cada árbol muestreado fue etiquetado y georreferenciado utilizando un DGPS (Sistema de Posicionamiento Global Diferencial). Para realizar los muestreos de los adultos de *C. aguacatae* se colocaron bandas plásticas de color azul (Gasca-Corona y Equihua-Martínez, 1999) provistas con un adhesivo llamado spider plus, se colocó una banda plástica en los tres estratos del árbol (estrato bajo, medio y alto) por cada punto cardinal teniendo un total de 12 trampas por árbol, se contabilizó el número de adultos capturados y se colgaron más bandas para el siguiente muestreo, los muestreos se realizaron cada 15 días, dando un total de 24 muestreos por municipio.

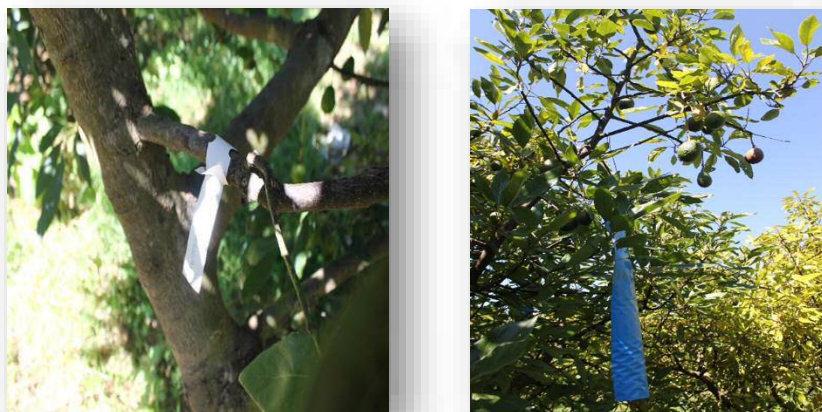


Figura 8. Etiquetado de árboles y trampas para conteo de *C. aguacatae*.

6.3 ANÁLISIS ESPACIAL POR ÍNDICES DE DISTANCIA (SADIE)

SADIE ha sido desarrollada por el Dr. Joe N. Perry del Dpto. de Entomología y Nematología de Rothamsted Experimental Station (Reino Unido). El objetivo de SADIE es establecer el modelo espacial de una población muestreada midiendo la distancia a la cual pueden desplazarse los individuos de la muestra observada. Esta herramienta identifica el modelo espacial para datos bidimensionales, con un índice asociado de la agregación y de una prueba para la desviación de la aleatoriedad basada en un algoritmo de atracción, el cual incorpora un modelo biológico para la

dispersión de individuos de un origen en el que a cada individuo se le asigna un territorio dinámico. Perry (1995) desarrolló y extendió el uso del índice de la distancia para la regularidad (I_a) para el establecimiento de la estructura espacial de las poblaciones de insectos. Además, introdujo dos diagramas de diagnóstico como ayuda a la interpretación y un índice nuevo para estimar el número de focos de agrupamiento de una población, el índice J_a .

- Estimación de los índices I_a y J_a

En la presente investigación se utilizó el índice basado en la distancia para la regularidad I_a y el índice J_a , basado en la distancia del agrupamiento para establecer el modelo de distribución de las poblaciones de adultos de *C. aguacatae* en todas las parcelas en donde se llevó a cabo el muestreo.

En el caso del índice I_a usualmente, se dice que una muestra es agregada si $I_a > 1$, la muestra es espacialmente aleatoria si $I_a = 1$, y la muestra es regular si $I_a < 1$. Un número total de 2000 aleatorizaciones son suficientes para derivar los valores de los índices correspondientes. Para el índice J_a tiene valores similares al índice I_a , es decir, $J_a > 1$ usualmente indican una muestra agregada, $J_a = 1$ representan datos espacialmente aleatorios y $J_a < 1$ muestras regulares. De esta manera, los valores del índice J_a sirven para corroborar los resultados obtenidos con el índice I_a . Además, este índice se utiliza para discriminar entre patrones espaciales donde hay un único agrupamiento importante para el cual sus valores son significativamente mayores que la unidad, y en donde hay dos o más agrupamientos para los cuales su valor no es significativamente diferente de la unidad o incluso menor que ella. Para determinar la significación con respecto a la unidad se utiliza su probabilidad respectiva (Q_a) (Perry, 1998 y Perry y Dixon, 2002).

Se realizó una regresión simple entre el valor medio de las poblaciones de *C. aguacatae* y los valores respectivos de I_a y J_a de los muestreos realizados en cada fecha, con el objeto de establecer si existía o no una relación significativa entre ellos.

6.4 ANÁLISIS GEOESTADÍSTICO

El análisis geoestadístico consta de los siguientes pasos:

- Estimación del semivariograma experimental.

Se obtiene el semivariograma experimental a partir de los datos recolectados en campo en cada uno de los muestreos de las poblaciones de adultos de *C. aguacatae*. El valor experimental del semivariograma se calculó con la siguiente fórmula:

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

(Journel y Huijbregts, 1978; Isaaks y Srivastava, 1989):

Dónde: $\gamma^*(h)$ 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 y $z(x_i+h)$ es el valor de la variable de interés en el punto muestral x_i+h

Para la realización del semivariograma experimental correspondiente a cada muestreo de las zonas experimentales se empleará el programa Variowin 2.2 (Software for Spatial Data Analysis in 2D. Spring Verlag, New York. USA.) y el WinGslib 2002.

- Estimación de los parámetros del modelo del semivariograma

Una vez que se obtiene el semivariograma experimental se realizó su ajuste a un semivariograma teórico (esférico, exponencial, gaussiano, etc.). Los semivariogramas teóricos no son más que funciones con una expresión analítica sencilla y que, por ello, se emplean frecuentemente para representar semivariogramas reales (Englund y Sparks, 1988).

Para ajustar los correspondientes semivariogramas experimentales a los semivariogramas teóricos de los muestreos en cada parcela experimental se empleará el software Variowin 2.0

- Validación del modelo teórico

La validación de los diferentes modelos ajustados a los semivariogramas **experimentales se realizó con el procedimiento denominado “validación cruzada”** (Isaaks y Srivastava, 1989). Con este procedimiento no paramétrico, se elimina un valor muestral y se emplea el método de interpolación geoestadístico denominado krigado, junto con el modelo de semivariograma a validar, para estimar el valor de la variable de interés en dicho punto muestral, a partir de los restantes valores muestrales. Los parámetros del modelo a validar (*Co*, *efecto pepita*, *C meseta* y *a*, *rango o alcance*), se van modificando en un procedimiento de prueba y error hasta la obtención de estadísticos de validación cruzada adecuados. Esos estadísticos son los siguientes:

- a) Media de los errores de estimación (MEE)

$$MEE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [z^*(x_i) - z(x_i)]$$

Donde: $z^*(x_i)$ es el valor estimado de la variable de interés en el punto x_i ; $z(x_i)$ es el valor medido de la variable de interés en el punto x_i y n es el número de puntos muestrales utilizado en la interpolación.

El MEE no debe ser significativamente distinto de 0 (test t), en cuyo caso, indicaría que el modelo de semivariograma permite el cálculo de estimas no sesgadas.

- b) Error cuadrático medio (ECM).

$$ECM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [z^*(x_i) - z(x_i)]^2$$

Un modelo de semivariograma se considera adecuado si, como regla práctica, el ECM es menor que la varianza de los valores muestrales (Hevesi *et al.*, 1992).

c) Error cuadrático medio adimensional (ECMA).

$$ECMA = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{[z^*(x_i) - z(x_i)]^2}{\sigma_k}$$

Donde: σ_k es la desviación standar del error esperado en la estimación con el kriging.

La validez del modelo se satisface si ECMA está comprendido entre los valores $1 \pm 2(2/N)^{0.5}$.

d) Además se debe cumplir que la varianza de los errores de estimación debe de ser \leq que la varianza muestral (Samper y Carrera, 1996 y López-Granados *et al.*, 2002).

Una vez validados los modelos se realizará una regresión simple entre el número de trips cada parcela zona de muestreo y su correspondiente valor del efecto pepita, para observar si existe o no una relación significativa entre ellos.

- Nivel de dependencia espacial

La determinación del grado de relación entre los datos o nivel de dependencia espacial se obtiene al dividir el efecto pepita entre la meseta y expresando en porcentaje el resultado. Si el resultado es menor de 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 del 76% el nivel de dependencia es bajo (Cambardella *et al.*, 1994 y López-Granados *et al.*, 2002).

- Elaboración de mapas

Para la elaboración de los mapas se empleó el método geoestadístico llamado kriging, el cual es un método de interpolación que permite la estima no sesgada de puntos no muestreados.

El kriging es un estimador exacto, esto es, si se trata de estimar Z en un punto de observación. El resultado será el valor medido con incertidumbre nula. Las ecuaciones de kriging no dependen de los valores medidos de las variables, sino solamente de sus posiciones y del semivariograma. La técnica del kriging permite además la posibilidad de obtener mapas de la distribución espacial de los organismos estudiados, los cuales, a su vez, tienen amplias utilidades (Samper y Carrera, 1996). Para este estudio se utilizó el kriging ordinario, utilizando el programa Surfer 8.

Kriging ordinario

Para desarrollar las ecuaciones de este kriging hay que imponer que la estimación sea lineal, insesgada y con varianza mínima. La ecuación general de este tipo de Kriging es la siguiente:

$$Z_{KO}^*(\mathbf{u}) = \sum_{i=1}^{n(\mathbf{u})} \lambda_i^{KO} Z(\mathbf{u}_i)$$

Donde: λ_i es el coeficiente de ponderación o coeficiente de Kriging (Chilés y Delfiner, 1999).

Superficie infestada

Se calculó la superficie infestada de adultos de *C. aguacatae*, determinando así las zonas donde se encuentra la plaga y así poder dirigir el control a lugares o zonas específicas donde se encuentren los centros de agregación de la plaga (se utilizó el programa Surfer 8)

Estabilidad espacial y temporal

Uno de los objetivos de este trabajo es estudiar la existencia de una estabilidad espacio-temporal a corto plazo de las poblaciones de *C. aguacatae*. Para tal efecto se compararon los mapas obtenidos con el método del Kriging.

Las comparaciones de los mapas se realizaron utilizando dos métodos el primero se hizo utilizando una modificación de la prueba estadística no paramétrica de Cramér-von Mises (Syrjala, 1996). Dicha prueba se utiliza para contrastar la diferencia entre dos funciones de distribución (Conover, 1980). Para aplicar la prueba es necesario que los individuos sean muestreados aleatoriamente de una población determinada y se construye una función de distribución acumulativa, a través del rango de esa variable. Es de suma importancia para realizar la comparación pertinente que se conozca perfectamente la localización espacial de los individuos muestreados y que dicha comparación se realice sobre superficies muestreadas con una extensión similar. El segundo método de comparación se realizó utilizando el índice de asociación del SADIE llamado I_m (Perry 1997, Korie *et al.*, 2000 y Perry y Dixon, 2002). Con este índice se puede realizar una comparación entre muestras tomadas al azar y con una precisa localización espacial. Las comparaciones se realizaron dentro del mismo año. Si $I_m > 0$, indica que existe una asociación o una estabilidad espacio-temporal entre los mapas, si existe un nivel de significación de $P_m < 0.025$. La determinación de esta estabilidad se realizará con el programa SADIE 1.22.

VII. RESULTADOS

Como resultados de la investigación realizada se elaboraron tres artículos científicos, los cuales fueron enviados a diferentes revistas indizadas en el JCR (Journal Citation Reports) y una indizada en el CONACyT. El primer artículo fue enviado a la revista Colombiana de Entomología y está próximo a publicarse, el segundo artículo fue enviado a la revista de la Sociedad Entomológica de Argentina y se encuentra en revisión por los pares académicos y finalmente el tercer artículo fue enviado a la revista Acta Zoológica mexicana.

A continuación, se anexan los artículos mencionados, así como las cartas de aceptación y de envío correspondientes.



Sociedad Colombiana de Entomología “SOCOLEN”

NIT. 860.055.875-4

Personería Jurídica N° 8547 – Octubre 13 de 1977 del Ministerio de Justicia

Bogotá, octubre 11 de 2019

Código Manuscrito: **8500**

Doctor

Roberto Rivera Martínez

Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales
Universidad Autónoma del Estado de México
México

Apreciado Doctor Rivera Martínez,

Con la presente certificamos que su trabajo titulado:
***Comportamiento espacial de las poblaciones de adultos de
Copturus aguacatae (Coleoptera: Curculionidae) mediante
técnicas geoestadísticas en el cultivo de aguacate*** presentado
por los autores Roberto Rivera-Martínez, José Francisco
Ramírez-Dávila, Agustin David Acosta-Guadarrama, Ana Verónica
Lara-Díaz, Fatima Irais Maldonado-Zamora y Rodolfo Serrato-
Cuevas, ha sido aceptado para ser publicado en la Revista
Colombiana de Entomología.

Apreciamos su consideración de someter el trabajo a nuestra
revista, y lo invitamos a citar este trabajo en sus
siguientes publicaciones y a someter nuevos manuscritos en la
RCdE.

Cordialmente,

JAMES MONTOYA LERMA
Editor General
Publicaciones@socolen.org.co
Revista Colombiana de Entomología

Comportamiento espacial de las poblaciones de adultos de *Copturus aguacatae* (Coleoptera: Curculionidae) mediante técnicas geoestadísticas en el cultivo de aguacate

Spatial behavior of adult populations of *Copturus aguacatae* (Coleoptera: Curculionidae) using geostatistical techniques in avocado cultivation

Roberto Rivera-Martínez¹, José Francisco Ramírez-Dávila^{2*}, Agustín David Acosta Guadarrama¹, Ana Verónica Lara Díaz¹, Fatima Irais Maldonado Zamora¹ y Rodolfo Serrato-Cuevas³.

Resumen

El insecto *Copturus aguacatae* es una plaga importante en el cultivo de aguacate ya que está catalogada como plaga cuarentenaria, lo cual lo hace una plaga de importancia económica. México es el principal productor de aguacate en el mundo y los aguacates producidos en el país se exportan a Estados Unidos y Europa. La presencia de *C. aguacatae* dentro de las huertas de aguacate en México representa una limitante para la exportación del fruto a otros países, esto aunado a los daños que causa a los árboles a los cuales les puede ocasionar la muerte. Por lo anterior es necesario hacer estudios que permitan conocer la ubicación espacial real del insecto dentro del cultivo de aguacate, por lo tanto, el objetivo del trabajo fue estudiar el comportamiento espacial de las poblaciones de adultos de *Copturus aguacatae* (Coleoptera: Curculionidae) mediante técnicas geoestadísticas en el cultivo de aguacate. Los resultados mostraron que el comportamiento espacial del insecto se da en forma de parches dentro de la parcela, los modelos a los que se ajustaron las poblaciones de *C. aguacatae* fueron modelos esféricos, se obtuvo una dependencia espacial alta en todos los muestreos realizados y los mapas de infestación generados mediante la técnica del krigado ordinario permitieron observar de manera gráfica las zonas específicas en donde se distribuye la plaga. Las infestaciones del insecto en algunos meses se distribuyen en el 100 % de la superficie, pero con densidades poblacionales diferentes y ubicadas en parches, esto resulta interesante, ya que así se pueden dirigir las medidas de control sobre áreas específicas de infestación.

Palabras clave: Mapas de infestación, Superficie infestada, Krigado.

¹ Doctor en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales. Universidad Autónoma del Estado de México. rob_m@live.com.mx; davinn@hotmail.com; fidel.lara@hotmail.com

² D. Laboratorio de Investigaciones Entomológicas y Tecnologías en Agricultura de Precisión; Facultad de Ciencias Agrícolas, UAEM. Cerrillo Piedras Blancas s/n km 15 Carr. Toluca –Ixtlahuaca, entronque al Cerrillo. C.P. 50200; Toluca, Estado de México. E-mail: jframirez@uaemex.mx

³ Profesor Investigador de la Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad Autónoma del Estado de México.

*Autor de correspondencia: jframirez@uaemex.mx

Abstract

The *Copturus aguacatae* insect is an important pest in the avocado crop as it is listed as a quarantine pest, which makes it a pest of economic importance. Mexico is the leading avocado producer in the world and avocados produced in the country are exported to the United States and Europe. The presence of *C. aguacatae* within the avocado orchards in Mexico represents a limitation for the export of the fruit to other countries, this coupled with the damage it causes to the trees that can cause death. Therefore, it is necessary to make studies that allow to know the real spatial location of the insect within the avocado crop, therefore, the objective of the study was to study the spatial behavior of the adult populations of *Copturus aguacatae* (Coleoptera: Curculionidae) by means of techniques geostatistics in avocado cultivation. The results showed that the spatial behavior of the insect occurs in the form of patches within the plot, the models to which the populations of *C. aguacatae* were adjusted were spherical models, a high spatial dependence was obtained in all the samplings performed and infestation maps generated by the ordinary kriging technique allowed us to graphically observe the specific areas where the pest is distributed. The infestations of the insect in some months are distributed in 100% of the surface, but with different population densities and located in patches, this is interesting, since this way the control measures on specific areas of infestation can be directed.

Key words: Infestation maps, Infested surface, Kriging.

Introducción

Actualmente el aguacate es uno de los frutales de mayor importancia en México ya que abastece el mercado nacional y también hay una gran exportación a diferentes países del mundo. México tiene una producción promedio anual de 1 107 135,16 ton en 134 322,12 ha (SIAP 2017). Esta cifra hace que dicho país sea el principal productor de aguacate a nivel mundial, siendo el estado de Michoacán el principal productor seguido de Nayarit, Morelos y México (SIAP 2017). Este cultivo tiene una tendencia creciente en superficie cultivada y volumen de producción donde destaca la variedad Hass, ya que es la de mayor demanda a nivel mundial (Naamani 2007).

El cultivo de aguacate presenta una gran variedad de plagas, una de ellas es el barrenador de la rama (*Copturus aguacatae* Kissinger) el cual es nativo de México y solo se ha reportado atacando al aguacate (*Persea americana* Mill.) y sus diferentes variedades (García *et al.* 1986). Este insecto se localiza en todas las plantaciones de aguacate de México, afectándolas considerablemente. La presencia de esta plaga representa un obstáculo para la exportación del fruto, por estar catalogada como plaga de interés cuarentenario, esta situación genera pérdidas económicas ya que el aguacate

en lugar de exportarse y venderse a precios altos se tiene que comercializar localmente a precios diferentes a los exportados. Es por eso que en México la regulación de esta plaga se establece en la norma oficial mexicana NOM-066-FITO-2002, la cual tiene especificaciones para el manejo fitosanitario y movilización del aguacate, la cual se aplica bajo la campaña fitosanitaria de plagas reglamentadas de aguacatero.

Los adultos de *C. aguacatae* son de cuerpo romboideo miden de 3.77 a 5.0 mm de largo y de 2.0 a 2.5 mm de ancho, de color negro a rojizo, con pequeñas escamas de color blanco, rojo, naranja, y negro que le dan tonalidades pardo-rojizas; las hembras son más grandes que los machos (SENASICA 2010). El ataque se detecta por la presencia de pequeños puntos de color blanco de consistencia polvosa en las ramas (García *et al.* 1967). Los daños consisten en lesiones producidas por las larvas que barrenan a través de la epidermis hasta llegar a la médula de la rama; así mismo, los adultos causan lesiones en los brotes tiernos y en esas lesiones las hembras ovipositan. Estos daños causan la defoliación de la planta provocando el aborto de flores y frutos, lo que trae por consecuencia la disminución de la producción.

El monitoreo de las poblaciones de las plagas es un procedimiento muy importante para poder llevar a cabo un manejo adecuado, ya que con ello se puede tener un panorama de cómo se encuentra distribuido dentro de las parcelas de estudio. Para poder utilizar adecuadamente la información derivada del monitoreo es necesario establecer puntos de muestreo que generen datos fehacientes con los cuales, en este caso, se podrá visualizar el comportamiento espacial *Copturus aguacatae*. La infestación de esta plaga hace importante implementar actividades que permitan conocer su ubicación dentro de las parcelas. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue determinar el comportamiento espacial de las poblaciones de adultos de *Copturus aguacatae* (Coleoptera: Curculionidae) mediante técnicas geoestadísticas en el cultivo de aguacate.

Materiales y Métodos

El estudio se llevó a cabo en el 2018 en dos municipios productores de aguacate en el Estado de México: Temascaltepec y Tenancingo. En cada municipio se establecieron cuatro parcelas, de dos hectáreas cada una, en cada parcela se muestrearon 50 árboles al azar, dando un total de 200 árboles por municipio. Se verificó que las plantaciones fueran de aguacate de la variedad Hass y el manejo agronómico de las parcelas muestreadas fuera similar ya que no se aplicaban agroquímicos. En dichas parcelas se identificó la presencia de la plaga (esta verificación se hizo dando un recorrido por la huerta y detectando los daños en los árboles) y cada árbol muestreado fue etiquetado y georeferenciado mediante un sistema de posicionamiento global diferencial (DGPS). Para realizar

los muestreos de los adultos de *C. aguacatae* se colocaron bandas plásticas de color azul (Gasca-Corona y Equihua-Martínez 1999) provistas con adhesivo llamado spider plus, se colocó una banda plástica en los tres estratos del árbol (estrato bajo, medio y alto) por cada punto cardinal teniendo un total de 12 trampas por árbol, se contabilizó el número de adultos capturados y se colgaron más bandas para el siguiente muestreo, los muestreos se realizaron cada catorce días.

Análisis geoestadístico: Se obtuvo el semivariograma experimental a partir de los datos de adultos de *C. aguacatae* capturados en cada muestreo con el programa variowin 2.2 (Software for spatial data analysis en 2D. New York EEUU) (Journel y Huijbregts 1978; Isaaks y Srivastava 1989). Una vez obtenido el semivariograma experimental se le realiza un ajuste a un semivariograma teórico (esférico, gaussiano o exponencial) (Englund y Sparks 1988) con el programa Variowin versión 2.2. Posterior al ajuste al semivariograma teórico se procede a la validación del modelo teórico, utilizando un procedimiento de validación cruzada a través de parámetros estadísticos como lo son: media de los errores de estimación, error cuadrático medio, error cuadrático medio adimensional y también se toma en cuenta que la varianza de los errores sea menor que la varianza muestral (Samper y Carrera 1996). El grado de relación entre los datos o nivel de dependencia espacial se obtuvo al dividir el efecto pepita entre la meseta, expresando el resultado en porcentaje.

Elaboración de Mapas: Se realizó la interpolación de valores a través del krigeado ordinario que permite la estimación sin sesgos de valores asociados a puntos que no fueron muestreados, las estimaciones obtenidas fueron representadas en forma de mapa para cada fecha de muestreo mediante el uso del programa Surfer 9 (Surface Mapping System, Golden Software Inc., Golden, CO). También es necesario saber si la infestación de la plaga es general en las parcelas de estudio. Para ello era importante conocer qué zonas estaban infestadas y el porcentaje que representan en el total de la parcela. Ello puede determinar la aplicación de las medidas de control y el costo económico. Su determinación se llevó a cabo mediante el software Surfer 9 (Surface Mapping System, Golden Software Inc., EEUU).

Resultados

Las poblaciones de *C. aguacatae* presentaron una distribución espacial agregada dentro de las huertas de aguacate en los dos municipios estudiados, los semivariogramas se ajustaron a dos modelos, el modelo esférico es el que predominó en ambos municipios, sin embargo, hubo algunas fechas en que los semivariogramas se ajustaron al modelo gaussiano (Tabla 1).

En todos los modelos ajustados en el municipio de Temascaltepec se obtuvo un efecto pepita igual a cero, mientras que en el municipio de Tenancingo hubo dos fechas en las que el valor del efecto

pepita no fue de cero y alcanzó valores de 0.04 y 0.006 en los muestreos de mayo 1 y septiembre 1 respectivamente. El tener valores de cero o muy cercanos a cero en el efecto pepita es indicativo de que la escala de muestreo utilizada es la correcta y que el error de muestreo es mínimo. Los valores de rango en el municipio de Temascaltepec estuvieron comprendidos entre 15 m y 37.80 m, para el municipio de Tenancingo estos valores fueron de 13.25 m el más bajo ya 32.84 m el más alto. (Tabla 1). Todos las fechas de muestreo y modelos ajustados presentaron un nivel de dependencia espacial alto.

La media de las poblaciones de *C. aguacatae* en el municipio de Temascaltepec fluctuó entre 0.12 en el muestreo de octubre 1 a 4.42 individuos por árbol en el muestreo de julio 1, mientras que en el municipio de Tenancingo los valores fueron de 0.14 en el mes de octubre a 4.19 individuos por árbol en el mes de julio (Tabla 2). Las densidades más altas se presentaron en los meses de junio y julio, ya que es cuando empiezan a emerger los adultos, mientras que las densidades más bajas fueron en los primeros meses del año, ya que de acuerdo a su ciclo biológico en esos meses hay muy poca presencia del insecto en los árboles de aguacate y también en los meses de septiembre y octubre bajan considerablemente las poblaciones al tal grado que en los meses siguientes (noviembre y diciembre) no se encontró la presencia de adultos dentro de las huertas de aguacate en el municipio de Tenancingo, mientras que en el municipio de Temascaltepec solo hubo presencia de adultos hasta el mes de agosto. Todos los modelos de la distribución espacial del barrenador en las huertas estudiadas se validaron con los parámetros estadísticos de validación cruzada (Tabla 2).

Tabla 1. Parámetros (rango meseta y efecto pepita) de los modelos ajustados a los semivariogramas de *Copturus aguacatae* en los municipios de Temascaltepec y Tenancingo.

Mes	Modelo	Rango	Meseta	Pepita	Nivel de Dependencia Espacial
TEMASCALTEPEC					
Febrero 2	Esférico	15	1.31	0	Alto
Marzo 1	Gaussiano	26.60	1.30	0	Alto
Mayo 1	Esférico	31.90	1.28	0	Alto
Mayo 2	Esférico	30	3.27	0	Alto
Junio 1	Esférico	37.80	4.16	0	Alto
Junio 2	Esférico	35.20	6.23	0	Alto
Julio 1	Esférico	28.80	8.48	0	Alto
Julio 2	Esférico	32	5.26	0	Alto
Agosto 1	Gaussiano	32.2	2.11	0	Alto
Agosto 2	Gaussiano	23.68	0.72	0	Alto
TENANCINGO					
Enero 2	Gaussiano	17.28	1.24	0	Alto
Febrero 1	Esférico	19.84	1.32	0	Alto

Febrero 2	Exponencial	13.25	0.60	0	Alto
Mayo 1	Esférico	32	1.89	0.04	Alto
Mayo 2	Esférico	15.50	3.97	0	Alto
Junio 1	Esférico	22	3.96	0	Alto
Junio 2	Esférico	32.84	5.65	0	Alto
Julio 1	Gaussiano	32	9.27	0	Alto
Julio 2	Esférico	30.10	4.13	0	Alto
Agosto 1	Gaussiano	24.83	1.91	0	Alto
Agosto 2	Esférico	17.42	0.72	0	Alto
Septiembre 1	Esférico	15.40	0.24	0.006	Alto
Septiembre 2	Esférico	14.72	0.23	0	Alto
Octubre 1	Gaussiano	17.16	0.11	0	Alto

Tabla 2. Media muestral y valores de los estadísticos de la validación cruzada de los semivariogramas obtenidos en los muestreos en el municipio Temascaltepec y Tenancingo: media de los errores de estimación (MEE), error cuadrático medio (ECM) y error cuadrático medio adimensional (ECMA)

Mes/Muestreo	Media Muestral	Varianza Muestral	MEE	Varianza de los Errores	ECM	ECMA
TEMASCALTEPEC						
Febrero 2	1.06	1.30	0.12ns	1.15	0.12	1.10
Marzo 1	0.87	1.36	0.10ns	1.29	0.14	1.09
Mayo 1	1.46	1.30	0.09ns	1.20	0.05	1.05
Mayo 2	2.02	2.09	0.07ns	1.77	0.11	1.09
Junio 1	3.02	4.33	0.11ns	3.28	0.07	1.10
Junio 2	3.64	6.48	0.14ns	5.47	0.13	1.11
Julio 1	4.42	8.81	0.05ns	7.02	0.09	1.14
Julio 2	3.43	5.43	0.09ns	4.11	0.14	1.12
Agosto 1	1.95	2.10	0.11ns	1.84	0.12	1.05
Agosto 2	1.10	0.73	0.13ns	0.69	0.15	1.11
TENANCINGO						
Enero 2	0.89	1.22	0.11ns	1.01	0.13	1.05
Febrero 1	1.10	1.42	0.10ns	1.27	0.10	1.08
Febrero 2	0.56	0.60	0.08ns	0.45	0.15	1.10
Mayo 1	2.04	1.93	0.14ns	1.25	0.09	1.14
Mayo 2	2.49	4.02	0.05ns	3.76	0.10	1.12
Junio 1	3.18	4.04	0.10ns	3.28	0.07	1.13
Junio 2	3.41	5.97	0.13ns	4.19	0.11	1.10
Julio 1	4.19	9.30	0.06ns	7.05	0.14	1.08
Julio 2	3.13	4.17	0.12ns	3.21	0.12	1.11
Agosto 1	2	1.91	0.10ns	1.16	0.06	1.07
Agosto 2	0.85	0.70	0.14ns	0.58	0.09	1.11

Septiembre 1	0.51	0.29	0.11ns	0.21	0.11	1.09
Septiembre 2	0.35	0.22	0.13ns	0.17	0.12	1.15
Octubre 1	0.14	0.12	0.11ns	0.10	0.10	1.10

Los mapas elaborados mediante el kriging ordinario mostraron la superficie infestada de *C. aguacatae* dentro de las huertas de aguacate y se pudo visualizar que la plaga se encuentra en parches, es decir se ubica en centros de agregación dentro del área de estudio. En el municipio de Temascaltepec los parches con mayor infestación se situaron en la parte inferior del mapa con una tendencia en ir hacia la parte izquierda y/o derecha del mapa (Figura 1). Para el municipio de Tenancingo los centros de agregación se encontraron distribuidos en diferentes partes del mapa con una tendencia hacia los bordes, ya sea izquierdo o derecho y en algunos muestreos se situaron en la parte superior del mapa, siendo el caso de mayo 1, mientras que julio 2 y septiembre 1 los parches se ubicaron en la parte inferior del mapa (Figura 2).

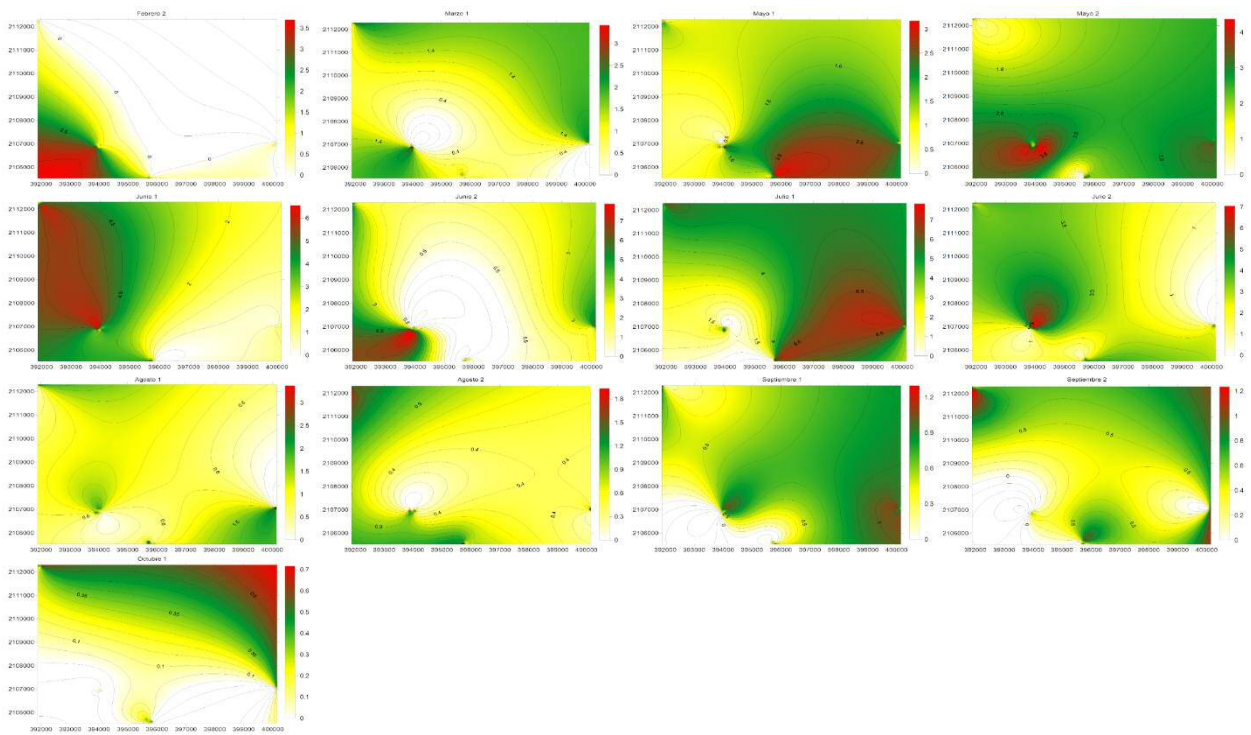


Figura 1. Mapas de densidad de las poblaciones de *Copturus aguacatae* obtenidos en los muestreos en el municipio de Temascaltepec, México.

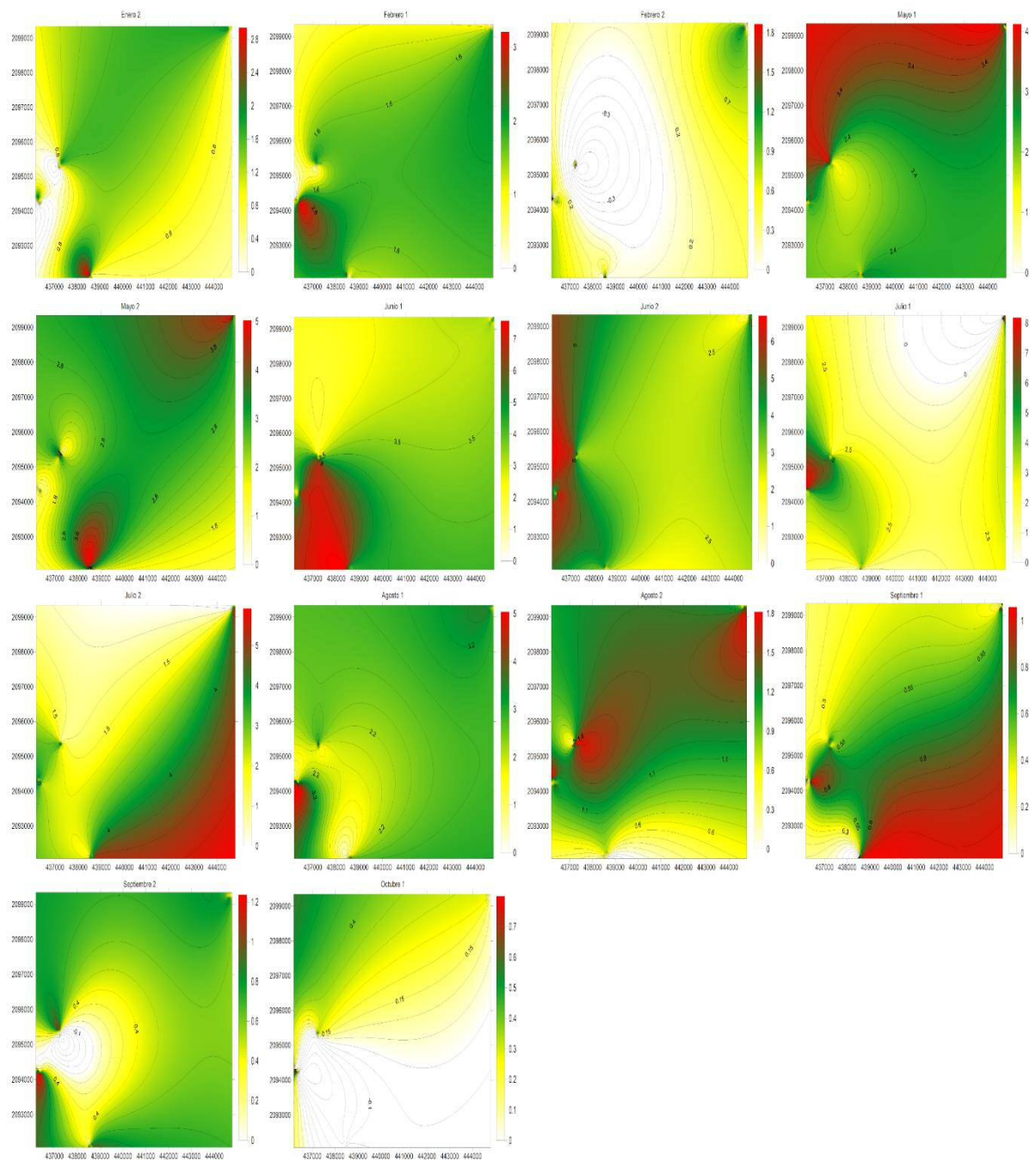


Figura 2. Mapas de densidad de las poblaciones de *Copturus aguacatae* obtenidos en los muestreos en el municipio de Tenancingo, México.

En el municipio de Temascaltepec se encontraron diferentes porcentajes de infestación en las huertas de aguacate, el porcentaje más alto se registró en el mes de mayo 1 con un porcentaje de 99

% de infestación, esto quiere decir que la plaga se distribuyó en el 99 % de la superficie de la parcela, mientras que el porcentaje más bajo se obtuvo en el mes de febrero 2 con 40 % de infestación. Los otros meses también tuvieron una infestación alta que estuvo entre rangos de 70 % y 80 % de infestación. Cabe mencionar que en el mes de enero, abril, septiembre, octubre, noviembre y diciembre no hubo presencia de adultos en las huertas, es por ello que no se presentan datos para esos meses. Para el municipio de Tenancingo en los meses de mayo y junio de obtuvo un 100 % de infestación de la plaga dentro de las parcelas de aguacate, el porcentaje más bajo registrado fue en el mes de febrero 2 con un valor de 67 % de infestación, mientras que en los meses de enero 1, marzo, abril, agosto 2, septiembre, octubre, noviembre y diciembre no se encontró presencia del insecto.

Tabla 3. Porcentaje de superficie infestada en los municipios de Temascaltepec y Tenancingo.

MUESTREOS	% INFESTADO
TEMASCALTEPEC	
Febrero 2	40
Marzo 1	82
Mayo 1	99
Mayo 2	98
Junio 1	81
Junio 2	75
Julio 1	88
Julio 2	86
Agosto 1	85
Agosto 2	90
TENANCINGO	
Enero 2	90
Febrero 1	99
Febrero 2	67
Mayo 1	100
Mayo 2	100
Junio 1	100
Junio 2	100
Julio 1	79
Julio 2	92
Agosto 1	98
Agosto 2	96
Septiembre 1	95
Septiembre 2	89
Octubre 1	65

Cabe mencionar que la distribución de la plaga en el 100 % de la parcela en algunos muestreos de los cuatro municipios indica que la plaga se encuentra distribuida en toda la zona de muestreo, sin embargo, está presente en diferentes densidades de población, en algunas áreas con mayores individuos y en otras con muy pocos.

Discusión

La mayor infestación de *C. aguacatae* se dio en los meses de junio y julio, ya que es cuando hay mayor emergencia de adultos. En los meses en los que no se encontró gran actividad de adultos dentro de las parcelas de aguacate se debe a que en esos meses la etapa de desarrollo del insecto se encuentra en estado larval las cuales se ubican dentro de las ramas del árbol. Gasca-Corona y Equihua-Martínez 1999 encontraron que los adultos de *C. aguacatae* aparecen a principios de junio con una máxima actividad de adultos en julio hasta septiembre.

Se logró realizar la modelización espacial de *C. aguacatae* en las plantaciones de aguacate, donde se observó la estructura agregada de la plaga, la cual fue posible realizar con el uso de la geoestadística. Estos mismos resultados fueron observados por Silva *et al.* (2016) en el estudio de la población de *Vatiga* spp., donde informa que esta plaga se presenta de forma agregada en el cultivo de la yuca. Maldonado *et al.* (2017) reporta que las poblaciones de trips en aguacate en el Estado de México también se presentan de forma agregada dentro de los huertos comerciales evaluados durante el año 2015.

La geoestadística permite elaborar mapas de densidad de la distribución espacial de un organismo (Rossi *et al.* 1992; Ribes *et al.* 1998). En comparación con la estimación de distribución espacial que realiza la estadística clásica, los modelos donde se utiliza la geoestadística proporcionan mayor información de la dependencia espacial, ya que este tipo de método tiene en cuenta la distribución de los organismos a través de su exacta localización espacial (Samper y Carrera 1996). La incidencia de la plaga se logró representar con mapas de densidad que fueron elaborados mediante la técnica del krigado y por medio de los cuales se puede visualizar la ubicación espacial de los centros de agregación en los que se distribuyó el insecto. Esta técnica ha sido empleada en otras plagas como trips en el cultivo de aguacate en el Estado de Michoacán (Solares *et al.* 2012), Esquivel y Jasso (2014) con su estudio sobre la distribución espacial de gusano soldado en el Estado de México, Ramírez y Porcayo (2008) con la distribución de ninfas de *Jacobiasca lybica* en viñedos de Andalucía, España, entre otros.

El ajuste al modelo esférico en la mayoría de los semivariogramas indica que dentro de la zona de estudio existen zonas donde hay mayor incidencia de *C. aguacatae* permitiendo ubicar los centros

de agregación con más individuos en lugares específicos, lo cual indica que la infestación de la plaga parte de un foco principal y se expande a la periferia. La distribución ajustada al modelo gaussiano refleja que los centros de agregación se manifiestan de forma continua dentro del área de muestreo, infiriendo la existencia de diversos factores que influyen en la diseminación de *C. aguacatae* de una forma más rápida (Ramírez y Porcayo 2008). Este comportamiento de agrupamiento de las plagas en parches o agregados muestra una similitud con diferentes estudios tales como el de Solano *et al.* (2008) quienes estudiaron la distribución espacial de *Brevipalpus phoenicis* en plantaciones de naranja valencia en Colombia, Sciarretta *et al.* (2008) encontraron una distribución agregada de *Lobesia botrana* en parcelas de uva y con ajuste al modelo esférico, Duarte *et al.* (2015) analizaron la distribución espacial de *Grapholita molesta* (Busk) y encontraron una distribución agregada ajustándose a modelos esféricos, gaussianos y exponenciales. Contrario a esto Carrillo *et al.* (2004) realizaron un estudio de la distribución espacial de larvas de escarabaeidos en plantas cultivadas y sus resultados mostraron que las larvas estudiadas no tenían una distribución agregada, esto pudo haber estado relacionado con la amplia polifagia de las larvas.

El comportamiento de la plaga *C. aguacate* en forma agregada dentro de las huertas de aguacate proporciona información importante la cual se puede utilizar para aplicar medidas de control de forma dirigida hacia las zonas específicas de infestación de la plaga, de esta forma se reducirán las poblaciones de la plaga evitando hacer aplicaciones generalizadas, lo cual traerá ahorros económicos al utilizar menos insumos y un menor impacto al medio ambiente. Lo anterior concuerda con Rong *et al.* (2006) quienes propusieron el manejo de *Locusta migratoria manilensis* Linnaeus en áreas específicas dentro de la parcela donde estaba la presencia de la plaga. Milonas *et al.* (2016) recomiendan dirigir el control a áreas específicas de infestación de *Helicoverpa armigera* (Hübner) y *Pectinophora gossypiella* (Saunders) en el cultivo de algodón.

Los valores de cero o cercanos a cero obtenidos en el efecto pepita de los modelos ajustados, permite asegurar que la escala de muestreo utilizada fue la adecuada y además que el error de muestreo es mínimo (Oliver y Webster 1998) con lo cual se puede afirmar que los modelos ajustados tienen un 98 % de confiabilidad. Acosta *et al.* (2017) y Maldonado *et al.* (2016) en estudios de la distribución espacial de trips en aguacate encontraron valores de cero en los modelos ajustados.

La distribución espacial de *C. aguacatae* obtuvo un nivel de dependencia espacial alto en todos los modelos ajustados. El alto nivel de dependencia espacial resultó de dividir el efecto pepita entre la meseta que fue menor a 25 %, para todos los semivariogramas. El tener un nivel de dependencia espacial alto es indicativo de que existe una fuerte relación entre la plaga y los puntos de muestreo,

lo cual sugiere que las poblaciones de *C. aguacatae* dependen entre sí y el nivel de agregación es alto, entre más fuerte sea la dependencia espacial es más posible que los centros de agregación se mantengan más fuertes y por lo tanto posiblemente el insecto va a formar nichos ecológicos que sean estables a través del tiempo. Acosta *et al.* (2017) en un estudio de la distribución espacial de trips en aguacate utilizando la geoestadística encontraron que los trips mostraron una estructura espacial agregada con un nivel de dependencia espacial alto en todos los muestreos realizados.

Los centros de agregación en los que se distribuyó la plaga dentro de las huertas de aguacate se pueden observar en los mapas de densidad que se obtuvieron mediante la técnica del kriging ordinario, esto es de gran importancia en cuanto a la protección de cultivos, ya que permite dirigir de forma precisa las medidas de control hacia puntos específicos (Weisz *et al.* 1996; Fleischer *et al.* 1999; Ribes *et al.* 1998; Rong *et al.* 2006; Ramírez *et al.* 2011; Esquivel y Jasso 2014; Maldonado *et al.* 2016). Estas acciones van a contribuir a que la plaga no desarrolle resistencia a los insecticidas y también ayudara a evitar que la plaga se distribuya en una mayor superficie y a niveles poblacionales más altos, con los que pueda causar y daño mayor en el cultivo y por consiguiente tener mayores pérdidas económicas.

Los mapas obtenidos permitieron visualizar la forma en cómo se distribuye *C. aguacatae* dentro del área de estudio, se observa que la plaga en algunos meses no se distribuyó en el 100 % de la superficie estudiada y las densidades poblacionales de la misma son variables. Con el uso de estos mapas se pueden sugerir acciones a los productores para llevar a cabo un manejo integrado de la plaga en la que se pueden emplear métodos de control tales como el control biológico donde se pueden utilizar hongos entomopatógenos como *Beauveria bassiana*, o *Metarhizium anisopliae*, (Coria *et al.* 2007) que son productos que ya se encuentran de manera comercial, también utilizar insectos parasitoides como *Urosigalphus avocadoe* Gibson (Hernández *et al.* 2009) el cual es un himenóptero que presenta alta especificidad de larvas por lo cual es útil en el manejo de estas poblaciones. Tanto los hongos entomopatógenos como el parasitoide se aplicaría en los meses donde las poblaciones de adultos son menores y de esta manera regular poblaciones futuras, al mismo tiempo se pueden utilizar otras alternativas, como control cultural con el uso de podas sanitarias de las ramas dañadas, las cuales tienen que ser incineradas para eliminar huevos y larvas de la plaga, y tomando en cuenta que los productores de aguacate en el Estado de México tienden a reducir el uso de agroquímicos se tomaría como última opción el control químico con el producto Malathion en aplicaciones al follaje, las cuales tienen que hacerse en los meses donde hay mayor actividad de adultos. Todos estos tipos de control han mostrado eficiencia en el manejo de este

insecto por lo que son una buena opción para combatir este tipo de plaga, haciéndolo de manera dirigida en puntos específicos donde se encuentra la plaga.

La implementación de métodos geoestadísticos en el manejo de este insecto plaga puede ser de gran impacto para los productores de aguacate, ya que permite conocer con mayor precisión el comportamiento espacial de este insecto. La elaboración de mapas al respecto de esa distribución puede ser de gran ayuda para el desarrollo de programas de manejo integrado de *C. aguacatae* por parte de las autoridades competentes, que actualmente no tienen este tipo de información, una vez se tengan en cuenta este tipo de estudios, los programas elaborados serán más eficientes, oportunos y pertinentes.

Literatura Citada

ACOSTA-GUADARRAMA, A.D.; RAMÍREZ-DÁVILA, J.F.; RIVERA-MARTÍNEZ, R.; FIGUEROA-FIGUEROA, D.K.; LARA-DÍAZ, A.V.; MALDONADO-ZAMORA, F.I. 2017. Distribución Espacial de Trips spp. (Thysanoptera) y Evaluación de su Control Mediante el Depredador *Amblyseius swirskii* en el Cultivo de Aguacate en México. *Southwestern Entomologist* 42: 435-446.

CARRILLO, R.; PAPE, H.; NEIRA, M.; BALOCCHI, O. 2004. Distribución espacial de larvas de dos especies de escarabaeidos nativos en respuesta a plantas cultivadas. *Revista Chilena de Entomología* 30 (1): 59-64.

CORIA, A.V.M.; PESCADOR, A.; LÓPEZ, E.; LEZAMA, R.; SALGADO, R.; LÓPEZ, M.; VIDALES, A.; MUÑOZ, J. 2007. Autoecología del barrenador de las ramas *Copturus aguacatae* Kissinger (Coleoptera: Curculionidae) del aguacate en Michoacán, México. *Proceedings VI World Avocado Congress (Actas VI Congreso Mundial del Aguacate)*. Viña Del Mar, Chile. 12-16 Nov. 2007. ISBN No 978-956-17-0413-8.

DUARTE, F.; CALVO, M.V.; BORGES, A.; SCATONI, I.B. 2015. Geostatistics and geographic information systems to study the spatial distribution of *Grapholita molesta* (Busck) (Lepidoptera: Tortricidae) in peach fields. *Neotropical Entomology* 44(4): 319-327.

ENGLUND, E.; SPARKS, A. 1988. GEO-EAS (Geostatistical Environmental Assessment Software) User's guide. U.S. Environmental protection agency document EPA/600/4-88/033. Environmental Monitoring Systems Laboratory, Las Vegas, NV, EE.UU.

- ESQUIVEL, H. V.; JASSO, G.Y. 2014. Distribución espacial y mapeo de gusano soldado en seis localidades del Estado de México, en el año 2011. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5(6): 923-935.
- FLEISCHER, S. J.; BLOM, P. E.; EMMEN, D.; HOWER, A. 1999. Dynamics in the spatial continuity of insect density. *Precision Agriculture*, (precisionagric4a), pp. 133-141.
- GARCÍA, A.M.; MÉNDEZ, V.M.; MORALES, Y.A.G. 1967. El aguacatero: Plagas y enfermedades. *Fotófilo* 56: 12-14.
- GARCÍA, M.C.; MÚJICA, R.; VÁZQUEZ, N.; ARANDA, Y.E. 1986. Fenología de *Copturus aguacatae* (Coleoptera: Curculionidae) en tres regiones del Estado de Morelos. Memoria del XXI Congreso Nacional de Entomología. Monterrey, Nuevo León. CONACYT, Colegio de Postgraduados, UANL.
- GASCA-CORONA, L.; EQUIHUA-MARTÍNEZ, Y.A. 1999. Monitoreo del barrenador de ramas del aguacate (*Copturus aguacatae* Kissinger) y estudio de algunos aspectos de su biología y comportamiento en Ziracuaretiro, Michoacán, México p. 53-54.
- HERNÁNDEZ, F.; SAAVEDRA, A.; URIAS, L.; LÓPEZ, A. 2009. Registro de *Urosigalphus avocadoe* Gibson (Hymenoptera: Branconidae) como parasitoide de *Copturus aguacatae* Kissinger (Coleoptera: Curculionidae) en México. *Acta zoologica mexicana* 25(3): 659-661.
- ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. 1989. Spatial continuity measures for probabilistic and deterministic geostatistics. *Mathematical Geology* 20 (4): 313-341.
- JOURNEL, A. G.; HUIJBREGTS, C. J. 1978. Mining geostatistics. Academic Press, Londres, Reino Unido 600 p.
- MALDONADO-ZAMORA, F.I.; RAMÍREZ-DÁVILA, J.F.; RUBÍ-ARRIAGA, M.R.; XANAT, A.N.; LARA-DÍAZ, A.V. 2016. Distribución espacial de trips en aguacate en Coatepec Harinas, Estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 7(4): 845-856.
- MALDONADO-ZAMORA, F.I.; RAMÍREZ-DÁVILA, J.F.; LARA-DÍAZ, A.V.; RIVERA-MARTÍNEZ, R.; ACOSTA-GUADARRAMA, A.D.; FIGUEROA-FIGUEROA, D.K.; TAPIA-RODRIGUEZ, 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.
- MILONAS, P.; GOGOU, C.; PAPADOPOULOU, A.; FOUNTAS, S.; LIAKOS, V.; PAPADOPOULOS, N.T. 2016. Spatio-Temporal Distribution of *Helicoverpa armigera* (Hübner)

(Lepidoptera: Noctuidae) and *Pectinophora gossypiella* (Saunders) (Lepidoptera: Gelechiidae) in a Cotton Production Area. *Neotropical entomology* 45(3): 240–251.

NAAMANI, G. 2007. Developments in the avocado world. California Avocado Society pp. 71–76.

OLIVER, M.; WEBSTER, R. 1998. How geostatistics can help you. *Soil Use and Management* 7 (4): 206–217.

RAMÍREZ-DÁVILA, J.F.; PORCAYO-CAMARGO, E. 2008. Distribución espacial de las ninfas de *Jacobiasca lybica* (Hemiptera: Cicadellidae) en un viñedo en Andalucía, España. *Revista Colombiana de Entomología* 34 (2): 169–175.

RAMÍREZ-DÁVILA, J.F.; PORCAYO-CAMARGO, E.; SÁNCHEZ-PALE, J. R. 2011. Análisis de la distribución espacial de *Bactericera cockerelli* Sulc (Hemiptera: Triozidae) en *Solanum tuberosum* L. en Donato Guerra, México. *Boletín del Museo de Entomología de la Universidad del Valle* 12 (1): 12–24.

RIBES, D.M.; BASCUÑANA, C.M.; AVILLA, H. J. 1998. Estudio de la distribución espacial de *Cydia pomonella* (L.) y *Pandemis heparana* (Denis & Schiffermüller) en Torregrossa (Lleida) mediante métodos geoestadísticos. *Boletín de Sanidad Vegetal Plagas* 24 (4): 935–948.

RONG, J.; DIAN, M.L.; BAO, Y.X.; ZHE, L.; DONG, L. 2006. Spatial distribution of oriental *Locusta migratoria* (Orthoptera: Acrididae) egg pod populations: Implications for site-specific pest management. *Environmental Entomology* 35: 1244–1248.

ROSSI, R.E.; MULLA, J.D.; JOURNEL, A.G.; FRANZ, E.H. 1992. Geostatistical tools for modeling and interpreting ecological spatial dependence. *Ecological Monographs* 62 (2): 277–314.

SAMPER, F.J.; CARRERA, J. 1996. Geoestadística, aplicaciones a la hidrogeología. Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería, España, p. 484.

SCIARRETTA, A.; ZINNI, A.; MAZZOCCHETTI, A.; TREMATERRA, P. 2008. Spatial analysis of *Lobesia botrana* (Lepidoptera: Tortricidae) male population in a Mediterranean agricultural landscape in central Italy. *Environmental Entomology* 37 (2): 382–390.

SENASICA. 2010. Programa de trabajo de la campaña plagas cuarentenarias del aguacatero a operar con recursos del componente de sanidad e inocuidad del programa soporte. SAGARPA–Gobierno del Estado de Michoacán, México 35p.

SIAP. 2017. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. SIAP. <http://www.siap.gob.mx/>
fecha de consulta: 7 de noviembre de 2017.

SILVA, A.S.; MOTA, T.A.; PIÑEYRO, N.Y.; FERNANDES, M.G.; PEREIRA, F.F.; 2016. Distribución espacial de *Vatiga* spp. (Hemiptera: Tingidae) en el cultivo de yuca. *Acta biológica colombiana* 21(1):195–200.

SOLANO, D.; ÁLVAREZ, H.; RODRÍGUEZ, J. 2008. Distribución espacial de *Brevipalpus phoenicis* vector de la leprosis de los cítricos en el cultivo de naranja Valencia (*Citrus sinensis*) en Yopal, Casanare (Colombia). *Agronomía colombiana*. 26 (3); 399–410.

SOLARES, V. M.; RAMÍREZ, J. F.; Y SÁNCHEZ, J. R. 2012. Distribución espacial de trips (Insecta: Thysanoptera) en el cultivo de aguacate (*Persea americana* Mill.). *Boletín del Museo de Entomología de la Universidad del Valle* 12(2):1–12.

WEISZ, R.; FLEISCHER, J.; SMILOWITZ, Z. 1996. Site specific integrated pest management for high value crops: Impact on potato pest management. *Journal of Economic Entomology* 89(2): 501–509.

Revista de la Sociedad Entomológica Argentina

Home > User > Author > Submissions > #49144 > Summary

#49144 Summary

[SUMMARY](#) [REVIEW](#) [EDITING](#)

Submission

Authors Roberto Rivera Martínez, José Francisco Ramírez Dávila, Martín Rubí Arriaga, Aurelio Domínguez López, Agustín David Acosta Guadarrama, Fidel Lara Vázquez

Title Modelización Espacial de *Copturus aguacatae* (Coleoptera: Curculionidae) en el Cultivo de Aguacate (*Persea americana* Mill.)


Original file [49144-160367-1-SM.DOCX](#) 2019-03-27

Supp. files [49144-160369-1-SP.PDF](#) 2019-03-27 [ADD A SUPPLEMENTARY FILE](#)

Submitter Doctor José Francisco Ramírez Dávila 

Date submitted March 27, 2019 - 09:36 AM

Section Articles

Editor Yanina Mariottini 

Author comments Dr. Jordi Izquierdo Figarola Universidad Politécnica de Cataluña, España. (jordi.izquierdo@upc.edu)

* Dr. José Luis Gonzales Andujar. Instituto de Agricultura Sostenible CSIC, Córdoba, España (andujar@ias.csic.es)

* Dra. Xanet Antonio Némiga. Universidad Autónoma del Estado de México. (xanynemiga@rocketmail.com) * Dr. Victor Soares Alonso. Instituto Tecnológico de Zitácuaro, Mex. (metavic@hotmail.com) * Dr. Manuel Ribes Dasi. Universidad de Lleida, España. (manelo@aegef.udl.cat)

Status

Status In Review

Initiated 2019-03-27

Last modified 2019-04-30



DIRECTORY OF
OPEN ACCESS
JOURNALS



Modelización Espacial de *Copturus aguacatae* (Coleoptera: Curculionidae) en el Cultivo de Aguacate (*Persea americana* Mill.)

RIVERA, Roberto¹, RAMÍREZ, José F^{2*}, ARRIGA, Martín³, DOMÍNGUEZ, Aurelio³, ACOSTA, Agustín D¹ & LARA, Fidel¹

¹Programa de Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales en la Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma del Estado de México, Campus el Cerrillo, Piedras Blancas, Toluca Estado de México, México

²Laboratorio de Entomología de la Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma del Estado de México, Campus el Cerrillo, Piedras Blancas, Toluca Estado de México, México, CP, 50295

*email: jframirez@uaemex.mx

³ Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma del Estado de México, Campus el Cerrillo, Piedras Blancas, Toluca Estado de México, México, CP, 50295

Spatial Modeling of *Copturus aguacatae* (Kissinger) in Growing Avocado (*Persea americana* Mill.)

ABSTRACT. Mexico is the main producer and exporter of avocado in the world. The borer of the branch being a pest of quarantine interest represents an obstacle for the export of the fruit to the United States, therefore the avocado must be free of this plague. In addition also they generate damages in the branches, since they drill the marrow of the branch and in great infestations there are abortion of flowers and breaking of branches. The infestations of this insect and the economic importance of its presence within the avocado orchards makes it important to implement studies that allow to know its spatial distribution within the avocado orchards and thus to apply effective control alternatives. The objective of this work was to determine the spatial distribution of *Copturus aguacatae* in avocado cultivation using spatial statistics techniques that led to the generation of maps by means of "krigeado". The results show that the semivariograms obtained were adjusted to the spherical, gaussian and exponential models, thus having an aggregate type distribution which was corroborated with

the density maps. Infestations in some cases were not distributed in 100%, of the experimental plots, which is interesting to direct control measures on specific areas of infestation. Short – term spatial and temporal stability of *C. aguacatae* populations were determined.

KEY WORDS. Spatial distribution, kriging, density maps.

RESUMEN. México es el principal productor y exportador de aguacate en el mundo. El barrenador de la rama al ser una plaga de interés cuarentenario que representa un obstáculo para la exportación del fruto a Estados Unidos, genera daños al barrenar la médula de la rama y en grandes infestaciones causa aborto de flores y rompimiento de ramas. Las infestaciones de este insecto y la importancia económica que representa su presencia dentro de las huertas de aguacate, hace importante implementar estudios que permitan conocer su distribución espacial dentro de las huertas de aguacate y así aplicar alternativas de control eficaces. Por lo anterior, el presente trabajo tuvo el objetivo de determinar la distribución espacial de *Copturus aguacatae* en el cultivo de aguacate mediante el uso de técnicas de estadística **espacial que condujeron a la generación de mapas por medio del “krigeado”**. Los resultados muestran que los semivariogramas obtenidos se ajustaron a los modelos esférico, gaussiano y exponencial, teniendo así una distribución de tipo agregada lo que se corroboró con los mapas de densidad. Las infestaciones en algunos casos no se distribuyeron en el 100% de la superficie de las parcelas experimentales, lo cual es interesante para dirigir las medidas de control sobre áreas específicas de infestación, además se logró determinar estabilidad espacial y temporal a corto plazo de las poblaciones de *C. aguacatae*.

PALABRAS CLAVE. Modelización espacial, krigeado, mapas de densidad.

INTRODUCCIÓN

México es el principal productor y exportador de aguacate en el mundo, en los estados de Michoacán, Estado de México, Jalisco, Nayarit y Morelos se genera el 95 % de la producción nacional. Michoacán aporta ocho de cada 10 toneladas de aguacate, lo que lo consolida como el líder productor en la República Mexicana. Sin embargo, en los últimos años el Estado de México ha incrementado su superficie de cultivo lo que lo ha llevado a ser un estado importante en producción de aguacate (SAGARPA, 2015).

La producción de aguacate en México ha mostrado una tendencia creciente en cuanto a superficie cultivada y volumen de producción, con predominio de la variedad Hass, la cual destaca por su demanda a nivel mundial (Naamani, 2007). El cultivo de aguacate es atacado por diversas plagas entre ellas se encuentra el barrenador del tronco y ramas (*Copturus aguacatae* Kissinger) (Coria, 1993). El barrenador de ramas del aguacate (*C. aguacatae* (Kissinger), es nativo de México y solo se ha reportado atacando al aguacate (*Persea americana* Mill.) y sus diferentes variedades (García *et al.*, 1986). Se localiza en todas las plantaciones de aguacate de México, afectándolas considerablemente. La presencia de esta plaga representa un obstáculo para la exportación del fruto, por estar catalogada como plaga de interés cuarentenario, esta situación genera pérdidas económicas ya que el aguacate en lugar de exportarse y venderse a precios altos se tiene que comercializar localmente a precios diferentes a los exportados. Es por eso que en México la regulación de esta plaga se establece en la norma oficial mexicana NOM-066-FITO-2002, la cual tiene especificaciones para el manejo fitosanitario y movilización del aguacate, la cual se aplica bajo la campaña fitosanitaria de plagas reglamentadas de aguacatero (Aguirre, 2010).

Los adultos de *C. aguacatae* son de cuerpo romboideo miden de 3.77 a 5.0 mm de largo y de 2.0 a 2.5 mm de ancho, de color negro a rojizo, con pequeñas escamas de color blanco, rojo, naranja, y negro que le dan tonalidades pardo-rojizas; las hembras son más grandes que los machos (SENASICA, 2010). El ataque se detecta por la presencia de pequeños puntos de color blanco de consistencia polvosa en las ramas (García *et al.*, 1967). Los daños consisten en lesiones producidas por las larvas que barrenan a través de la epidermis hasta llegar a la médula de la rama; asimismo, los adultos causan lesiones en los brotes tiernos y en esas lesiones las hembras ovipositan. Estos daños causan la defoliación de la planta provocando el aborto de flores y frutos, y consecuentemente la disminución de la producción.

Por lo anterior, es importante implementar estudios que permitan conocer la distribución espacial que tiene esta plaga en el cultivo de aguacate, y con base a esta información ayudar a la toma de decisiones y aplicar medidas de control en los tiempos y formas que sean más eficaces en el control de la plaga. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue realizar la modelización espacial de las poblaciones del barrenador de la rama (*Copturus aguacatae* Kissinger) en el cultivo de aguacate (*Persea americana* Mill.).

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en cuatro municipios productores de aguacate en el Estado de México: Coatepec Harinas, Temascaltepec, Tenancingo y Donato Guerra. Se establecieron cuatro parcelas por municipio, de dos hectáreas cada una, en cada parcela se muestrearon 50 árboles al azar, dando un total de 200 árboles por municipio. Se verificó que las plantaciones fueran de aguacate de la variedad Hass y el manejo agronómico de las parcelas muestreadas fuera similar ya que no se aplicaban agroquímicos. En dichas parcelas se identificó la presencia de la plaga (esta verificación se hizo haciendo un recorrido por la huerta y detectando los daños en los árboles) y cada árbol muestreado fue etiquetado y georeferenciado mediante un sistema de posicionamiento global diferencial (DGPS). Para realizar los muestreos de los adultos de *C. aguacatae* se colocaron bandas plásticas de color azul (Gasca-Corona y Equihua-Martínez, 1999) provistas con adhesivo llamado spider plus, se colocó una banda plástica en los tres estratos del árbol (estrato bajo, medio y alto) por cada punto cardinal teniendo un total de 12 trampas por árbol, se contabilizó el número de adultos capturados y se colgaron más bandas para el siguiente muestreo, los muestreos se realizaron cada catorce días de enero a junio de 2017.

Análisis geoestadístico: Se obtuvo el semivariograma experimental a partir del valor promedio mensual de *C. aguacatae* capturados en cada muestreo con el programa variowin 2.2 (Software for spatial data analysis en 2D. New York EEUU) (Journel y Huijbregts, 1978, Isaaks y Srivastava, 1989). Al semivariograma experimental, se le realizó un ajuste a algún semivariograma teórico (esférico, exponencial o gaussiano) (Englund y Sparks, 1988) con el programa Variowin versión 2.2.

Validación del modelo teórico: Se siguió un procedimiento de validación cruzada, en el cual los parámetros del modelo C_0 (efecto de pepita), $C + C_0$ (meseta) y a (rango o alcance) se van ajustando de forma interactiva (prueba y error) hasta obtener los mejores valores de los estadísticos. Una vez determinado se validó a través de los parámetros estadísticos de validación cruzada (Samper y Carrera, 1996) como media de los errores de estimación, error cuadrático medio, error cuadrático medio adimensional. Además se toma en cuenta que la varianza de los errores sea menor a la varianza muestral. El grado de relación

entre los datos o nivel de dependencia espacial se obtuvo al dividir el efecto pepita entre la meseta, expresando el resultado en porcentaje.

Para la elaboración de mapas se realizó la interpolación de valores a través del krigeado ordinario que permite la estimación insesgada de valores asociados a puntos que no fueron muestreados, las estimaciones obtenidas fueron representadas en forma de mapa para cada fecha de muestreo mediante el uso del programa Surfer 9.

Es necesario saber si la infestación de la plaga era general en las parcelas de estudio. Para ello era importante conocer qué zonas estaban infestadas y el porcentaje que representan en el total de la parcela. Ello puede determinar la aplicación de las medidas de control y el costo económico. Su determinación se llevó a cabo mediante el software Surfer 9 (Surface Mapping System, Golden Software Inc., EEUU).

RESULTADOS

Las poblaciones de *Copturus aguacatae* presentaron una distribución espacial agregada. Los modelos de los semivariogramas se ajustaron en su mayoría al modelo esférico; sin embargo, en algunas fechas de muestreo (2 de abril en Donato Guerra, 2 de febrero en Temascaltepec, 1 de enero y 1 de febrero en Tenancingo) se ajustaron al modelo exponencial o al modelo gaussiano (1 enero en Temascaltepec) (Tabla I).

En todos los modelos ajustados se presentó un efecto pepita igual a cero, este valor obtenido en la pepita es indicativo de que la escala de muestreo utilizada fue la adecuada y el error de muestreo es mínimo. Los valores del rango estuvieron comprendidos entre 32 m, y 52 m, en el municipio de Coatepec Harinas, en Donato Guerra los valores de ubicaron entre 36.1 m y 136 m, en Temascaltepec el rango fluctuó de 28.4 m a 45.6 m y 24 m a 42 m en el municipio de Tenancingo (Tabla I). Todos los modelos presentaron un alto nivel de dependencia espacial para cada una de las fechas de muestreo.

Los modelos de la distribución espacial de barrenador en las parcelas estudiadas se validaron con los parámetros estadísticos. La media de las poblaciones de *C. aguacatae* en el municipio de Coatepec Harinas fluctuó entre 0.78 en marzo a 4.42 individuos por árbol en el mes de junio, en el municipio de Donato Guerra la media poblacional se ubicó entre 1.01 en el mes de enero a 5.08 individuos en el mes de junio y para el municipio de Temascaltepec se

encontraron valores poblacionales de 0.60 en el mes de febrero y la media más alta se obtuvo al mes de junio con 4.24 individuos por árbol, finalmente, en el municipio de Tenancingo los valores de media poblacional estuvieron entre 0.37 y 4.98 individuos por planta para los meses de febrero y junio respectivamente (Tabla II). Las densidades más altas se presentaron en el mes de junio, ya que es cuando empiezan a emerger los adultos, mientras que las densidades más bajas fueron en los primeros meses del año, ya que de acuerdo a su ciclo biológico en esos meses hay muy poca presencia del insecto en los árboles de aguacate.

Tabla I. Parámetros (efecto pepita, meseta y rango) de los modelos ajustados a los semivariogramas de *Copturus aguacatae* en los municipios de Coatepec Harinas, Donato Guerra, Temascaltepec y Tenancingo.

Fecha	Muestras	Modelo	Pepita	Meseta	Rango	Pepita/ Meseta	Nivel de dependencia espacial
Coatepec Harinas							
Enero	1	Esférico	0	1.32	35.2	0	Alto
Enero	2	Esférico	0	1.58	40	0	Alto
Febrero	1	Esférico	0	1.58	32	0	Alto
Febrero	2	Esférico	0	1.98	38.4	0	Alto
Marzo	1	Esférico	0	1.58	38.4	0	Alto
Marzo	2	Esférico	0	1.30	33.6	0	Alto
Abril	1	Esférico	0	1.38	40	0	Alto
Abril	2	Esférico	0	1.96	50	0	Alto
Mayo	1	Esférico	0	2.96	48	0	Alto
Mayo	2	Esférico	0	3.08	52	0	Alto
Junio	1	Esférico	0	3.26	42	0	Alto
Junio	2	Esférico	0	3.87	38	0	Alto
Donato Guerra							
Enero	1	Esférico	0	1.60	38	0	Alto
Enero	2	Esférico	0	1.21	36.1	0	Alto
Febrero	1	Esférico	0	1.58	43.7	0	Alto
Febrero	2	Esférico	0	1.58	41.8	0	Alto
Marzo	1	Esférico	0	2.42	39.9	0	Alto
Marzo	2	Esférico	0	1.99	37.8	0	Alto
Abril	1	Esférico	0	2.29	39	0	Alto

Abril	2	Exponencial	0	1.13	136.8	0	Alto
Mayo	1	Esférico	0	3.16	45.6	0	Alto
Mayo	2	Esférico	0	3.19	49.4	0	Alto
Junio	1	Esférico	0	3.40	41.8	0	Alto
Junio	2	Esférico	0	3.30	43.7	0	Alto
Temascaltepec							
Enero	1	Gaussiano	0	1.09	28.4	0	Alto
Enero	2	Esférico	0	1.10	34.2	0	Alto
Febrero	1	Esférico	0	1.66	45.6	0	Alto
Febrero	2	Exponencial	0	0.65	32.3	0	Alto
Marzo	1	Esférico	0	1.15	39	0	Alto
Marzo	2	Esférico	0	2	34.2	0	Alto
Abril	1	Esférico	0	2.68	34.5	0	Alto
Abril	2	Esférico	0	2	45.6	0	Alto
Mayo	1	Esférico	0	2.75	34.5	0	Alto
Mayo	2	Esférico	0	2.48	37.5	0	Alto
Junio	1	Esférico	0	3.52	45	0	Alto
Junio	2	Esférico	0	3.26	30	0	Alto
Tenancingo							
Enero	1	Exponencial	0	1.23	24	0	Alto
Enero	2	Esférico	0	1.22	28	0	Alto
Febrero	1	Exponencial	0	0.83	38	0	Alto
Febrero	2	Esférico	0	0.42	32	0	Alto
Marzo	1	Esférico	0	3.33	42	0	Alto
Marzo	2	Esférico	0	2.41	36	0	Alto
Abril	1	Esférico	0	1.65	36	0	Alto
Abril	2	Esférico	0	3.87	34.2	0	Alto
Mayo	1	Esférico	0	2.67	36	0	Alto
Mayo	2	Esférico	0	2.58	40	0	Alto
Junio	1	Esférico	0	2.69	32.3	0	Alto
Junio	2	Esférico	0	3.51	38	0	Alto

Tabla II. Valores de los estadísticos de la validación cruzada de los semivariogramas obtenidos en los muestreos en el municipio de Coatepec Harinas, Donato Guerra, Temascaltepec y Tenancingo: media de los errores de estimación (MEE), error cuadrático medio (ECM) y error cuadrático medio adimensional (ECMA).

Mes	Muestreo	Media muestral	Varianza Muestral	MEE	Varianza de los errores	ECM	ECMA
Coatepec Harinas							
Enero	1	1.06	1.53	0.08ns	1.21	0.11	1.12
Enero	2	1.16	1.55	0.10ns	1.07	0.08	1.06
Febrero	1	1.03	1.73	0.14ns	1.26	0.13	1.10
Febrero	2	1.06	2.00	0.09ns	1.68	0.10	1.14
Marzo	1	0.91	1.69	0.11ns	1.33	0.14	1.07
Marzo	2	0.78	1.28	0.13ns	1.01	0.06	1.11
Abril	1	0.93	1.50	0.10ns	1.37	0.09	1.12
Abril	2	2.55	2.37	0.07ns	1.95	0.10	1.08
Mayo	1	3.49	3.67	0.12ns	2.44	0.11	1.13
Mayo	2	4.02	3.95	0.06ns	2.82	0.08	1.09
Junio	1	3.94	3.80	0.11ns	2.76	0.12	1.11
Junio	2	4.42	4.44	0.12ns	3.15	0.07	1.10
Donato Guerra							
Enero	1	1.20	1.72	0.11ns	1.47	0.10	1.13
Enero	2	1.01	1.34	0.07ns	1.09	0.13	1.10
Febrero	1	1.10	1.78	0.13ns	1.29	0.09	1.09
Febrero	2	1.08	1.69	0.14ns	1.38	0.14	1.11
Marzo	1	2.66	3.02	0.10ns	2.66	0.11	1.08
Marzo	2	2.19	2.56	0.09ns	2.10	0.08	1.14
Abril	1	2.38	2.68	0.11ns	1.99	0.12	1.12
Abril	2	2.84	1.26	0.06ns	1.05	0.07	1.10
Mayo	1	3.31	3.52	0.10ns	2.72	0.10	1.06
Mayo	2	3.95	4.06	0.12ns	3.54	0.12	1.13
Junio	1	4.64	4.08	0.08ns	3.27	0.11	1.11
Junio	2	5.08	3.75	0.14ns	3.19	0.09	1.12
Temascaltepec							
Enero	1	1.28	1.38	0.10ns	1.05	0.06	1.09
Enero	2	1.29	1.37	0.12ns	1.18	0.10	1.11
Febrero	1	0.98	1.70	0.14ns	1.36	0.14	1.14
Febrero	2	0.60	0.68	0.11ns	0.49	0.07	1.12
Marzo	1	1.47	1.20	0.10ns	0.96	0.09	1.10
Marzo	2	2.36	2.25	0.08ns	1.34	0.11	1.08

Abril	1	3.50	3.33	0.06ns	2.16	0.14	1.11
Abril	2	3.17	2.56	0.09ns	1.81	0.13	1.06
Mayo	1	3.51	3.34	0.12ns	2.85	0.12	1.13
Mayo	2	3.53	3.27	0.11ns	2.72	0.10	1.07
Junio	1	4.14	4.14	0.06ns	3.28	0.07	1.12
Junio	2	4.8	4.24	0.14ns	3.19	0.11	1.10
Tenancingo							
Enero	1	1.03	1.41	0.14ns	1.04	0.06	1.12
Enero	2	0.94	1.29	0.12ns	0.83	0.10	1.13
Febrero	1	0.75	0.89	0.10ns	0.69	0.09	1.06
Febrero	2	0.37	0.43	0.07ns	0.24	0.11	1.09
Marzo	1	2.97	3.57	0.09ns	2.64	0.14	1.11
Marzo	2	3.00	2.58	0.11ns	2.07	0.11	1.08
Abril	1	2.82	2.30	0.12ns	1.90	0.12	1.14
Abril	2	3.16	4.29	0.09ns	3.26	0.10	1.12
Mayo	1	3.26	3.29	0.10ns	2.77	0.07	1.07
Mayo	2	3.59	3.34	0.12ns	2.91	0.13	1.10
Junio	1	4.30	3.44	0.08ns	3.08	0.14	1.12
Junio	2	4.98	3.88	0.13ns	3.22	0.11	1.11

ns: no significativo al $P \leq 0.05$

Los mapas de la superficie infestada mostraron que las poblaciones de *C. aguacatae* se ubicaron en centros de agregación dentro de las zonas de estudio. En el municipio de Coatepec Harinas los centros de agregación estuvieron ubicados en lo que es la parte central hacia la izquierda del mapa y la parte superior (Figura 1). Para el municipio de Donato Guerra estos centros de agregación se encontraron ubicados hacia la parte izquierda inferior del mapa (Figura 2). En Temascaltepec los centros estuvieron hacia los bordes del mapa, variando de izquierda a derecha y de forma general hacia la parte inferior (Figura 3). Finalmente en Tenancingo estos centros de agregación se encontraron en la parte izquierda y parte inferior del mapa (Figura 4).

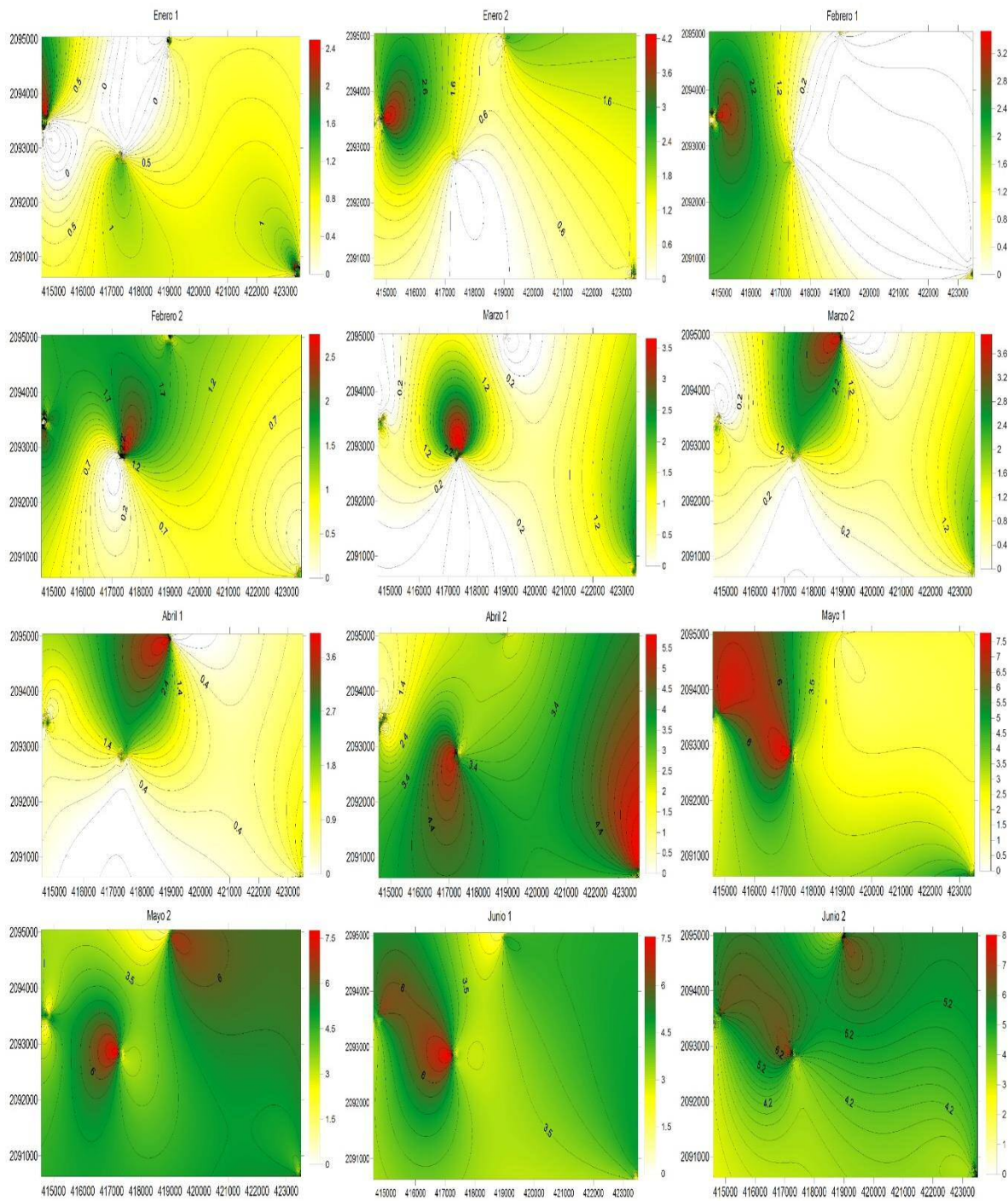


Figura 1. Mapas de densidad de las poblaciones de *Copturus aguacatae* obtenidos en los muestreos en el municipio de Coatepec Harinas, México.

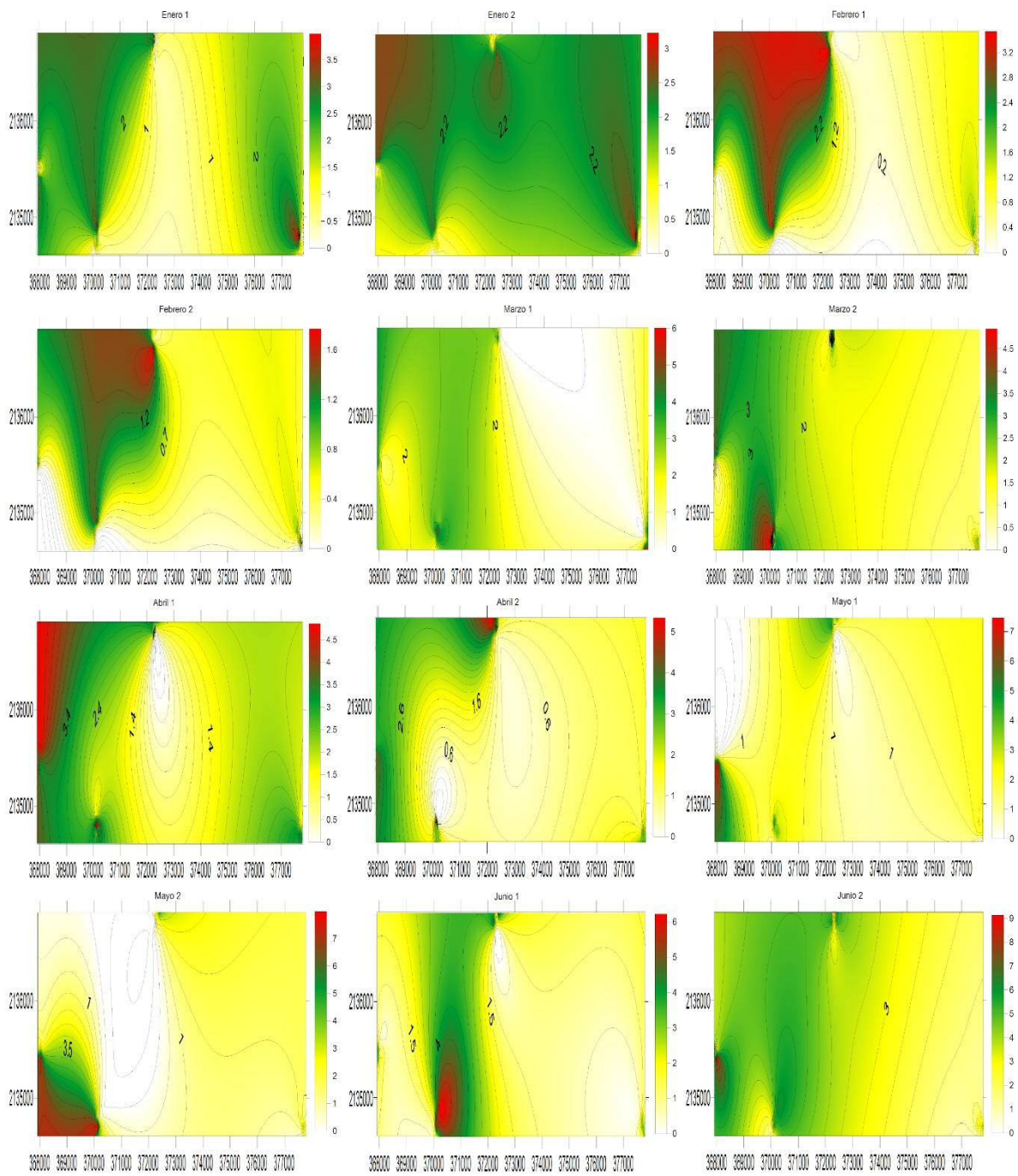


Figura 2. Mapas de densidad de las poblaciones de *Copturus aguacatae* obtenidos en los muestreos en el municipio de Donato Guerra, México.

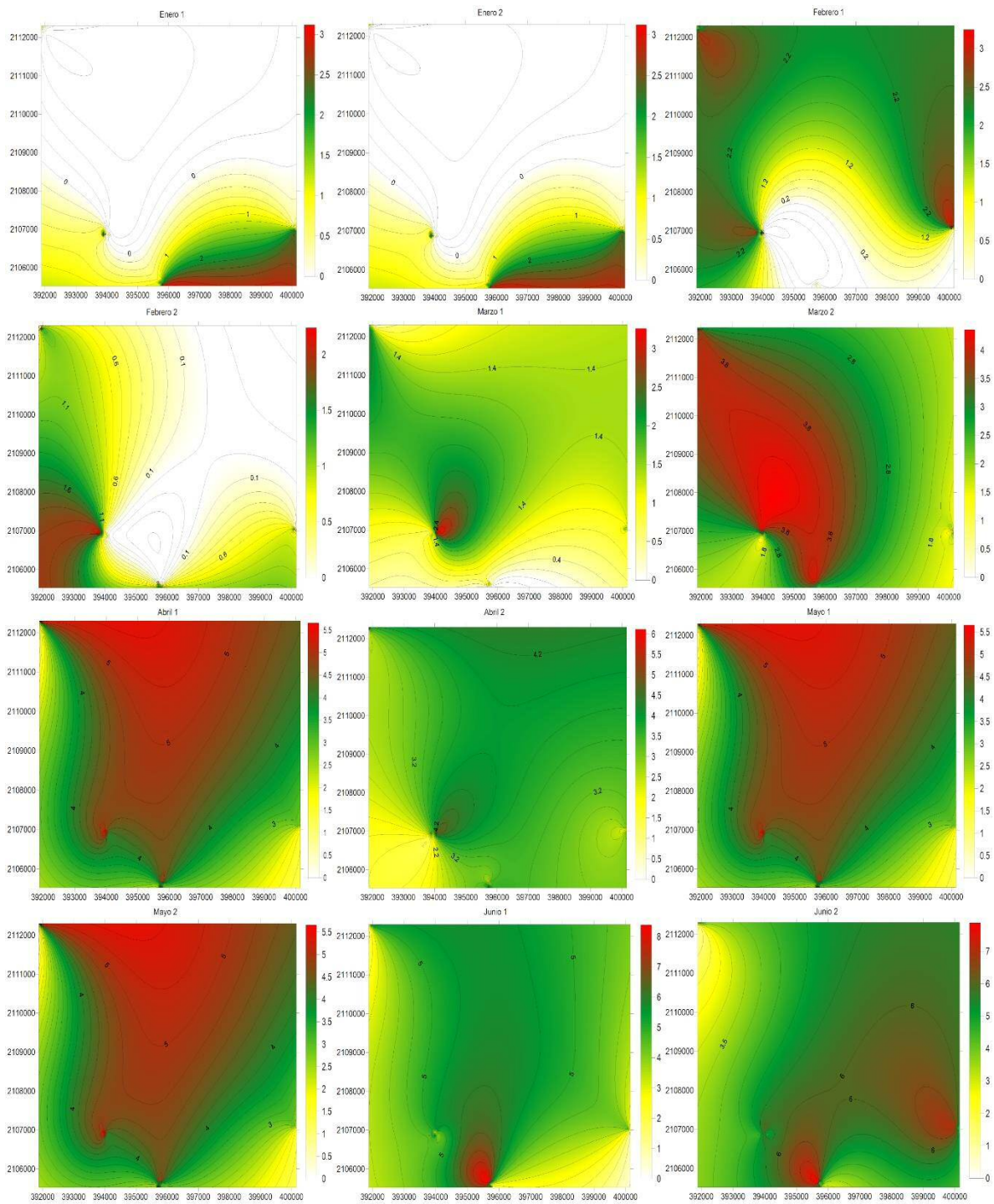


Figura 3. Mapas de densidad de las poblaciones de *Copturus aguacatae* obtenidos en los muestreos en el municipio de Temascaltepec, México.

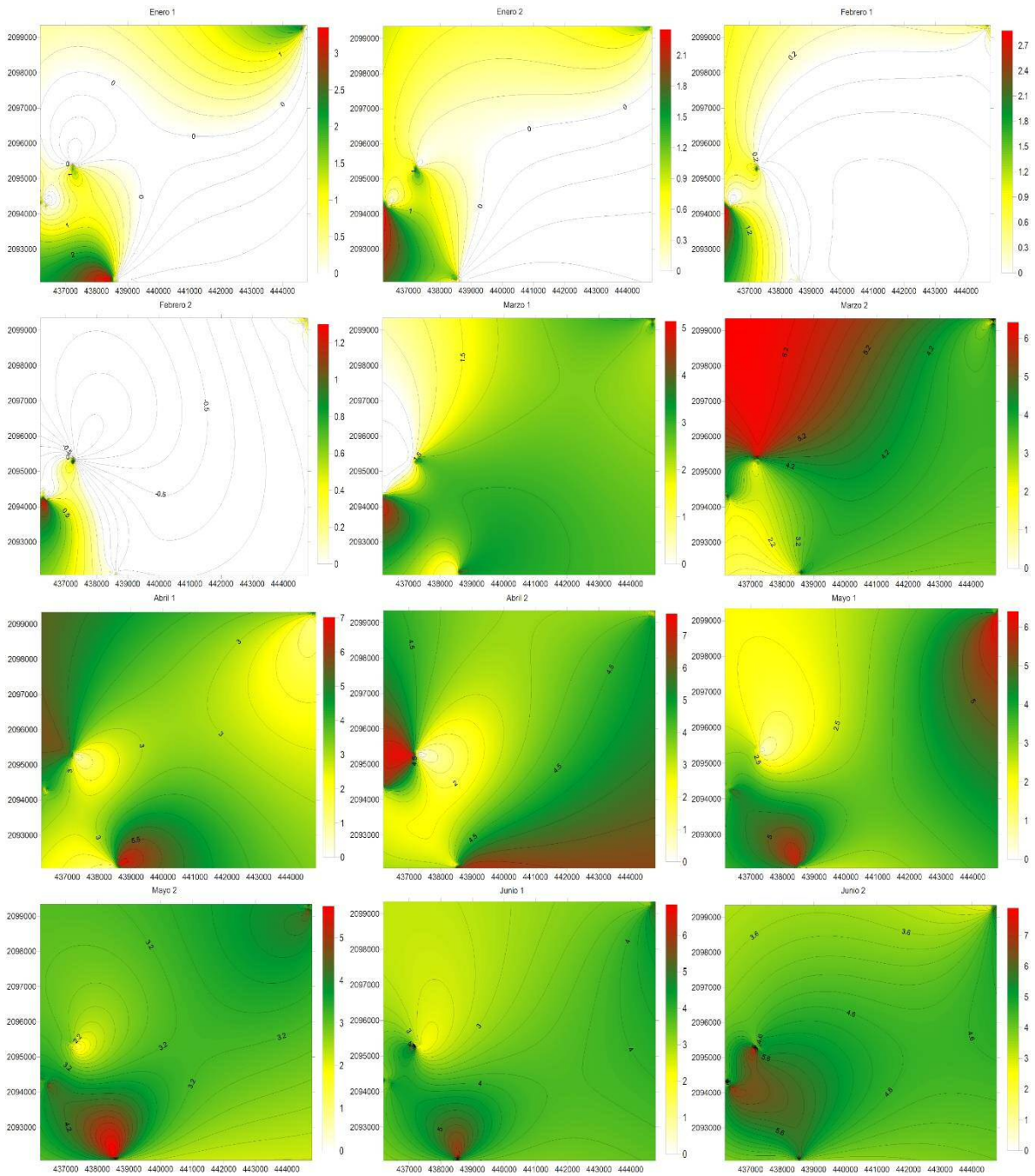


Figura 4. Mapas de densidad de las poblaciones de *Copturus aguacatae* obtenidos en los muestreos en el municipio de Tenancingo, México.

En el municipio de Coatepec Harinas se encontró que en los primeros cuatro meses de muestreo se alcanzaron porcentajes de superficie con presencia del insecto de un máximo de 97 %, sin embargo en los meses de mayo y junio la diseminación del insecto alcanzó el 100 % de la parcela, para el municipio de Donato Guerra el insecto se distribuyó en un 98 % de superficie de la parcela, posteriormente en febrero, marzo y abril bajo teniendo valores de 39 %, a 82 %, para en mayo y junio alcanzar el 100 % de superficie ocupada por el insecto plaga, con respecto al municipio de Temascaltepec en enero y febrero se obtuvieron niveles de 38 %, a 72 %, y para los meses de marzo, abril, mayo y junio subieron los niveles de presencia llegando al 100 %, de superficie ocupada por el insecto, finalmente para el municipio de Tenancingo solo en marzo y mayo se obtuvo el 100 %, de la superficie con presencia del insecto, por lo que en los otros meses es posible ver áreas libres de *C. aguacatae* (Tabla III).

Tabla III. Porcentaje de superficie infestada y no infestada en el municipio de Coatepec Harinas

Muestreo	Número de muestreo	Superficie infestada %	Superficie no infestada %
Coatepec Harinas			
Enero	1	77	23
Enero	2	79	21
Febrero	1	60	40
Febrero	2	82	18
Marzo	1	48	52
Marzo	2	45	55
Abril	1	39	61
Abril	2	97	3
Mayo	1	100	0
Mayo	2	100	0
Junio	1	100	0
Junio	2	100	0
Donato Guerra			
Enero	1	98	2
Enero	2	98	2
Febrero	1	68	32

Febrero	2	65	35
Marzo	1	60	40
Marzo	2	99	1
Abril	1	77	23
Abril	2	79	21
Mayo	1	100	0
Mayo	2	100	0
Junio	1	100	0
Junio	2	100	0
<hr/>			
Temascaltepec			
Enero	1	38	62
Enero	2	38	62
Febrero	1	72	28
Febrero	2	47	53
Marzo	1	87	13
Marzo	2	100	0
Abril	1	100	0
Abril	2	100	0
Mayo	1	100	0
Mayo	2	100	0
Junio	1	100	0
Junio	2	100	0
<hr/>			
Tenancingo			
Enero	1	61	39
Enero	2	59	41
Febrero	1	65	35
Febrero	2	78	22
Marzo	1	86	14
Marzo	2	100	0
Abril	1	99	1
Abril	2	99	1
Mayo	1	98	2
Mayo	2	100	0
Junio	1	89	11
Junio	2	98	2
<hr/>			

Cabe mencionar que la distribución de la plaga en el 100 % de la parcela en algunos muestreos de los cuatro municipios indica que la plaga se encuentra distribuida en toda la zona de muestreo, sin embargo, está presente en diferentes densidades de población, en algunas áreas con mayores individuos y en otras con muy pocos.

Discusión

Se registró presencia de *C. aguacatae* en todos los muestreos realizados, sin embargo la mayor infestación de insectos se dio en los meses de mayo y junio, ya que es cuando hay mayor emergencia de adultos. En los meses en los que no se encontró gran actividad de adultos dentro de las parcelas de aguacate se debe a que en esos meses la etapa de desarrollo del insecto se encuentra en estado larval las cuales se ubican dentro de las ramas del árbol. Gasca-Corona y Equihua-Martínez, 1999 encontraron que los adultos de *C. aguacatae* aparecen a principios de junio con una máxima actividad de adultos en julio y septiembre.

Se logró realizar la modelización espacial de *C. aguacatae* en las plantaciones de aguacate, donde se observó la estructura agregada la plaga, la cual fue posible realizar con el uso de la geoestadística. La geoestadística permite elaborar mapas de densidad de la distribución espacial de un organismo (Rossi *et al.*, 1992, Ribes *et al.*, 1998). En comparación con la estimación de la distribución espacial que realiza la estadística clásica, los modelos geoestadísticos proporcionan una medida más directa de la dependencia espacial, ya que tienen en cuenta la naturaleza bidimensional de la distribución de los organismos a través de su exacta localización espacial y es independiente de la relación entre la media y la varianza (Samper y Carrera, 1996). Solares *et al.*, (2011) utilizaron la geoestadística para estudiar la distribución espacial de trips en plantaciones de aguacate y utilizando el krigado ordinario obtuvieron mapas de infestación de la plaga, así mismo Ramírez y Esquivel (2013) utilizando el krigado ordinario obtuvieron mapas de infestación de gusano soldado (*Spodoptera exigua*) en el cultivo de maíz y pudieron establecer su distribución espacial.

El uso de herramientas para modelizar la distribución espacial de insectos es muy eficiente y de gran importancia para determinar la distribución espacial de diferentes insectos plaga que causan un daño económico a los cultivos. Existen trabajos tales como el de Sciarretta *et al.* (2008) quienes encontraron una distribución agregada de *Lobesia botrana* en parcelas de uva y con ajuste al modelo esférico, en cuanto a Contreras *et al.* (2016) realizaron la distribución

espacial de la enfermedad *Candidatus liberibacter solanacearum* y de su vector *Bactericera cockerelli* Sulc en papa, en el cual obtuvieron una estructura agregada tanto de huevos, ninfas y adultos, Duarte *et al.* (2015) analizaron la distribución espacial de *Grapholita molesta* (Busk) y encontraron una distribución agregada ajustándose a modelos esféricos, gaussianos y exponenciales. Contrario a esto Carrillo *et al.* (2004) realizaron un estudio de la distribución espacial de larvas de escarabaeidos en plantas cultivadas y sus resultados mostraron que las larvas estudiadas no tenían una distribución agregada, esto pudo haber estado relacionado con la amplia polifagia de las larvas.

El comportamiento de *C. aguacatae* en forma agregada dentro de las plantaciones de aguacate permite sugerir que se pueden aplicar medidas de control de forma dirigida hacia las zonas específicas de infestación dentro de las parcelas de aguacate reduciendo las poblaciones de la plaga y evitando hacer aplicaciones generalizadas, lo cual nos va a generar un ahorro en los insumos. Es importante mencionar que este tipo de aplicaciones se tienen que hacer de forma inmediata. Lo anterior concuerda con Rong *et al.* (2006) y Esquivel y Jasso (2014) quienes, respectivamente propusieron el manejo de *Locusta migratoria manilensis* Linnaeus y del gusano soldado (*Spodoptera exigua*) en el cultivo de maíz en áreas específicas dentro de la parcela donde estaba la presencia de la plaga. Milonas *et al.* (2016) recomiendan dirigir el control a áreas específicas de infestación de *Helicoverpa armigera* (Hübner) y *Pectinophora gossypiella* (Saunders) en el cultivo de algodón.

Los valores de cero encontrados en el efecto pepita en todos los modelos ajustados, permite afirmar que la escala de muestreo utilizada fue la adecuada y el error de muestreo fue mínimo (Oliver y Webster, 1998), esto sugiere que los modelos ajustados tienen un 98 % de confiabilidad. En consecuencia es válido deducir que más del 90 % de la variación total es debido a la dependencia espacial en la escala de muestreo utilizada; dicho de otra manera, más del 90 % de la variación de la distribución de las poblaciones de *C. aguacatae* se logró explicar por la estructura espacial establecida con los semivariogramas (Liebhold y Sharov, 1998). Ramírez *et al.* (2011) encontraron valores de pepita igual a cero en un estudio de la distribución espacial de *Bactericera cockerelli* en papa. Valores de pepita iguales fueron obtenidos por Acosta *et al.* (2017) y Maldonado *et al.* (2016) en estudios de la distribución espacial de trips en aguacate.

El ajuste al modelo esférico es indicativo que dentro del área de muestreo hay zonas en las que se manifiesta más *C. aguacatae* respecto al resto de puntos muestreados, por lo tanto existen focos de infestación de la plaga que avanzan desde una fuente puntual, el modelo exponencial explica que la distribución de *C. aguacatae* se da de forma agregada con límites irregulares o aleatorios dentro de la zona de muestreo y la distribución ajustada al modelo gaussiano refleja que los centros de agregación se manifiestan de forma continua dentro del área de muestreo, infiriendo la existencia de diversos factores que influyen en la diseminación de *C. aguacatae* de una forma más rápida (Ramírez y Porcayo, 2008).

Moral (2003) al realizar la distribución espacial de *H. armigera* y sus variogramas teóricos, encontró que algunos se ajustaron a modelos exponenciales, con un efecto pepita. Contreras *et al.* (2016) encontraron que los semivariogramas para huevos y ninfas de *B. cockerelli* se ajustaron al modelo esférico, lo que indicó la agregación de la plaga en ciertas zonas de la parcela. Quiñonez *et al.* (2015) en un estudio de distribución espacial de trips en gladiolo encontraron que varios de sus semivariogramas se ajustaron al modelo Gaussiano con efecto pepita cero.

La distribución de *C. aguacatae* presentó un nivel de dependencia espacial alto en todos los modelos ajustados, el tener un nivel de dependencia espacial alto es indicativo de que existe una fuerte relación entre la plaga y los puntos de muestreo, lo cual sugiere que las poblaciones de *C. aguacatae* dependen entre si y el nivel de agregación es alto, entre más fuerte sea la dependencia espacial es más posible que los centros de agregación se mantengan más fuertes y por lo tanto posiblemente el insecto va a formar nichos ecológicos que sean estables a través del tiempo (Esquivel y Jasso, 2014). El alto nivel de dependencia espacial resultó de dividir el efecto pepita entre la meseta que fue menor a 25 %, para todos los semivariogramas. Acosta *et al.* (2017) en un estudio de la distribución espacial de trips en aguacate utilizando la geoestadística encontraron que los trips mostraron una estructura espacial agregada con un nivel de dependencia espacial alto en todos los muestreos realizados.

En los mapas de densidad que se obtuvieron mediante la técnica del krigado ordinario se observan los centros de agregación en los que se distribuyó el insecto dentro del cultivo de aguacate, esto resulta sumamente importante a la hora de proteger los cultivos, ya que nos permite dirigir de forma precisa las medidas de control hacia puntos específicos (Weisz *et*

al., 1996; Fleischer *et al.*, 1999; Ribes *et al.*, 1998; Rong *et al.*, 2006; Ramírez *et al.*, 2011; Esquivel y Jasso, 2014; Maldonado *et al.*, 2016). Esto contribuye a que la población plaga no desarrolle resistencia a los insecticidas, ya que no todos insectos residentes en la plantación son expuestos al tóxico (Maldonado *et al.*, 2017). Llevar a cabo estas acciones, evitara una mayor distribución de *C. aguacatae* a niveles poblacionales con los que pueda causar un mayor daño en el cultivo y con la consecuencia de tener pérdidas económicas. El comportamiento de *C. aguacatae* ubicado en focos de infestación permite sugerir que la plaga avanza desde una fuente puntual (Ramírez *et al.*, 2013). Actualmente el manejo que se le da a la plaga es por medio de control químico para combatir los adultos usando el producto Malathion y fumigando de manera general la huerta.

Los mapas obtenidos permitieron visualizar la forma en cómo se distribuye *C. aguacatae* dentro del área de estudio, se observa que la plaga en algunos meses no se distribuyó en el 100 % de la superficie estudiada y las densidades poblacionales de la misma son variables, ya que hay áreas en donde las poblaciones son más altas con respecto a otras en las que hay presencia, pero en niveles poblacionales más bajos. Con el uso de estos mapas se pueden sugerir acciones a los productores para llevar a cabo un manejo integrado de la plaga en la que se pueden emplear métodos de control tales como el control biológico donde se pueden utilizar hongos entomopatógenos como *Beauveria bassiana*, o *Metarhizium anisopliae*, (Coria *et al.*, 2007) que son productos que ya se encuentran de manera comercial, también utilizar insectos parasitoides como *Urosigalphus avocadoe* Gibson (Hernández *et al.*, 2009) el cual es un himenóptero que presenta alta especificidad de larvas por lo cual es útil en el manejo de estas poblaciones. Tanto los hongos entomopatógenos como el parasitoide se aplicaría en los meses donde las poblaciones de adultos son menores y de esta manera regular poblaciones futuras, si estas alternativas no funcionan eficazmente se pasa al control cultural con el uso de podas sanitarias en las que las ramas tienen que ser incineradas para eliminar huevos y larvas de la plaga y tomando en cuenta que los productores de aguacate en el Estado de México tienden a reducir el uso de agroquímicos se tomaría como última opción el control químico con el producto Malathion en aplicaciones al follaje. Todos estos tipos de control han mostrado eficiencia en el manejo de este insecto por lo que son una buena opción para combatir este tipo de plaga.

Gracias a los mapas obtenidos estas medidas pueden dirigirse de manera puntual hacia los lugares específicos donde se encuentra la plaga y esto llevará a tener una disminución en los insumos utilizados para combatir la plaga y a su vez se disminuirá el impacto al medio ambiente.

Jiménez *et al.* (2013) reportaron que las poblaciones de *F. occidentalis* en tomate de cáscara no se distribuyen en la totalidad de las parcelas. Ramírez *et al.* (2013) encontraron que los mapas de infestación de *B. cockerelli* Sulc sobre papa reflejaron una estructura agregada del insecto el cual no invadió el 100 %, de la superficie de la parcela, permitiendo identificar áreas libres de infestación. Contrario a estos estudios, Jiménez *et al.* (2008) determinaron la distribución espacial y mapeo de *Curculio elephas* Gyllenhal en *Quercus ilex* Linneo, ellos elaboraron cuatro mapas de densidad, uno por cada año, utilizando el método de la distancia inversa como interpolador del programa Surfer 7; estos mapas indican que el insecto se localizó por toda la parcela con una distribución espacial agregada. Acosta *et al.* (2017) en un estudio sobre la distribución espacial de trips en parcelas de aguacate, encontraron que los trips se encontraron en el 100 %, de la superficie con una distribución agregada.

La implementación de métodos geoestadísticos en el manejo de este insecto plaga puede ser de gran impacto para los productores de aguacate, ya que permite conocer con mayor precisión el comportamiento espacial de este insecto. La elaboración de mapas al respecto de esa distribución puede ser de gran ayuda para el desarrollo de programas de manejo integrado de *C. aguacatae*.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Acosta, A.D., J. F. Ramírez., R. R. Martínez., D. K. Figueroa., A. V. Lara., y F. I. Maldonado. 2017. Distribución Espacial de Trips spp. (Thysanoptera) y Evaluación de su Control Mediante el Depredador *Amblyseius swirskii* en el Cultivo de Aguacate en México. *Southwestern Entomologist* 42: 435-446.
- Carrillo, R., H. Pape., M. Neira., y O. Balocchi. 2004. Distribución espacial de larvas de dos especies de escarabeidos nativos en respuesta a plantas cultivadas. *Revista Chilena de Entomología* 30: 59-64.

- Contreras, R.A., A. T. Gutiérrez., H. V. Silva., J. R. Sánchez., L. C. Antonio., y J. F. Ramírez. 2016. Distribución espacial de *Candidatus Liberibacter solanacearum* y *Bactericera cockerelli* (Sulc) (Hemiptera: Triozidae) en papa (*Solanum tuberosum* L.). *Southwestern Entomologist* 41: 105–114.
- Coria, A.V.M. 1993. Principales plagas del aguacate en Michoacán Folleto para productores Núm. 19. SAGARPA INIFAP.
- Coria, A.V.M., A. Pescador., E. López., R. Lezama., R. Salgado., M. López., A. Vidales y J. Muñoz. 2007. Autoecología del barrenador de las ramas *Copturus aguacatae* Kissinger (Coleoptera: Curculionidae) del aguacate en Michoacán, México. Proceedings VI World Avocado Congress (Actas VI Congreso Mundial del Aguacate). Viña Del Mar, Chile. 12–16 Nov. 2007. ISBN No 978-956-17-0413-8.
- Duarte, F. M. V. Calvo., A. Borges., y I. B. Scatoni. 2015. Geostatistics and geographic information systems to study the spatial distribution of *Grapholita molesta* (Busck) (Lepidoptera: Tortricidae) in peach fields. *Neotropical Entomology* 44: 319–327.
- Englund, E., y A. Sparks. 1988. GEO-EAS. Geostatistical Environmental Assessment Software. User's guide. U.S. Environmental protection agency document EPA/600/4-88/033. Environmental Monitoring Systems Laboratory, Las Vegas, NV.
- Esquivel, H.V., y G. Y. Jasso. 2014. Distribución espacial y mapeo de gusano soldado en seis localidades del Estado de México, en el año 2011. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5: 923–935.
- Fleischer, S.J., P. E. Blom., D. Emmen., y A. Hower. 1999. Dynamics in the spatial continuity of insect density. Fourth International Conference on Precision Agriculture p. 133–141.
- García, A.M., V. M. Méndez., y A. G. Morales. 1967. El aguacatero: Plagas y enfermedades. *Fotófilo* 56: 12–14.
- García, M.C., R. Mújica., N. Vázquez., y E. Aranda. 1986. Fenología de *Copturus aguacatae* (Coleoptera: Curculionidae) en tres regiones del Estado de Morelos. Memoria del XXI Congreso Nacional de Entomología. Monterrey, Nuevo León. CONACYT, Colegio de Postgraduados, UANL.

- García, F.M. 2004. Aplicación de la geoestadística en las ciencias ambientales. *Revista Ecosistemas* 13: 78–86.
- Gasca-Corona, L., y A. E. Martínez. 1999. Monitoreo del barrenador de ramas del aguacate (*Copturus aguacatae* Kissinger) y estudio de algunos aspectos de su biología y comportamiento en Ziracuaretiro, Michoacán, México p. 53–54.
- Hernández, L.M., M. Saavedra., M.A. Urias y J.G. López. 2009. Registro de *Urosigalphus Avocadoe* Gibson (Hymenoptera: Braconidae) como parasitoide de *Copturus aguacatae* Kissinger (Coleoptera: Curculionidae) en México. *Acta zoológica mexicana* 25(3): 659–661
- Isaaks, E.H., y R. M. Srivastava. 1989. Spatial continuity measures for probabilistic and deterministic geostatistics. *Mathematical Geology* 20: 313–341.
- Jiménez, A., M. López., A. J. González., M. Ocete., y F. Soria. 2008. Distribución espacial y mapeo de *Curculio elephas* Gyllenhal en encina (*Quercus ilex* L.). *Agrociencia* 12: 35–43.
- Jiménez, L.A., J. F. Ramírez., J. R. Sánchez., M. L. Salgado., y L. C. Antonio. 2013. Modelización espacial de *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) en tomate de cáscara por medio de técnicas geoestadísticas. *Revista Colombiana de Entomología* 39: 183–192.
- Journel, A.G., y C. J. Huijbregts. 1978. Mining geostatistics. Academic Press, Londres, Reino Unido 600 p.
- Liebhold, A.M., y A. A. Sharov. 1998. Testing for correlation in the presence of spatial autocorrelation in insect count data. Population and community ecology for insect management and conservation pp. 111–117.
- Maldonado, F.I., J. F. Ramírez., M. A. Rubí., A. N. Xanat., y L. D. Ana. 2016. Distribución espacial de trips en aguacate en Coatepec Harinas, Estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 7: 845–856.

- Maldonado, F.I., J. F. Ramírez., L. D. Ana., R. M. Roberto., A. D. Acosta., y D. K. Figueroa. 2017. Estabilidad Espacial y Temporal de la Distribución de Trips en el Cultivo de Aguacate en el Estado de México. *Southwestern Entomologist* 42: 447-462.
- Milonas, P., C. Gogou., A. Papadopoulou., S. Fountas., V. Liakos., y N. T. Papadopoulos. 2016. Spatio-Temporal Distribution of *Helicoverpa armigera* (Hübner)(Lepidoptera: Noctuidae) and *Pectinophora gossypiella* (Saunders)(Lepidoptera: Gelechiidae) in a Cotton Production Area. *Neotropical entomology* 45: 240-251.
- Moral, F.J. 2003. Analysis of the spatio-temporal distribution of *Helicoverpa armigera* Hb. in a tomato field using a stochastic approach. *Biosystems Engineering* 93: 253-259.
- Naamani, G. 2007. Developments in the avocado world. California Avocado Society pp. 71-76.
- Oliver, M., y R. Webster. 1998. How geostatistics can help you. *Soil Use and Management* 7: 206-217.
- Quiñones, V.R., J. R. Sánchez., A. K. Pedraza., V. A. Castañeda., A. T. Gutierrez., y J. F. Ramírez. 2015. Análisis espacial de Thrips spp. (Thysanoptera) en el cultivo de gladiolo en la región sureste del Estado de México, México. *Southwestern Entomologist* 40: 397-408.
- Ramírez, J.F., y C. E. Porcayo. 2008. Distribución espacial de las ninfas de *Jacobiasca lybica* (Hemiptera: Cicadellidae) en un viñedo en Andalucía, España. *Revista Colombiana de Entomología* 34: 169-175.
- Ramírez, J.F., C. E. Porcayo., y J. R. Sánchez. 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, J.F., y H. V. Esquivel. 2013. Modelación espacial de gusano soldado (*Mythimna unipuncta*) en el cultivar del maíz, en tres municipios del Estado de México. *Boletín del Museo de Entomología de la Universidad del Valle* 13: 1-15.

- Ramírez, J.F., V. M. Solares., D. K. Figueroa., y J. R. Sánchez. 2013. Comportamiento espacial de trips (Insecta: Thysanoptera), en plantaciones comerciales de aguacate (*Persea americana* Mill.) en Zitácuaro, Michoacán, México. *Acta Zoológica Mexicana* 29: 545-562.
- Ribes, D.M., C. M. Bascuñana., y H. J. Avilla. 1998. Estudio de la distribución espacial de *Cydia pomonella* (L.) y *Pandemis heparana* (Denis & Schiffermüller) en Torregrossa (Lleida) mediante métodos geoestadísticos. *Boletín de Sanidad Vegetal Plagas* 24: 935-948.
- Rong, J., M. L. Dian., Y. X. Bao., L. Zhe., y L. Dong. 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.E., J. M. Mulla., A. G. Journel., y E. H. Franz. 1992. Geostatistical Tools for Modeling and interpreting Ecological Spatial Dependence. *Ecological Monographs* 62: 277-314.
- SAGARPA. 2015. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. SIAP. <http://www.siap.gob.mx/> fecha de consulta: 7 de noviembre de 2015.
- Samper, F. J., y J. Carrera. 1996. Geoestadística, aplicaciones a la hidrogeología. Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería, España p. 484
- SENASICA. 2010. Programa de trabajo de la campaña plagas cuarentenarias del aguacatero a operar con recursos del componente de sanidad e inocuidad del programa soporte. SAGARPA-Gobierno del Estado de Michoacán, México 35p.
- Sciarretta, A., A. Zinni., A. Mazzocchetti., y P. Trematerra. 2008. Spatial Analysis of *Lobesia botrana* (Lepidoptera: Tortricidae) Male Population in a Mediterranean Agricultural Landscape in Central Italy. *Environmental Entomology* April 2008. 37: 382-390.
- Solares, V. M., J. F. Ramírez., y J. R. Sánchez. 2011. Spatial distribution of thrips (Insecta: Thysanoptera) in avocado cultivation (*Persea americana* Mill). *Bulletin of the Museum of Entomology of the Universidad del Valle* 12: 1-12.

Weisz, R., J. Fleischer., Z. Smilowitz. 1996. Site specific integrated pest management for high value crops: Impact on potato pest management. *Journal of Economic Entomology* 89: 501-509.

[Inicio](#) > [Usuario/a](#) > [Autor/a](#) > **Envíos activos**

Envíos activos

> [ACTIVO/A](#) > [ARCHIVAR](#)

ID.	DD-MM ENVIAR	SECC	AUTORES/AS	TÍTULO	ESTADO
2225	07-15	Art	Rivera Martínez, Ramírez Dávila,...	COMPORTAMIENTO ESPACIAL DE COPTURUS AGUACATAE...	EN REVISIÓN

Elementos 1 - 1 de 1

Empezar un nuevo envío

HAGA CLIC [AQUÍ](#) para ir al primer paso del proceso de envío en cinco pasos.

Enlaces refeedback

> [TODOS](#) > [NUEVO](#) > [PUBLICADO](#) > [OMITIDOS](#)

FECHA DE CREACIÓN	VISITAS	URL	ARTÍCULO	TÍTULO	ESTADO	ACCIÓN
----------------------	---------	-----	----------	--------	--------	--------

Usuario/a

Ha iniciado sesión como...
jframirezd

- > [Mi perfil](#)
- > [Cerrar sesión](#)

Notificaciones

- > [Vista](#)
- > [Gestionar](#)

Autor/a

Envíos

- > [Activo/a \(1\)](#)
- > [Archivar \(0\)](#)
- > [Nuevo envío](#)

Idioma

Escoge idioma



Comportamiento espacial de *Copturus aguacatae* en el cultivo de aguacate

Comportamiento espacial de *Copturus aguacatae* (Coleoptera: Curculionidae) en el cultivo de aguacate (*Persea americana*) utilizando el método del SADIE.

Spatial behavior of *Copturus aguacatae* (Coleoptera: Curculionidae) in the cultivation of avocado (*Persea americana*) using the SADIE method.

Roberto Rivera Martínez¹, José Francisco Ramírez Dávila^{2*}, Agustín David Acosta Guadarrama¹, Ana Verónica Lara Díaz¹, Fatima Irais Maldonado Zamora¹.

¹ Doctor en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales. Universidad Autónoma del Estado de México. rob_m@live.com.mx; davinn@hotmail.com; sakua_02@hotmail.com; irita_3@hotmail.com

² D. Laboratorio de Investigaciones Entomológicas y Tecnologías en Agricultura de Precisión; Facultad de Ciencias Agrícolas, UAEM. Cerrillo Piedras Blancas s/n km 15 Carr. Toluca – Ixtlahuaca, entronque al Cerrillo. C.P. 50200; Toluca, Estado de México. E-mail: jframirez@uaemex.mx

*Autor de correspondencia: jframirez@uaemex.mx

Rivera-Martínez, R., Ramírez-Dávila, J.F., Acosta-Guadarrama, A.D., Lara-díaz, AV., Maldonado-Zamora, F.I. Comportamiento espacial de *Copturus aguacatae* (Coleoptera: Curculionidae) en el cultivo de aguacate (*Persea americana*) utilizando el método del SADIE.

RESUMEN. El cultivo de aguacate presenta diferentes problemas fitosanitarios que afectan su buen desarrollo y disminuyen la producción. Uno de estos problemas es el barrenador de la rama (*Copturus aguacatae*) este insecto genera daños al barrenar la médula de la rama y en grandes infestaciones causa aborto de flores y rompimiento de ramas, además es una plaga de interés cuarentenario. Las poblaciones de este insecto y la importancia económica que representa hacen importante implementar estudios que permitan conocer la distribución espacial del barrenador

dentro de las huertas de aguacate y de esta forma poder aplicar medidas de control que sean eficaces. Por lo anterior el objetivo de este estudio fue analizar la distribución espacial de *Copturus aguacatae* en el cultivo de aguacate utilizando la técnica del SADIE. La estabilidad espacio temporal a corto plazo de la plaga se determinó con el índice de asociación de SADIE. Los resultados arrojaron que las poblaciones del barrenador de la rama se encuentran distribuidas de forma agregada dentro de las áreas de estudio en varios centros de agregación, con los mapas de densidad elaborados mediante la técnica del Krigado se corroboró la distribución antes mencionada. No se logró determinar una estabilidad espacial y temporal de las poblaciones del insecto en todas las fechas de muestreo. Las infestaciones no se presentaron en el 100 % de la superficie de las parcelas de aguacate, lo cual resulta importante, ya que así se pueden dirigir las medidas de control sobre áreas específicas de infestación.

Palabras Clave: Mapas de infestación, SADIE, Superficie infestada.

ABSTRACT. The cultivation of avocado presents different phytosanitary problems that affect its good development and decrease production. One of these problems is the borer of the branch (*Copturus aguacatae*) this insect generates damage by drilling the marrow of the branch and in large infestations causes abortion of flowers and branch breaking, it is also a plague of quarantine interest. The populations of this insect and the economic importance it represents make it important to implement studies that allow knowing the spatial distribution of the borer within the avocado orchards and in this way to be able to apply effective control measures. Therefore, the objective of this study was to analyze the spatial distribution of *Copturus aguacatae* in the avocado crop using the SADIE technique. The short-term temporal space stability of the pest was determined with the SADIE association index. The results showed that the populations of the borer of the branch are distributed in aggregate form within the study areas in several aggregation centers, with the density maps elaborated by means of the Krigado technique, the aforementioned distribution was corroborated. It was not possible to determine spatial and temporal stability of insect populations at

all sampling dates. The infestations did not occur in 100% of the surface of the avocado plots, which is important, since this way control measures can be directed on specific areas of infestation.

Keywords: Infestation maps, infested Surface, SADIE.

Introducción

El aguacate (*Persea americana* Mill.) es la cuarta fruta más importante en el mundo. Su producción mundial se estima en 4,2 millones de toneladas, siendo México el principal productor con una producción promedio anual de 1 107 135,16 ton en 134 322,12 ha (SIAP, 2017). La producción nacional de aguacate en México ha mostrado una tendencia creciente en superficie cultivada y volumen de producción, con predominio de la variedad Hass, la cual destaca por su demanda a nivel mundial (Naamani, 2007). En México, el principal productor es Michoacán, seguido por Nayarit, Morelos y México (SIAP, 2017). El cultivo del aguacate presenta una gran diversidad de plagas, una de ellas es el barrenador de la rama (*Copturus aguacatae*) (Kissinger), el cual es nativo de México y solo se ha reportado atacando al aguacate (*Persea americana* Mill.) y sus diferentes variedades (García *et al.*, 1986). Se localiza en todas las plantaciones de aguacate de México, afectándolas considerablemente. La presencia de esta plaga representa un obstáculo para la exportación del fruto, por estar catalogada como plaga de interés cuarentenario, esta situación genera pérdidas económicas ya que el aguacate en lugar de exportarse y venderse a precios altos se tiene que comercializar localmente a precios diferentes a los exportados. Es por eso que en México la regulación de esta plaga se establece en la norma oficial mexicana NOM-066-FITO-2002, la cual tiene especificaciones para el manejo fitosanitario y movilización del aguacate, la cual se aplica bajo la campaña fitosanitaria de plagas reglamentadas de aguacatero.

Los adultos de *C. aguacatae* son de cuerpo romboideo miden de 3,77 a 5,0 mm de largo y de 2,0 a 2,5 mm de ancho, de color negro a rojizo, con pequeñas escamas de color blanco, rojo, naranja, y negro que le dan tonalidades pardo-rojizas; las hembras son más grandes que los machos

(SENASICA, 2010). El ataque se detecta por la presencia de pequeños puntos de color blanco de consistencia polvosa en las ramas (García *et al.*, 1967). Los daños consisten en lesiones producidas por las larvas que barrenan a través de la epidermis hasta llegar a la médula de la rama; asimismo, los adultos causan lesiones en los brotes tiernos y en esas lesiones las hembras ovipositan. Estos daños causan la defoliación de la planta provocando el aborto de flores y frutos, y consecuentemente la disminución de la producción.

El monitoreo de las poblaciones de las plagas es un procedimiento muy importante para poder llevar a cabo un manejo adecuado, ya que con ello se puede tener un panorama de cómo se encuentra distribuido dentro de las parcelas de estudio. Para poder utilizar adecuadamente la información derivada del monitoreo es necesario establecer puntos de muestreo que generen datos fehacientes con los cuales, en este caso, se podrá visualizar el comportamiento espacial *C. aguacatae*. La infestación de esta plaga hace importante implementar actividades que permitan conocer su ubicación dentro de las parcelas. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue determinar el Análisis espacial de *Copturus aguacatae* en el cultivo de aguacate utilizando las herramientas del SADIE.

Materiales y Métodos

El estudio se llevó a cabo en dos municipios productores de aguacate en el Estado de México: Coatepec Harinas y Donato Guerra. Se establecieron cuatro parcelas por municipio, de dos hectáreas cada una, en cada parcela se muestrearon 50 árboles al azar, dando un total de 200 árboles por municipio. Se verificó que las plantaciones fueran de aguacate de la variedad Hass y el manejo agronómico de las parcelas muestreadas fuera similar ya que no se aplicaban agroquímicos. En dichas parcelas se identificó la presencia de la plaga (esta verificación se hizo haciendo un recorrido por la huerta y detectando los daños en los árboles) y cada árbol muestreado fue etiquetado y georeferenciado mediante un sistema de posicionamiento global diferencial (DGPS). Para realizar los muestreos de los adultos de *C. aguacatae* se colocaron bandas plásticas de color azul (Gasca-

Corona y Equihua-Martínez, 1999) provistas con adhesivo llamado spider plus, se colocó una banda plástica en los tres estratos del árbol (estrato bajo, medio y alto) por cada punto cardinal teniendo un total de 12 trampas por árbol, se contabilizó el número de adultos capturados y se colgaron más bandas para el siguiente muestreo, los muestreos se realizaron cada catorce días durante el año 2017.

SADIE (Spatial Analysis by Distance Indices). SADIE ha sido desarrollada por el Dr. Joe N. Perry del Dpto. de Entomología y Nematología de Rothamsted Experimental Station (Reino Unido). Esta herramienta identifica el modelo espacial para datos bidimensionales, con un índice asociado de la agregación y de una prueba para la desviación de la aleatoriedad basada en un algoritmo de atracción, el cual incorpora un modelo biológico para la dispersión de individuos de un origen en el que a cada individuo se le asigna un territorio dinámico. Perry (1995) desarrolló y extendió el uso del índice de la distancia para la regularidad (I_a) para el establecimiento de la estructura espacial de las poblaciones de insectos. Además, introdujo dos diagramas de diagnóstico como ayuda a la interpretación y un índice nuevo para estimar el número de focos de agrupamiento de una población, el índice J_a .

Elaboración de Mapas. Se realizó la interpolación de valores a través del krigado ordinario que permite la estimación sin sesgos de valores asociados a puntos que no fueron muestreados, las estimaciones obtenidas fueron representadas en forma de mapa para cada fecha de muestreo mediante el uso del programa Surfer 9 (Surface Mapping System, Golden Software Inc., Golden, CO).

Estabilidad Espacial y Temporal. La comparación se realizó utilizando los resultados obtenidos mediante el método SADIE, la comparación para establecer la estabilidad espacio temporal se llevó a cabo mediante el índice de asociación del SADIE (I_m) (Perry y Klukowsky, 1997) considerando

que si $I_m > 0$, es indicativo de que existe una asociación o una estabilidad espacio –temporal entre los mapas. La determinación de la estabilidad se realizó con el programa SADIE 1.22.

Resultados

Con los datos obtenidos fue posible generar la modelización espacial y el mapeo de las poblaciones de *C. aguacatae* en las huertas de aguacate. Las medias poblacionales del insecto en el municipio de Coatepec harinas fluctuaron de 4,42 individuos por árbol en el mes de junio en su segundo muestreo, siendo este valor de infestación el más alto registrado en todos los meses de muestreo, mientras que la infestación con menor densidad fue en el mes de noviembre en el primer muestreo. Cabe mencionar que en el segundo muestreo de noviembre y el mes de diciembre ya no hubo presencia de adultos de *C. aguacatae*. En cuanto al municipio de Donato Guerra los meses que registraron mayor presencia de adultos fueron mayo y junio, este último con una media de 4,05 insectos por árbol y el mes que hubo menor presencia de barrenador fue septiembre con una media de 0,29 adultos por árbol, en este municipio ya no se registró presencia del insecto en los meses de octubre, noviembre y diciembre.

Los resultados obtenidos con la aplicación de los índices del SADIE mostraron que en el municipio de Coatepec Harinas los valores estuvieron comprendidos entre 1,30 el más bajo y 1,77 el más alto (Cuadro 1). Para el municipio de Donato Guerra el valor más bajo fue de 1,29 y el más alto de 1,74 (Cuadro 2) en todos los casos el índice I_0 fue significativamente mayor a uno, esto con respecto a su probabilidad P_0 , lo que indica una distribución espacial agregada de *C. aguacatae* en el cultivo de aguacate en todos los muestreos realizados para los dos municipios.

En cuanto al índice J_0 los valores en el municipio de Coatepec Harinas fueron de 1,07 el más bajo y de 1,25 el más alto (Cuadro 1), mientras que en el municipio de Donato Guerra se obtuvieron valores entre 1,08 y 1,25 respectivamente (Cuadro 2). Este índice (J_0) en todos los muestreos de los dos municipios no fue significativamente mayor a uno, esto tomando en cuenta su probabilidad Q_0 ,

este resultado confirma la agregación encontrada por el índice I_a y además al tener datos que no fueron significativamente mayores a uno permite determinar que la distribución espacial del insecto dentro de las huertas de aguacate se concentra en más de un centro de agregación.

Los mapas de infestación mostraron que las poblaciones de adultos de *C. aguacatae* se ubicaron en centros de agregación, es decir, su localización se encuentra en puntos específicos, dentro de las huertas de aguacate. En el municipio de Coatepec harinas en los meses de enero, febrero, marzo y abril 1 los centros de agregación se ubicaron en la parte central e izquierda del mapa, sin embargo en los meses de abril 2, mayo, junio, julio y agosto los centros de agregación se distribuyen a lo largo de la mapa, teniendo infestaciones tanto en las partes centrales izquierda y derecha como superior e inferior y para finalizar los meses de septiembre y octubre 1 los centros de agregación se ubicaron en la parte superior izquierda del mapa y en octubre 2 y noviembre los centros de agregación se situaron en la parte central e inferior del mapa (Figura 1). En cuanto al municipio de Donato Guerra los centros de agregación más marcados se situaron en la parte central izquierda de los mapas, sin embargo, en algunos casos también se encontraron centros de agregación en el área derecha del mapa fue el caso de enero 2 y agosto 2 (Figura 2). En los mapas de densidad obtenidos con la técnica del krigado se observan los centros de agregación de las poblaciones de *C. aguacatae* a este tipo de representaciones graficas se les puede dar un uso por medio del cual se pueden dirigir las diferentes medidas de control ya sean químicas, biológicas, mecánicas, etc. de forma precisa hacia los puntos de infestación.

Superficie infestada. En el municipio de Coatepec Harinas los porcentajes de infestación del 100 % solo se dieron en los meses de mayo y junio, sin embargo, en los meses de julio y agosto también se obtuvieron porcentajes altos variando de 86 % a 99 % de infestación, por otro lado los meses en los que se obtuvo niveles de infestación bajos, fueron los meses de Febrero 1 con un 41% y el mes de octubre con un 40 % de infestación, cabe mencionar que en el segundo muestreo de noviembre y todo el mes de diciembre no se encontró la presencia de *C. aguacate*, por lo que no se muestran

resultados de esos muestreos. Para el municipio de Donato Guerra los meses de enero 2, marzo 2 y junio 2 son los muestreos en los que se obtuvo un 100 % de superficie infestada en los demás muestreos fueron bajando los porcentajes de infestación siendo el porcentaje más bajo el obtenido en el mes de marzo 1 con un 64 %, es decir que los rangos de infestación estuvieron comprendidos entre 64 % el valor más bajo y el 100 % el valor más alto.

Estos porcentajes de infestación son importantes para determinar el grado de incidencia del insecto en las parcelas de aguacate y de esta manera tomar las acciones necesarias para realizar un manejo de la plaga y dependiendo los meses en los que se tiene mayor o menor porcentaje de infestación aplicar la diferentes medidas de control que ayuden a bajar las poblaciones del insecto plaga.

Estabilidad Espacial y Temporal. Para llevar a cabo la comparación entre los diferentes mapas obtenidos con el krigado se utilizó el índice I_m del SADIE. Esta comparación entre fechas de muestreo nos puede dar indicaciones de la dinámica espacio –temporal del insecto, más concretamente de la posibilidad de encontrar una estabilidad numérica en el espacio y el tiempo. En el municipio de Coatepec Harinas las comparaciones entre fechas de muestreo indicaron que marzo 1 vs marzo 2, marzo 2 vs abril 1, abril 2 vs mayo 1, mayo 1 vs mayo 2, mayo 2 vs junio 1, junio 1 vs junio 2, julio 2 vs agosto 1, agosto 1 vs agosto 2 dieron como resultado un índice I_m mayor a 0, indicando con esto que no existió diferencia significativa, es decir se detectó asociación espacial entre los mapas comparados por lo que fue posible detectar una estabilidad espacio temporal a corto plazo de las poblaciones del insecto entre esas fechas comparadas. Sin embargo, en las otras comparaciones realizadas no fue posible detectar una estabilidad espacial (Cuadro 3).

Para el municipio de Donato Guerra solo se logró detectar estabilidad espacio temporal en las fechas comparadas enero 1 vs enero 2, febrero 1 vs febrero 2, abril 1 vs abril 2, abril 2 vs mayo 1 y junio 1 vs junio 2, ya que se obtuvo un índice I_m con valores mayores a cero, en las demás fechas comparadas los valores de este índice no fueron mayores a cero por lo que es indicativo de que no existe una estabilidad espacio temporal del insecto dentro de las huertas de aguacate (Cuadro 3).

La estabilidad espacio temporal a corto plazo en las poblaciones de *C. aguacatae* solo se logró detectar en algunas comparaciones entre fechas muestreadas para los dos municipios en las demás fechas no se encontró una estabilidad espacial. Este fenómeno puede ser explicado debido a que las condiciones medioambientales fueron muy variables durante la época de muestreo lo que favoreció la movilidad del insecto a ciertas zonas en las que posiblemente se encontraban micro condiciones climáticas que le favorecían para su desarrollo, otra posibilidad puede ser que influya el tamaño de las parcelas en las cuales no se permita detectar similitudes en la forma de agregarse del insecto.

Discusión

El uso de la metodología del SADIE ha tenido resultados positivos en el estudio de organismos biológicos y su distribución espacial, tal como lo indican Ferguson *et al.*, 2000; Thomas *et al.*, 2001; Winder *et al.*, 2005; Alexander *et al.*, 2005; Conrad *et al.*, 2006 y Ramírez-Dávila y González-Andujar, 2006.

La distribución espacial de *Copturus aguacatae* dentro de las huertas de aguacate en los municipios de Donato Guerra y Coatepec Harinas en el Estado de México, se logró determinar utilizando los índices del SADIE (I_0 y J_0), los cuales indicaron que el insecto se presentó en forma de parches en puntos geográficos específicos dentro del cultivo para los dos municipios estudiados; dichos resultados concuerdan con lo determinado por Reay-Jones (2012), quien encontró que las poblaciones del escarabajo de la hoja en trigo se encuentran en una estructura espacial agregada, tanto los huevos, larvas y adultos. Maldonado *et al.*, 2017 mostraron que las poblaciones de trips se distribuyen de forma agregada en diferentes centros de agregación dentro de las huertas de aguacate, por otro lado, Ramírez *et al.*, 2013 determinaron también la estructura espacial agregada de trips en diferentes centros de agregación en plantaciones de aguacate en Michoacán, México. Este tipo de trabajos también se han aplicados exitosamente en estudios de plantas parásitas como hizo Ramírez y Porcayo (2009), quienes estudiaron la distribución espacial de muérdago enano utilizando los índices del SADIE y encontraron una estructura espacial agregada distribuida en

diferentes centros de agregación, y en enfermedades del maíz como lo hizo Ramírez *et al.* (2011) quienes encontraron que *Sporisirium reilianum* se encuentra distribuida en las parcelas de maíz de manera agregada ubicándose en varios centros de agregación.

El comportamiento espacial de las poblaciones de *C. aguacatae* en forma agregada, permite sugerir que se pueden manejar y, por lo tanto, reducirlas aplicando medidas de control hacia los centros de agregación o puntos específicos en los que se encuentra la plaga, evitando aplicaciones generalizadas o de cobertura total, lo cual nos lleva a un ahorro en los insumos, visualizando los focos de infestación a través de los mapas generados. Lo anterior concuerda con Rong *et al.* (2006) y Esquivel y Jasso (2014) quienes, respectivamente propusieron el manejo de *Locusta migratoria* manilensis Linnaeus y del gusano soldado (*Spodoptera exigua*) en el cultivo de maíz en puntos específicos de presencia de la plaga.

El cálculo de la superficie infestada con base a los mapas de densidad indica que la plaga no se distribuyó en el 100 % del área estudiada, por lo que la infestación del insecto no se da de manera uniforme. Este tipo de resultados concuerdan con los encontrados por Quiñones *et al.* (2015) quienes encontraron que las poblaciones de trips en el cultivo del gladiolo no infestaron el 100 % de la parcela y estos se encontraban en forma agregada en puntos específicos de infestación, Esquivel y Jasso (2014) realizaron un estudio de distribución espacial y mapeo de gusano soldado en seis localidades en el estado de México en maíz y encontraron que en ninguna de las localidades se presentó un área de infestación del 100 % y el porcentaje máximo alcanzado fue del 94 %, Jiménez *et al.* (2013) reportaron que las poblaciones de *Frankliniella occidentalis* en tomate de cáscara no se distribuyen en la totalidad de las parcelas. Contrario a esto Jiménez *et al.* (2008), determinaron la distribución espacial y mapeo de *Curculio elephas* Gyllenhal en *Quercus ilex* Linneo, ellos elaboraron cuatro mapas de densidad, uno por cada año, utilizando el método de la distancia inversa como interpolador del programa Surfer 7; estos mapas indican que el insecto se localizó por toda la parcela con una distribución espacial agregada.

La estabilidad espacio temporal de la distribución espacial de *C. aguacatae* en aguacate, fue obtenida con el índice I_m del SADIE, con el cual se hicieron comparaciones entre fechas muestreadas para los dos municipios, en los cuales se encontró estabilidad espacial solo en los meses de mayor infestación, el encontrar estabilidad espacial de las plagas dentro de un cultivo resulta interesante ya que de esta forma se puede hacer una predicción y con ello dirigir medidas de control hacia zonas futuras de infestación y puntos geográficos específicos que requieran un manejo y con esto abrir la puerta a las técnicas de la agricultura de precisión en el control de plagas. Este tipo de estudios también han sido realizados por Maldonado *et al.* (2017) quienes encontraron estabilidad espacial de trips en el cultivo de aguacate solo en ciertas fechas de muestreo, dichas fechas corresponden a los meses en los que se encontró mayor incidencia. Esquivel y Jasso, 2014 encontraron que el gusano soldado en el cultivo del maíz tiene una estabilidad espacio temporal a corto plazo. Ramírez *et al.* (2011) encontró que *Sporisorium reilianum* en el cultivo de maíz tenía una estabilidad espacial en algunas fechas de muestreo y en otras no se encontraba dicha estabilidad. Ramírez y Porcayo (2008) encontraron que las larvas del mosquito verde *Jacobiasca lybica* tuvieron una estabilidad espacial y temporal a corto plazo en un viñedo de Andalucía España.

Conclusiones

La utilización de este tipo de técnicas para establecer la estructura espacial de los insectos plaga es de gran importancia, ya que así se puede conocer la distribución y fluctuación poblacional de los organismos dentro de los cultivos. Todo lo anterior puede ayudar a la implementación de programas de manejo integrado de la plaga estudiada y poder dirigir las diferentes medidas de control, ya sean biológicas, culturales, físicas, químicas, etc. hacia zonas específicas de infestación, esto traerá como consecuencia la disminución de agroquímicos, menor impacto ambiental, también evitar que las plagas generen resistencia y a los productores les redituara al tener un mayor beneficio económico.

Literatura Citada

- Alexander, C.J., Holland, J.M., Winder, L., Wolley, C., Perry, J.N. (2005) Performance of sampling strategies in the presence of known spatial patterns. *Annals of Applied Biology*. 146, 361–370.
Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2005.040129.x>
- Conrad, K.F., Perry, J.N., Woiwod, I.P., Alexander, C.J. (2006) Large scale temporal changes in spatial pattern during declines of abundance and occupancy in common moth. *Journal of Insect Conservation*. 10, 53–64.
- Esquivel, H.V., Jasso, G.Y. (2014) Distribución espacial y mapeo de gusano soldado en seis localidades del Estado de México, en el año 2011. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 5, 923–935.
- Ferguson, W., Klukowski, Z., Walczak, B., Perry, J.N., Muggleston, M., Clark, S., Williams, I. (2000) The spatio-temporal distribution of adult *Ceutorhynchus assimilis* in a crop of winter oilseed rape in relation to the distribution of their larvae and that of the parasitoid *Trichomalus perfectus*. *Entomol. Experimentalis et Applicata*. 95, 161–171. Doi: <https://doi.org/10.1046/j.1570-7458.2000.00654.x>
- García, A.M., Méndez, V.M., Morales, A.G. (1967) El aguacatero: Plagas y enfermedades. *Fotófilo*. 56, 12–14.
- García, M.C., Mújica, R., Vázquez, N., Aranda, E. (1986) Fenología de *Copturus aguacatae* (Coleoptera: Curculionidae) en tres regiones del Estado de Morelos. Memoria del XXI Congreso Nacional de Entomología. Monterrey, Nuevo León. CONACYT, Colegio de Postgraduados, UANL.

- Gasca-Corona, L., Martínez, A.E. (1999) Monitoreo del barrenador de ramas del aguacate (*Copturus aguacatae* Kissinger) y estudio de algunos aspectos de su biología y comportamiento en Ziracuaretiro, Michoacán, México. p 53-54.
- Jiménez, A., López, M., González, A.J., Ocete, M., Soria, F. (2008) Distribución espacial y mapeo de *Curculio elephas* Gyllenhal en encina (*Quercus ilex* L.). *Agrociencia*. 12, 35-43.
- Jiménez, R., Ramírez, J.F., Sánchez, J.R., Salgado, S.M., Laguna, C.A. (2013) Modelización espacial de *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) en tomate de cáscara por medio de técnicas geoestadísticas. *Revista Colombiana de Entomología*. 39 (2), 183-192.
- Maldonado, F.I., Ramírez, J.F., Ana, L.D., Rivera, M.R., Acosta, A.D., Figueroa, D.K. (2017) Estabilidad Espacial y Temporal de la Distribución de Trips en el Cultivo de Aguacate en el Estado de México. *Southwestern Entomologist*. 42, 447-462. Doi: <https://doi.org/10.3958/059.042.0215>
- Naamani, G. (2007) Developments in the avocado world. *California Avocado Society*. p. 71-76.
- Perryk, J. (1995) Spatial Analysis by distance indices. *Journal of Animal Ecology*. 64, 303-314.
- Perry, N., Klukowsky, Z. (1997) Spatial distributions of counts at the edges of sample areas, In: VI Conferencia de la sociedad de biometría. Córdoba, España. p. 103-108.
- Quiñones, V.R., Sánchez, J.R., Pedraza, A.K., Castañeda, V.A., Gutierrez, A.T., Ramírez, J.F. (2015) Análisis espacial de thrips spp. (Thysanoptera) en el cultivo de gladiolo en la región sureste del Estado de México, México. *Southwestern Entomologist*. 40 (2), 397-408.
- Reay, F.P. (2010) Distribución espacial del escarabajo de la hoja del cereal (Coleoptera: Chrysomelidae) en el trigo. *Entomología ambiental*. 39 (6), 1943-1952.

- Ramírez, J.F., González, J.L. (2006) Modelización y mapeo de la distribución espacial del muérdago enano (*Arceuthobium* sp.) en la ladera sur del Parque Nacional Nevado de Toluca. *Geografía Agrícola*. 38, 19–32.
- Ramírez, J.F., Porcayo, C.E. (2009) Estudio de la distribución espacial del muérdago enano (*Arceuthobium* sp.) en el Nevado de Toluca, México, utilizando el Método del SADIE. *Madera y bosques*. 15(2), 93–112.
- Ramírez, J.F., Sánchez, J.R., González, A., De León, C. (2011) Modelización y generación de mapas del comportamiento espacial de *Sporisorium reilianum* ((Kühn) Langdon y Fullerton) en Estado de México, México. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*. 43(2), 157–173.
- Ramírez, J.F., Solares, V.M., Figueroa, D.K., Sánchez, 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, 545–562.
- Rong, J., Dian, M.L., Bao, Y.X., Zhe, L., Dong, L. (2006) Spatial Distribution of Oriental Migratory Locust (Orthoptera: Acrididae) Egg Pod Populations: Implications for Site-specific Pest Management. *Environmental Entomology*. 35, 1244–1248.
- SAGARPA. (2017) Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. SIAP. (<http://www.siap.gob.mx/> fecha de consulta: 7 de noviembre de 2017).
- SENASICA. (2010) Programa de trabajo de la campaña plagas cuarentenarias del aguacatero a operar con recursos del componente de sanidad e inocuidad del programa soporte. SAGARPA–Gobierno del Estado de Michoacán, México. 35p.
- Thomas, G., Parkinson, L., Griffiths, K., Fernández, G., Marshall, J. (2001) Aggregation and Temporal Stability of Carabid Beetle Distributions in Field and Hedgerow habitats. *Journal of Applied Ecology*. 38, 100–116.

Winder, L., Alexander, C.J., Holland, J.M., Symondson, W.O., Perry, J.N., Wolley, C. (2005)
 Predatory activity and spatial pattern: the response of generalist carabids to their aphid prey.
Journal of Animal Ecology. 77, 443-454.

Tabla 1. Valor de los índices I_a y J_a y sus respectivas probabilidades P_a y Q_a en las poblaciones de *Copturus aguacatae* en el municipio de Coatepec Harinas.

Coatepec Harinas 2017				
Muestreo	I_a	P_a	J_a	Q_a
Enero 1	1.42	0.10s	1.08	0.145ns
Enero 2	1.51	0.002s	1.15	0.168ns
Febrero 1	1.44	0.005s	1.21	0.155ns
Febrero 2	1.61	0.017s	1.18	0.185ns
Marzo 1	1.30	0.008s	1.20	0.206ns
Marzo 2	1.55	0.011s	1.25	0.166ns
Abril 1	1.69	0.007s	1.16	0.217ns
Abril 2	1.47	0.006s	1.14	0.158ns
Mayo 1	1.71	0.009s	1.10	0.249ms
Mayo 2	1.63	0.016s	1.13	0.193ns
Junio 1	1.75	0.010s	1.18	0.252ns
Junio 2	1.33	0.003s	1.20	0.149ns
Julio 1	1.66	0.005s	1.24	0.271ns
Julio 2	1.76	0.003s	1.09	0.174ns
Agosto 1	1.70	0.004s	1.09	0.257ns
Agosto 2	1.36	0.012s	1.09	0.266ns
Septiembre 1	1.48	0.013s	1.23	0.221ns
Septiembre 2	1.34	0.008s	1.21	0.210ns
Octubre 1	1.77	0.010s	1.16	0.137ns
Octubre 2	1.58	0.012s	1.11	0.246ns
Noviembre 1	1.74	0.009s	1.07	0.234ns

Tabla 2. Valor de los índices I_a y J_a y sus respectivas probabilidades P_a y Q_a en las poblaciones de *Copturus aguacatae* en el municipio de Donato Guerra.

Donato Guerra 2017				
Muestreo	I_a	P_a	J_a	Q_a
Enero 1	1.44	0.007s	1.08	0.135ns
Enero 2	1.29	0.011s	1.16	0.184ns
Febrero 1	1.61	0.014s	1.11	0.143ns
Febrero 2	1.34	0.014s	1.16	0.167ns
Marzo 1	1.41	0.005s	1.27	0.208ns
Marzo 2	1.69	0.009s	1.22	0.236ns
Abril 1	1.37	0.010s	1.14	0.133ns
Abril 2	1.55	0.008s	1.09	0.219ns
Mayo 1	1.64	0.015s	1.12	0.153ns
Mayo 2	1.53	0.017s	1.10	0.178ns
Junio 1	1.60	0.006s	1.18	0.227ns
Junio 2	1.39	0.012s	1.09	0.159ns
Julio 1	1.71	0.008s	1.20	0.252ns
Julio 2	1.63	0.004s	1.16	0.269ns
Agosto 1	1.74	0.015s	1.13	0.277ns
Agosto 2	1.74	0.006s	1.25	0.272ns
Septiembre 1	1.30	0.012s	1.23	0.213ns
Septiembre 2	1.66	0.005s	1.17	0.148ns

Tabla 3. Comparación de mapas con el índice I_m del SADIE para los municipios de Coatepec Harinas y Donato Guerra.

Coatepec Harinas 2017			
Muestréos comparados	I_m	Muestréos comparados	I_m
Enero 1 vs Enero 2	-0.24	Julio 1 vs Julio 2	-1.60
Enero 2 vs Febrero 1	-0.15	Julio 2 vs Agosto 1	2.23
Febrero 1 vs Febrero 2	-2.45	Agosto 1 vs Agosto 2	1.91
Febrero 2 vs Marzo 1	-0.19	Agosto 2 vs Septiembre 1	-3.44
Marzo 1 vs Marzo 2	1.27	Septiembre 1 vs Septiembre 2	-1.56
Marzo 2 vs Abril 1	1.68	Septiembre 2 vs Octubre 1	-3.62
Abril 1 vs Abril 2	-0.33	Octubre 1 vs Octubre 2	-2.88
Abril 2 vs Mayo 1	1.67	Octubre 2 vs Noviembre 1	-1.36
Mayo 1 vs Mayo 2	2.06		
Mayo 2 vs Junio 1	1.20		
Junio 1 vs Junio 2	3.11		
Junio 2 vs Julio 1	-3.82		
Donato Guerra 2017			
Enero 1 vs Enero 2	0.29	Julio 1 vs Julio 2	3.61
Enero 2 vs Febrero 1	-1.77	Julio 2 vs Agosto 1	-1.13

Febrero 1 vs Febrero 2	2.75	Agosto 1 vs Agosto 2	-1.70
Febrero 2 vs Marzo 1	-0.46	Agosto 2 vs Septiembre 1	-2.94
Marzo 1 vs Marzo 2	-0.18	Septiembre 1 vs Septiembre 2	-2.07
Marzo 2 vs Abril 1	-3.28		
Abril 1 vs Abril 2	2.08		
Abril 2 vs Mayo 1	4.05		
Mayo 1 vs Mayo 2	-0.44		
Mayo 2 vs Junio 1	-0.21		
Junio 1 vs Junio 2	2.93		
Junio 2 vs Julio 1	-2.86		

Valores de $Im > 0$ indican asociación espacial

Figura 1. Mapas de densidad de las poblaciones de *Copturus aguacatae* en el cultivo de aguacate en Coatepec Harinas.

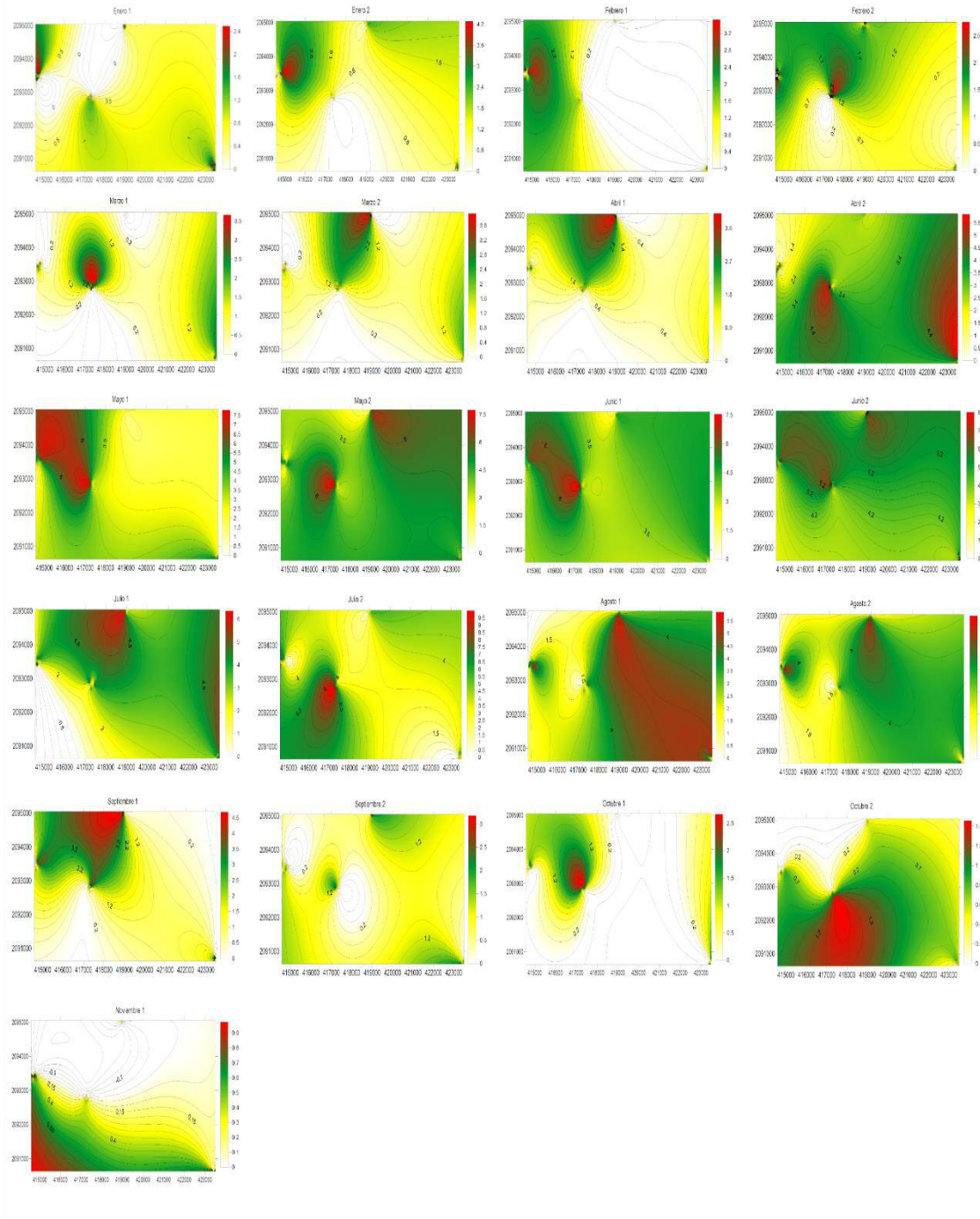
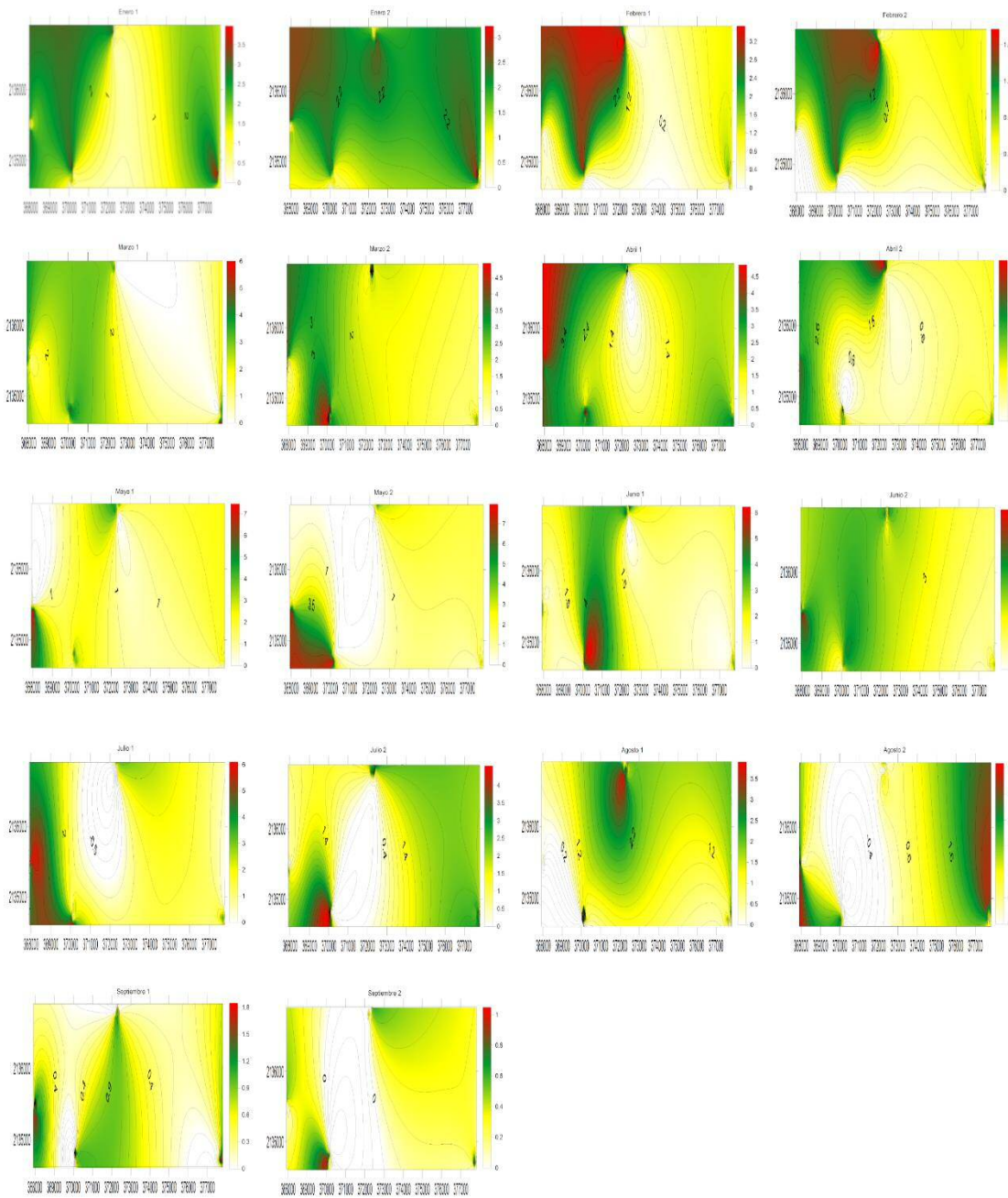


Figura 2. Mapas de densidad de las poblaciones de *Copturus aguacatae* en el cultivo de aguacate en Donato Guerra.



VIII. OTROS RESULTADOS

A continuación se presentan datos que no están incluidos en los artículos anexados anteriormente, sin embargo, con estos datos se elaborarán mas artículos científicos a la brevedad posible.

En cada localidad de estudio se registraron datos sobre temperatura y precipitación media mensual durante los dos años de muestreo (CONAGUA, 2016), dicha información se muestra a continuación.

El municipio de Temascaltepec en el año 2017 fue donde se registró la mayor precipitación de las cuatro localidades con 1350 mm anuales, contrario a esto el municipio de Donato Guerra presento las menores precipitaciones con 1155 mm anuales (Figura 9). Coatepec y Tenancingo presentaron precipitaciones similares esto debido a que se encuentran en altitudes muy parecidas y se encuentran geográficamente muy cerca.

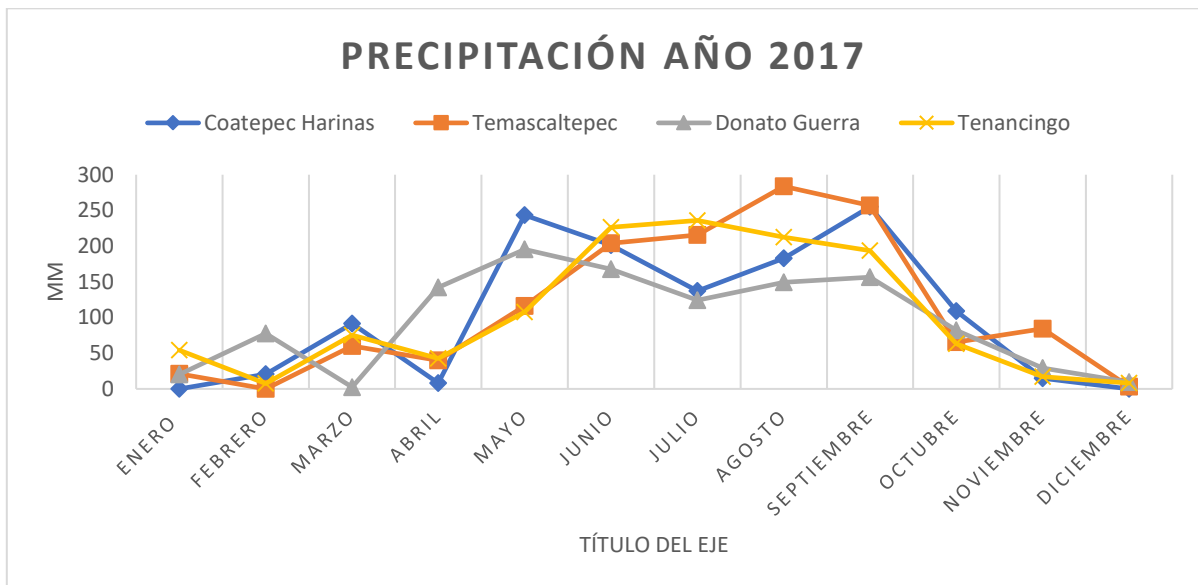


Figura 9. Precipitaciones promedio mensuales en 2017 de las cuatro localidades de la zona de estudio.

En el año 2018 la localidad donde se presentaron las precipitaciones mayores fue en Tenancingo con 1380 mm en el año, el municipio de Donato Guerra registro las precipitaciones más bajas con apenas 877 mm en el año, Temascaltepec y Coatepec Harinas se comportaron de manera similar pasando de los 1000 mm anuales (Figura 10). Datos de precipitación van relacionados con la presencia del barrenador de la rama ya que este tiene mayor actividad en la época de lluvias y con temperaturas cálidas.

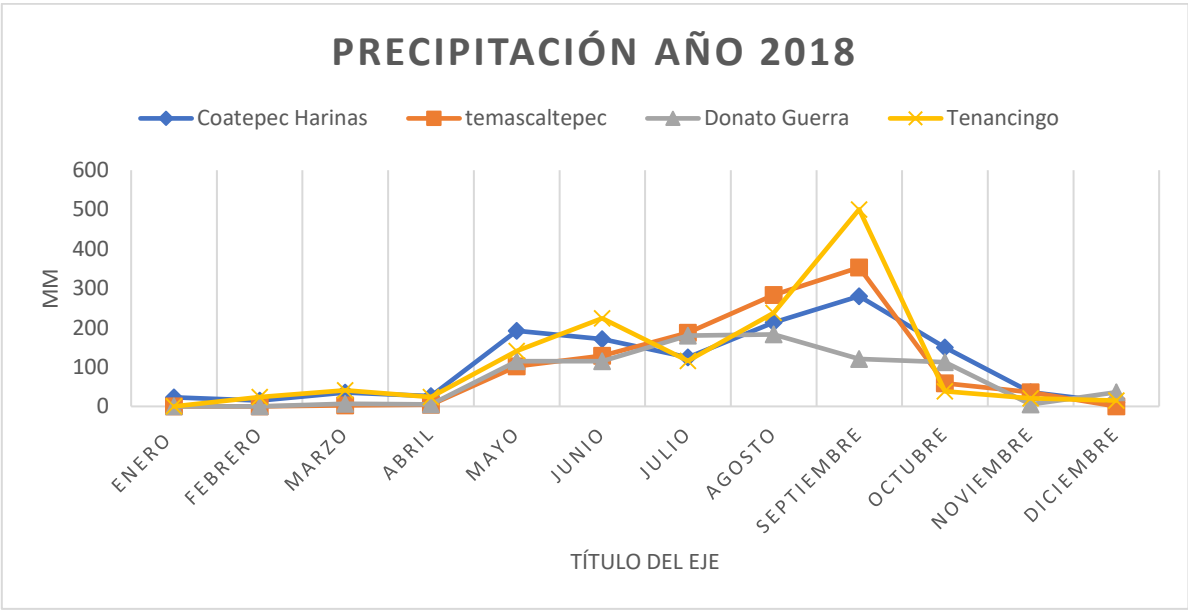


Figura 10. Precipitaciones promedio mensuales en 2018 de las cuatro localidades de la zona de estudio.

Las temperaturas más bajas se registraron en el municipio de Donato Guerra mientras que las más altas se registraron en Temascaltepec, en los municipios de Coatepec Harinas y Tenancingo (Figura 11) se comportaron muy similares, la temperatura está directamente relacionada con la altitud sobre el nivel del mar ya que las temperaturas más altas se presentaron donde la altitud fue menor y por contrario a altitud mayor se presentaron las temperaturas más bajas. Las temperaturas que se presentan son de los promedios mensuales pero cabe señalar que los promedios de temperaturas máximas alcanzaron niveles de hasta 30°C. Las temperaturas fueron también relacionadas directamente con la época del año y las

precipitaciones que se presentaron, en meses como mayo, junio y julio se presentaron las temperaturas más altas aunque también las precipitaciones más altas. Esto coincide con los meses en los que se presentó mayor densidad poblacional del barrenador de la rama

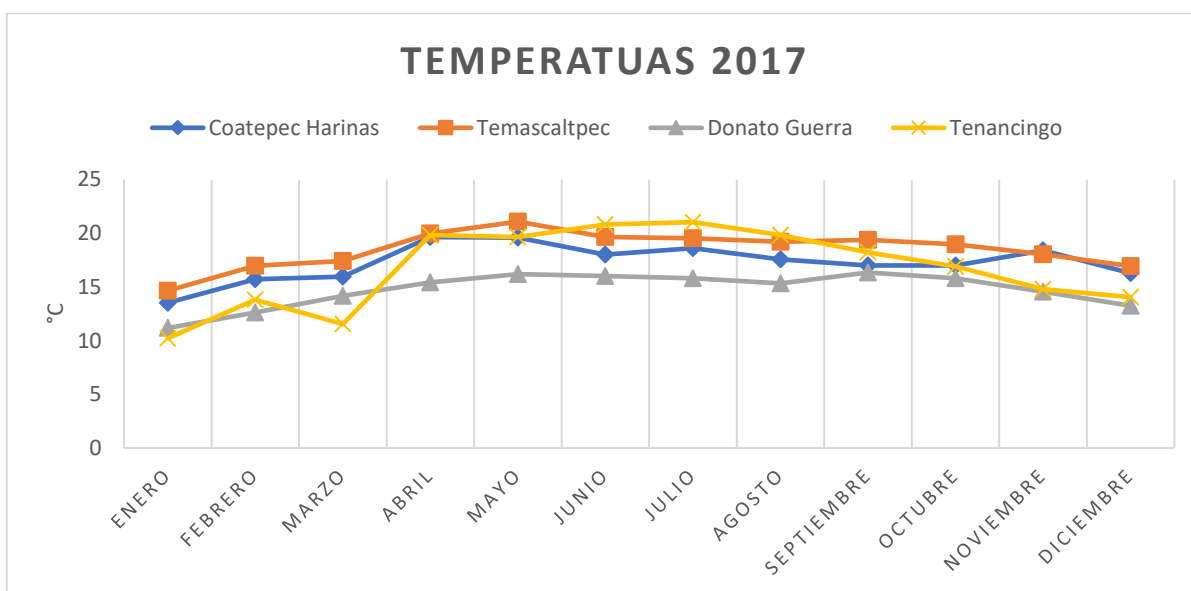


Figura 11. Temperaturas promedio mensuales en 2017 de las cuatro localidades de la zona de estudio.

En el año 2018 el municipio de Temascaltepec fue el que presento las temperaturas más altas (Figura 12) mientras que nuevamente el municipio de Donato Guerra presento las temperaturas más bajas, Tenancingo y Coatepec Harinas presentaron temperaturas similares, las temperaturas más altas coincidieron con la época donde se presentó mayor precipitación así las más bajas coincidieron con la época de invierno. Las temperaturas máximas pasaron los 25 grados en la mayoría de los meses y las mínimas estuvieron alrededor de los 10°C.

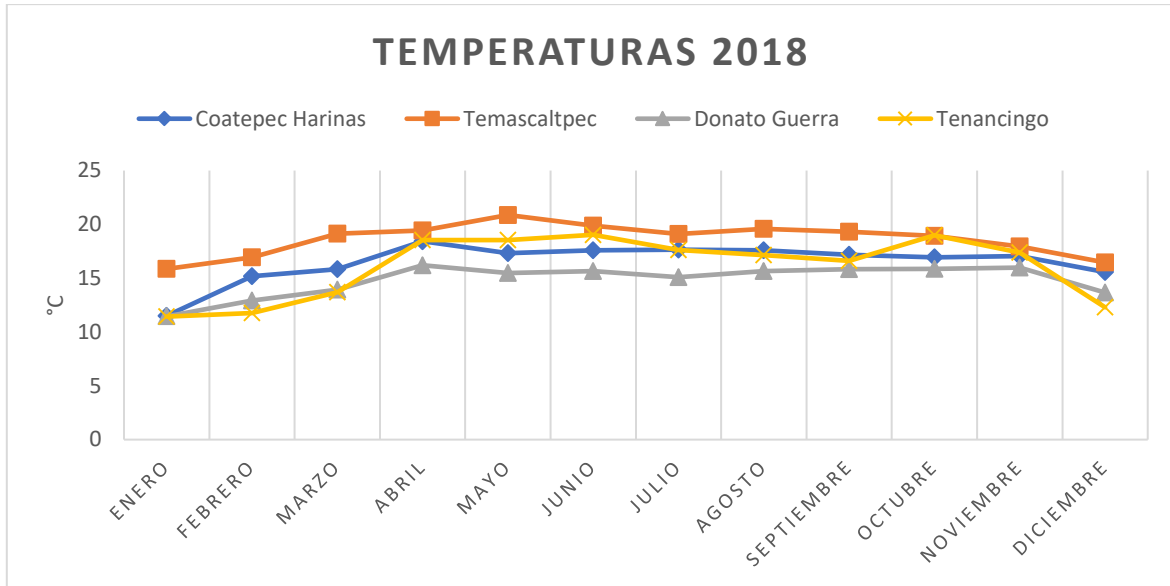


Figura 12. Temperaturas promedio mensuales en 2018 de las cuatro localidades de la zona de estudio.

8.1 ANÁLISIS ESPACIAL POR ÍNDICES DE DISTANCIA (SADIE)

Temascaltepec

Se puede observar en la tabla 1 que el caso del índice I_a el valor se situó entre 1.48 y 1.66. En todos los casos el índice I_a fue significativamente superior a 1 lo que indica una distribución espacial agregada de *C. aguacatae* dentro de la parcela en el municipio de Temascaltepec.

En lo que se refiere al índice J_a el valor mínimo fue de 1.11 a 1.24 el más alto. En todos los casos las fechas de muestreo el índice J_a fue superior a 1 pero un ningún caso de forma significativa, sin embargo, remarca la agregación detectada por el índice I_a , además el índice J_a indica la cantidad de centros de agregación presentes en cada muestreo, como estos valores no fueron significativamente diferentes a la unidad el resultado indica que las poblaciones de *C. aguacatae* se distribuyeron en la parcela en más de un centro de agregación.

Tabla 1. Valor de los índices I_a y J_a y sus respectivas probabilidades P_a y Q_a en las poblaciones de *Copturus aguacatae* en el municipio de Temascaltepec segundo semestre 2017.

Muestreo	I_a	P_a	J_a	Q_a
Julio 1	1.62	0.007s	1.24	0.306ns
Julio 2	1.55	0.012s	1.20	0.274ns
Agosto 1	1.48	0.010s	1.15	0.231ns
Agosto 2	1.59	0.005s	1.11	0.377ns
Septiembre 1	1.66	0.016s	1.18	0.269ns

Tenancingo

Se puede observar que en el caso del índice I_a el valor se situó entre 1.45 y 1.69, en todos los casos el índice I_a tuvo un valor superior a 1 (Tabla 2) lo que sugiere una distribución en agregados de las poblaciones de *C. aguacatae*.

En el caso del índice J_a los valores se situaron entre 1.12 y 1.25 el valor de este índice fue superior a la unidad en todos los casos, pero no de manera significativa, aun así, reafirma que la plaga se distribuye en forma agregada.

Además, gracias a los valores del índice J_a se logró establecer que existen varios centros de agregación, ya que en todos los muestreos el valor del índice J_a no fue significativamente superior a la unidad (Tabla 2).

Tabla 2. Valor de los índices I_a y J_a y sus respectivas probabilidades P_a y Q_a en las poblaciones de *Copturus aguacatae* en el municipio de Tenancingo segundo semestre 2017.

Muestreo	I_a	P_a	J_a	Q_a
Julio 1	1.50	0.013s	1.22	0.292ns
Julio 2	1.67	0.006s	1.25	0.378ns
Agosto 1	1.45	0.017s	1.13	0.256ns
Agosto 2	1.53	0.009s	1.12	0.306ns
Septiembre 1	1.69	0.007s	1.18	0.357ns
Septiembre 2	1.56	0.011s	1.20	0.314ns

Coatepec Harinas

En la Tabla 3 se pueden observar que los valores del índice I_a se situaron entre 1.32 a 1.70. En todas las fechas de muestreo el valor del índice I_a fue superior a la unidad

y de forma significativa, lo que sugiere una distribución agregada de las poblaciones de *C. aguacatae*.

Los valores del índice J_a se ubicaron entre 1.07 a 1.25. Estos valores también fueron superiores a la unidad en todos los muestreos, pero no de manera significativa, aun así remarca con ello la agregación detectada por el índice I_a . El índice J_a además de corroborar la agregación permite determinar los focos de agregación en que se distribuye la población del insecto. Así el resultado encontrado en los muestreos mencionados sugiere que las poblaciones de *C. aguacatae* se distribuyen en más de un centro de agregación.

Tabla 3. Valor de los índices I_a y J_a y sus respectivas probabilidades P_a y Q_a en las poblaciones de *Copturus aguacatae* en el municipio de Coatepec Harina en el 2018.

Muestreo	I_a	P_a	J_a	Q_a
Enero 1	1.34	0.017s	1.07	0.366ns
Enero 2	1.59	0.011s	1.20	0.331ns
Febrero 1	1.68	0.003s	1.09	0.295ns
Febrero 2	1.31	0.009s	1.11	0.340ns
Marzo 1	1.53	0.010s	1.25	0.371ns
Marzo 2	1.66	0.015s	1.18	0.288ns
Abril 1	1.70	0.008s	1.10	0.253ns
Abril 2	1.38	0.005s	1.21	0.395ns
Mayo 1	1.41	0.016s	1.08	0.352ns
Mayo 2	1.55	0.012s	1.13	0.227ns
Junio 1	1.62	0.004s	1.16	0.280ns
Junio 2	1.32	0.010s	1.14	0.360ns
Julio 1	1.44	0.012s	1.11	0.315ns
Julio 2	1.69	0.006s	1.23	0.295ns
Agosto 1	1.57	0.013s	1.19	0.348ns
Agosto 2	1.46	0.011s	1.17	0.311ns

Donato Guerra

En este municipio los valores del índice I_a se situaron entre 1.29 y 1.70. En todos los casos el índice I_a tuvo un valor superior a 1 (Tabla 4) lo que sugiere una distribución en agregados de las poblaciones de *C. aguacatae*.

En el caso del índice J_a los valores se situaron entre 1.07 y 1.17 el valor de este índice fue superior a la unidad en todos los casos, pero no de manera significativa, aun así, reafirma que la plaga se distribuye en forma agregada.

Además, gracias a los valores del índice J_a se logró establecer que existen varios centros de agregación, ya que en todos los muestreos el valor del índice J_a no fue significativamente superior a la unidad (Tabla 4).

Tabla 4. Valor de los índices I_a y J_a y sus respectivas probabilidades P_a y Q_a en las poblaciones de *Copturus aguacatae* en el municipio de Donato Guerra en el 2018.

Muestreo	I_a	P_a	J_a	Q_a
Febrero 1	1.29	0.011s	1.09	0.337ns
Marzo 1	1.66	0.014s	1.11	0.305ns
Marzo 2	1.35	0.007s	1.16	0.362ns
Abril 1	1.47	0.010s	1.08	0.396ns
Abril 2	1.30	0.013s	1.13	0.344ns
Mayo 1	1.44	0.009s	1.10	0.286ns
Mayo 2	1.62	0.011s	1.17	0.241ns
Junio 1	1.59	0.014s	1.14	0.377ns
Junio 2	1.61	0.016s	1.12	0.311ns
Julio 1	1.70	0.010s	1.15	0.293ns
Julio 2	1.48	0.013s	1.11	0.399ns
Agosto 1	1.39	0.008s	1.07	0.258ns
Agosto 2	1.53	0.015s	1.16	0.315ns
Septiembre 1	1.44	0.012s	1.13	0.288ns
Septiembre 2	1.67	0.017s	1.10	0.347ns

8.2 ANÁLISIS GEOESTADÍSTICO

A continuación se presentan los resultados obtenidos de los muestreos de *C. aguacatae* en el cultivo de aguacate en los cuatro municipios estudiados (Temascaltepec, Tenancingo, Donato Guerra y Coatepec Harinas). Cabe mencionar que los resultados que abajo se detallan corresponden a los datos que no están incluidos en los artículos que se elaboraron.

Temascaltepec

Los modelos y los parámetros de los semivariogramas ajustados para cada uno de los muestreos de *C. aguacatae* realizados en este municipio se detallan en la Tabla 5.

Tabla 5. Parámetros (Efecto Pepita, Meseta y Rango) de los modelos ajustados a los semivariogramas de las poblaciones de *C. aguacatae* en el cultivo de aguacate, en el municipio de Temascaltepec para el segundo semestre del año 2017.

Mes/muestreo	Modelo	Rango	Meseta	Pepita	Nivel de Dependencia Espacial
Julio 1	Esférico	31.50	9.46	0.32	Alto
Julio 2	Esférico	35.40	6.53	0	Alto
Agosto 1	Esférico	34.20	5.35	0	Alto
Agosto 2	Esférico	34.26	3.73	0	Alto
Septiembre 1	Esférico	14.4	2.19	0	Alto

En cuanto al análisis geoestadístico, para el municipio de Temascaltepec se encontró que los muestreos realizados de julio a septiembre 1 se ajustaron al modelo esférico. La distribución espacial ajustada al modelo esférico nos indica que dentro de la parcela estudiada existen zonas en la que se manifiesta más la plaga, es decir, existen focos o parches de infestación que son aleatorios dentro de la parcela y estos avanzan desde una fuente puntual. En la mayoría de estos muestreos se obtuvo un efecto pepita igual a cero, excepto en el primer muestreo de julio en donde la pepita obtuvo un valor de 0.32. El tener valores de cero o cercanos a cero en la pepita indica que la escala de muestreo utilizada fue la correcta y el error de muestreo fue mínimo.

En la tabla anterior (Tabla 5) se expone el nivel de dependencia espacial, el cual fue alto para todos los casos, la distribución espacial de los adultos de *C. aguacatae*

fue de tipo agregada para cada una de las fechas de muestreo. Los valores de rango se situaron entre 35.4 m el más alto y 14.4 m el más bajo, estas distancias entre los rangos nos indican hasta donde existe dependencia espacial de los datos muestreados, ya que más allá del valor máximo de la distancia, la dependencia espacial es nula.

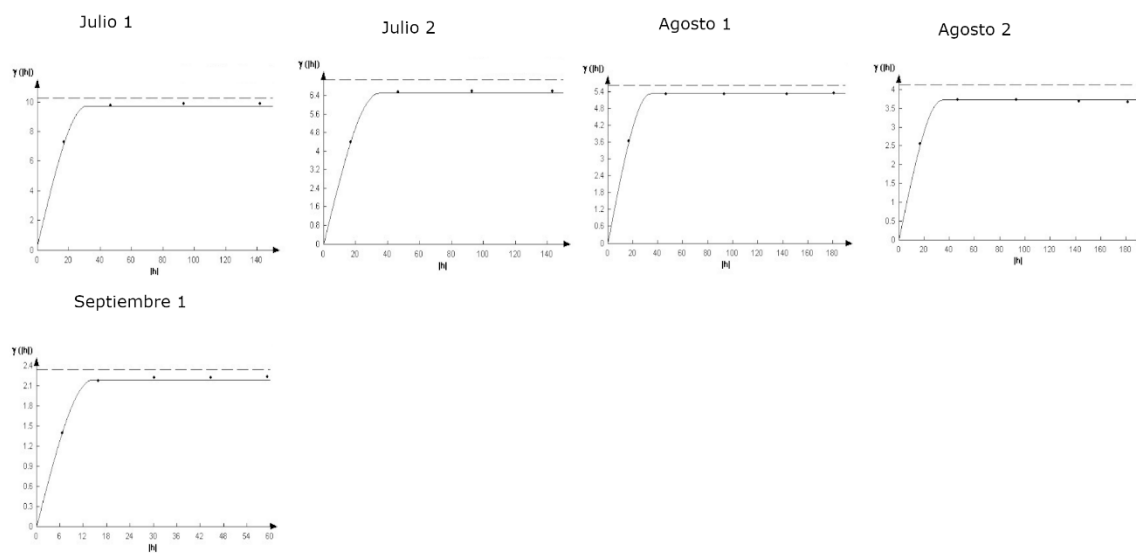
Tabla 6. Valores de los estadísticos de la validación cruzada de los semivariogramas obtenidos en los muestreos del municipio de Temascaltepec en el segundo semestre del año 2017: media de los errores de estimación (MEE), error cuadrático medio (ECM) y error cuadrático medio adimensional (ECMA).

Mes/Muestreo	Media Muestral	Varianza Muestral	MEE	Varianza de los Errores	ECM	ECMA
Julio 1	4.3	10.25	0.09ns	8.37	0.12	1.11
Julio 2	3.87	7.09	0.12ns	5.63	0.14	1.14
Agosto 1	2.39	5.62	0.10ns	4.06	0.09	1.08
Agosto 2	1.71	4.12	0.13ns	3.75	0.10	1.06
Septiembre 1	1.53	2.32	0.08ns	1.97	0.12	1.11

En la Tabla 6 se observan los valores de la validación de los semivariogramas, donde se encontró que el mes de julio 1 obtuvo la media muestral más alta, con un total de 4.3 adultos por árbol, septiembre 1 fue el mes con la media poblacional más baja con 1.53 adultos por árbol. Para los muestreos siguientes (septiembre 2 y los meses de noviembre y diciembre) no se encontró la presencia del insecto dentro de la parcela de estudio. Los datos de la validación cruzada indican que los valores de la media de los errores de estimación fueron no significativos para todos los casos y el error cuadrático medio fue ligeramente mayor a cero, contrario a esto el error cuadrático medio adimensional fue ligeramente mayor a uno en todos los casos. Lo que confirma y valida que los semivariogramas y los modelos ajustados son correctos.

En la Figura 13 se observan los semivariogramas correspondientes (modelos ajustados), elaborados para los muestreos de *C. aguacatae* en Temascaltepec.

Figura 13. Semivariogramas correspondientes al segundo semestre del 2017 en el municipio de Temascaltepec.



Tenancingo

Los modelos y los parámetros de los semivariogramas ajustados para cada uno de los muestreos de *C. aguacatae* realizados en este municipio se detallan en la Tabla 7.

Tabla 7. Parámetros (Efecto Pepita, Meseta y Rango) de los modelos ajustados a los semivariogramas de las poblaciones de *C. aguacatae* en el cultivo de aguacate, en el municipio de Tenancingo para el segundo semestre del año 2017.

Mes/Muestreo	Modelo	Rango	Meseta	Pepita	Nivel de Dependencia Espacial
Julio 1	Esférico	54	5.92	0.13	Alto
Julio 2	Esférico	48	7.16	0	Alto
Agosto 1	Esférico	44	2.82	0	Alto

Agosto 2	Esférico	22	2.00	0	Alto
Septiembre 1	Gaussiano	23.95	0.70	0	Alto
Septiembre 2	Gaussiano	24.20	0.68	0	Alto

Se observa que la mayoría de los muestreos se ajustaron al modelo esférico, solo los dos muestreos de septiembre se ajustaron al modelo Gaussiano. El ajuste al modelo Gaussiano nos indica que el comportamiento de la agregación de la plaga se expresa de forma continua dentro de la parcela estudiada.

Se obtuvo un efecto pepita igual a cero en todos los muestreos excepto en julio 1 donde ésta tuvo un valor de 0.13 lo cual es indicativo de que la escala de muestreo utilizada fue la correcta y el error de muestreo fue mínimo, el valor de la dependencia espacial es alto para todos los casos y la distribución espacial de la plaga fue de tipo agregada. Se obtuvieron valores de rango que estuvieron comprendidos entre 22 m el valor más pequeño y 54 m el más alto, estos valores nos indican que existe una fuerte agregación de la plaga en la parcela dentro de estos valores del rango.

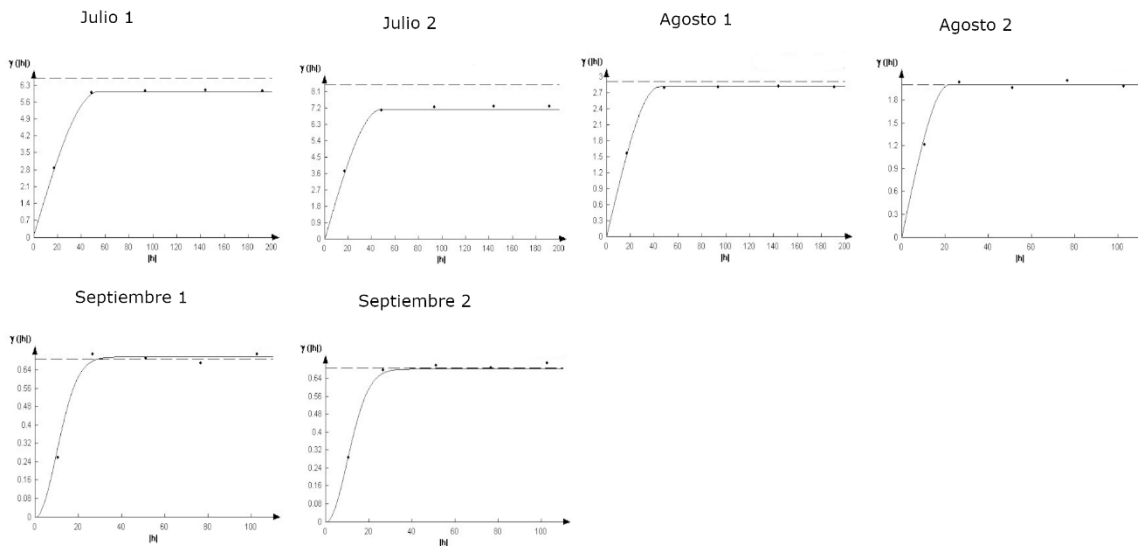
Tabla 8. Valores de los estadísticos de la validación cruzada de los semivariogramas obtenidos en los muestreos del municipio de Tenancingo para el segundo semestre del año 2017: media de los errores de estimación (MEE), error cuadrático medio (ECM) y error cuadrático medio adimensional (ECMA).

Mes/Muestreo	Media Muestral	Varianza Muestral	MEE	Varianza de los Errores	ECM	ECMA
Julio 1	4.52	6.56	0.12ns	5.24	0.09	1.14
Julio 2	4.43	8.50	0.10ns	6.90	0.10	1.12
Agosto 1	2.60	2.90	0.13ns	1.83	0.13	1.10
Agosto 2	1.88	2.00	0.10ns	1.46	0.14	1.13
Septiembre 1	0.75	0.68	0.11ns	0.47	0.11	1.09
Septiembre 2	0.73	0.68	0.07ns	0.55	0.08	1.12

En la Tabla 8 se pueden observar las medias muestrales, las cuales se encontró que en el mes de julio en su primer muestreo se obtuvo la más alta con un valor de 4.52 adultos por árbol y el mes más bajo fue septiembre en su segundo muestreo ya que registro una media de 0.73 adultos por árbol. Para los meses de octubre, noviembre y diciembre no se encontró la presencia del insecto dentro de la parcela de aguacate. Los estadísticos de validación cruzada se ubicaron dentro de los parámetros establecidos, por lo que los semivariogramas y modelos ajustados son correctos y confiables.

En la Figura 14 se observan los semivariogramas correspondientes (modelos ajustados), elaborados para los muestreos de adultos de *C. aguacatae* en Tenancingo.

Figura 14. Semivariogramas correspondientes al segundo semestre del 2017 en el municipio de Tenancingo.



Coatepec Harinas

Los modelos y los parámetros de los semivariogramas ajustados para cada uno de los muestreos de *C. aguacatae* realizados en el municipio de Coatepec Harinas se detallan en la Tabla 9.

Tabla 9. Parámetros (Efecto Pepita, Meseta y Rango) de los modelos ajustados a los semivariogramas de las poblaciones de adultos de *C. aguacatae* en el cultivo de aguacate, en el municipio de Coatepec Harinas para el año 2018.

Mes/Muestreo	Modelo	Rango	Meseta	Pepita	Nivel de Dependencia Espacial
Enero 1	Esférico	40	1.16	0	Alto
Enero 2	Esférico	42	1.45	0	Alto
Febrero 1	Esférico	50	1.77	0	Alto
Febrero 2	Esférico	20.40	1.63	0	Alto
Marzo 1	Exponencial	60	1.18	0	Alto
Marzo 2	Esférico	22.80	1.03	0	Alto
Abril 1	Esférico	35.20	1.48	0	Alto
Abril 2	Esférico	38.40	3.10	0	Alto
Mayo 1	Esférico	35.20	6.37	0	Alto
Mayo 2	Esférico	36.80	8.80	0	Alto
Junio 1	Esférico	28.80	9.36	0	Alto
Junio 2	Esférico	32	14.77	0	Alto
Julio 1	Esférico	35.20	5.46	0.25	Alto
Julio 2	Esférico	36.80	7.18	0.15	Alto
Agosto 1	Esférico	28.80	3.81	0	Alto
Agosto 2	Esférico	30.27	11.5	0	Alto

Para este municipio todos los muestreos realizados se ajustaron al modelo esférico menos el mes de marzo en su primer muestreo, ya que este se ajustó al modelo exponencial. Todos los modelos tuvieron un efecto pepita igual a cero, a excepción del mes de julio en sus dos muestreos que tuvo valores de 0.25 y 0.15 respectivamente. Los valores de cero o cercanos a cero del efecto pepita indica que la escala de muestreo utilizada fue la correcta y el error de muestreo fue mínimo. La distribución espacial ajustada al modelo esférico nos indica que dentro de la parcela hay zonas en la que se manifiesta más la plaga, es decir, existen focos de infestación que avanzan desde una fuente puntual. Por otro lado el ajuste al modelo exponencial explica que la distribución de *C. aguacatae* se da de una forma agregada con límites irregulares o aleatorios dentro de la zona de muestreo. En la tabla 9 también se expone el nivel de dependencia espacial el cual fue alto para todas las fechas de muestreo.

Los valores del rango estuvieron situados entre 60 m para el mes de marzo en su primer muestreo, siendo este el valor más alto, mientras que el más bajo se registró en el mes de febrero en su segundo muestreo con 20.40 m de rango, lo que nos indica que dentro de estas distancias vamos a encontrar dependencia espacial de los datos muestreados, más allá del valor de la distancia, la dependencia espacial es nula.

Tabla 10. Valores de los estadísticos de la validación cruzada de los semivariogramas obtenidos en los muestreos del municipio de Coatepec Harinas para el año 2018: media de los errores de estimación (MEE), error cuadrático medio (ECM) y error cuadrático medio adimensional (ECMA).

Mes/Muestreo	Media Muestral	Varianza Muestral	MEE	Varianza de los Errores	ECM	ECMA
Enero 1	0.98	1.42	0.09ns	0.46	0.08	1.12
Enero 2	1.10	1.54	0.11ns	0.98	0.12	1.11
Febrero 1	1.05	1.97	0.14ns	1.58	0.11	1.09

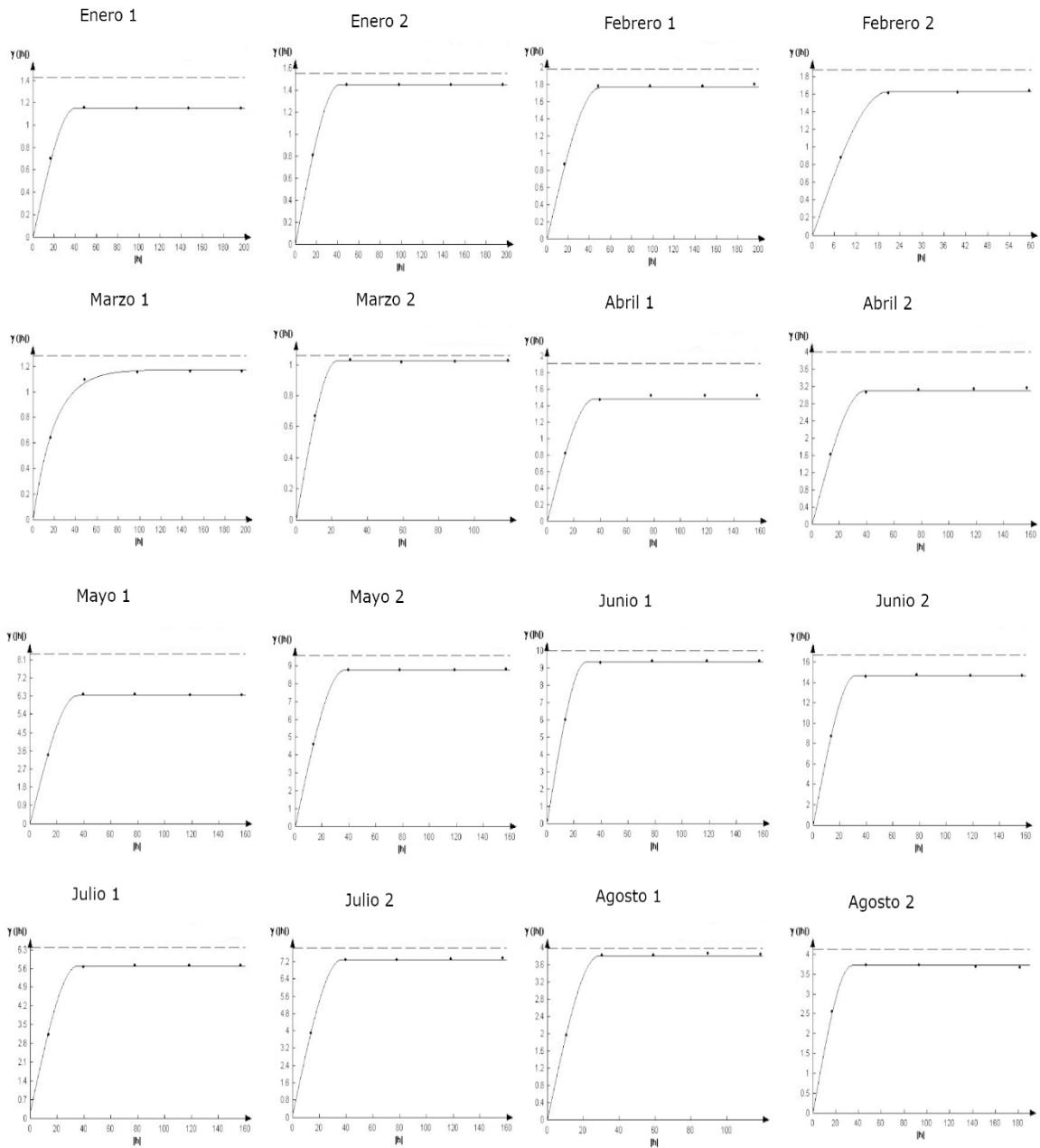
Febrero 2	1.01	1.87	0.10ns	1.18	0.06	1.06
Marzo 1	0.73	1.28	0.08ns	0.86	0.08	1.14
Marzo 2	0.59	1.05	0.14ns	0.73	0.13	1.10
Abril 1	0.87	1.90	0.11ns	1.36	0.14	1.13
Abril 2	1.82	3.99	0.12ns	2.87	0.08	1.08
Mayo 1	2.97	8.40	0.09ns	7.36	0.10	1.11
Mayo 2	3.19	9.57	0.06ns	7.42	0.13	1.12
Junio 1	3.50	9.98	0.11ns	7.05	0.10	1.08
Junio 2	3.51	16.6	0.13ns	14.28	0.14	1.06
Julio 1	3.60	6.39	0.11ns	5.27	0.11	1.10
Julio 2	4.49	7.85	0.10ns	6.28	0.07	1.13
Agosto 1	2.89	3.97	0.08ns	2.95	0.13	1.11
Agosto 2	1.38	1.22	0.11ns	0.76	0.14	1.14

En la Tabla 10 se pueden observar las medias muestrales, las cuales se encontró que en el mes de junio y julio se encontraron los valores más altos llegando a un máximo de 3.60 insectos por árbol y el mes con las medias poblacionales más bajas fue marzo en su segundo muestreo con un valor de 0.59 insectos por árbol. Para los meses de septiembre, octubre, noviembre y diciembre no se encontró la presencia del insecto dentro de la parcela de aguacate.

Los datos de la validación cruzada indican que los valores de la media de los errores de estimación fueron no significativos para todos los casos y el error cuadrático medio fue ligeramente mayor a cero, contrario a esto el error cuadrático medio adimensional fue ligeramente mayor a uno en todos los casos. Lo que confirma y valida que los semivariogramas y los modelos ajustados son correctos.

En la Figura 15 se observan los semivariogramas correspondientes (modelos ajustados), elaborados para los muestreos de adultos de *C. aguacatae* en el municipio de Coatepec Harinas.

Figura 15. Semivariogramas correspondientes al municipio de Coatepec Harinas para el año 2018.



Donato guerra

Los modelos y los parámetros de los semivariogramas ajustados para cada uno de los muestreos de *C. aguacatae* realizados en el municipio de Donato Guerra se detallan en la Tabla 11.

Tabla 11. Parámetros (Efecto Pepita, Meseta y Rango) de los modelos ajustados a los semivariogramas de las poblaciones de adultos de *C. aguacatae* en el cultivo de aguacate, en el municipio de Donato Guerra para el año 2018.

Mes/Muestreo	Modelo	Rango	Meseta	Pepita	Nivel de Dependencia Espacial
Febrero 1	Esférico	18.70	0.24	0	Alto
Marzo 1	Gaussiano	25.30	0.66	0	Alto
Marzo 2	Esférico	28.59	0.62	0	Alto
Abril 1	Esférico	29.12	1.10	0	Alto
Abril 2	Esférico	27.50	1.22	0	Alto
Mayo 1	Exponencial	26.40	2.16	0	Alto
Mayo 2	Esférico	23.04	1.94	0	Alto
Junio 1	Esférico	28.80	4.33	0	Alto
Junio 2	Esférico	32	4.17	0	Alto
Julio 1	Gaussiano	24	6.00	0	Alto
Julio 2	Esférico	27.84	1.80	0	Alto
Agosto 1	Esférico	35.20	1.25	0	Alto
Agosto 2	Gaussiano	22.4	1.90	0	Alto
Septiembre 1	Esférico	40	3.15	0	Alto
Septiembre 2	Gaussiano	28.6	0.64	0	Alto

En este municipio los muestreos realizados se ajustaron a modelos esféricos, Gaussianos y exponenciales, dichos modelos tuvieron un efecto pepita igual a cero en todos los casos, lo que indica que la escala de muestreo utilizada fue la correcta y el error de muestreo es mínimo. Los valores del rango se situaron entre 40 m el más alto que se registró en el mes de septiembre en el primer muestreo y 18.70 m el más bajo obtenido el mes de febrero en el primer muestreo. Los valores del rango nos indican hasta que distancia tienen asociación espacial nuestros datos, es decir, más allá del valor de la distancia del rango la dependencia espacial será nula. El nivel de dependencia espacial fue alto para todos los muestreos y este resulta de dividir el efecto pepita entre la meseta.

Tabla 12. Valores de los estadísticos de la validación cruzada de los semivariogramas obtenidos de los muestreos en el municipio de Donato Guerra para el año 2018: media de los errores de estimación (MEE), error cuadrático medio (ECM) y error cuadrático medio adimensional (ECMA).

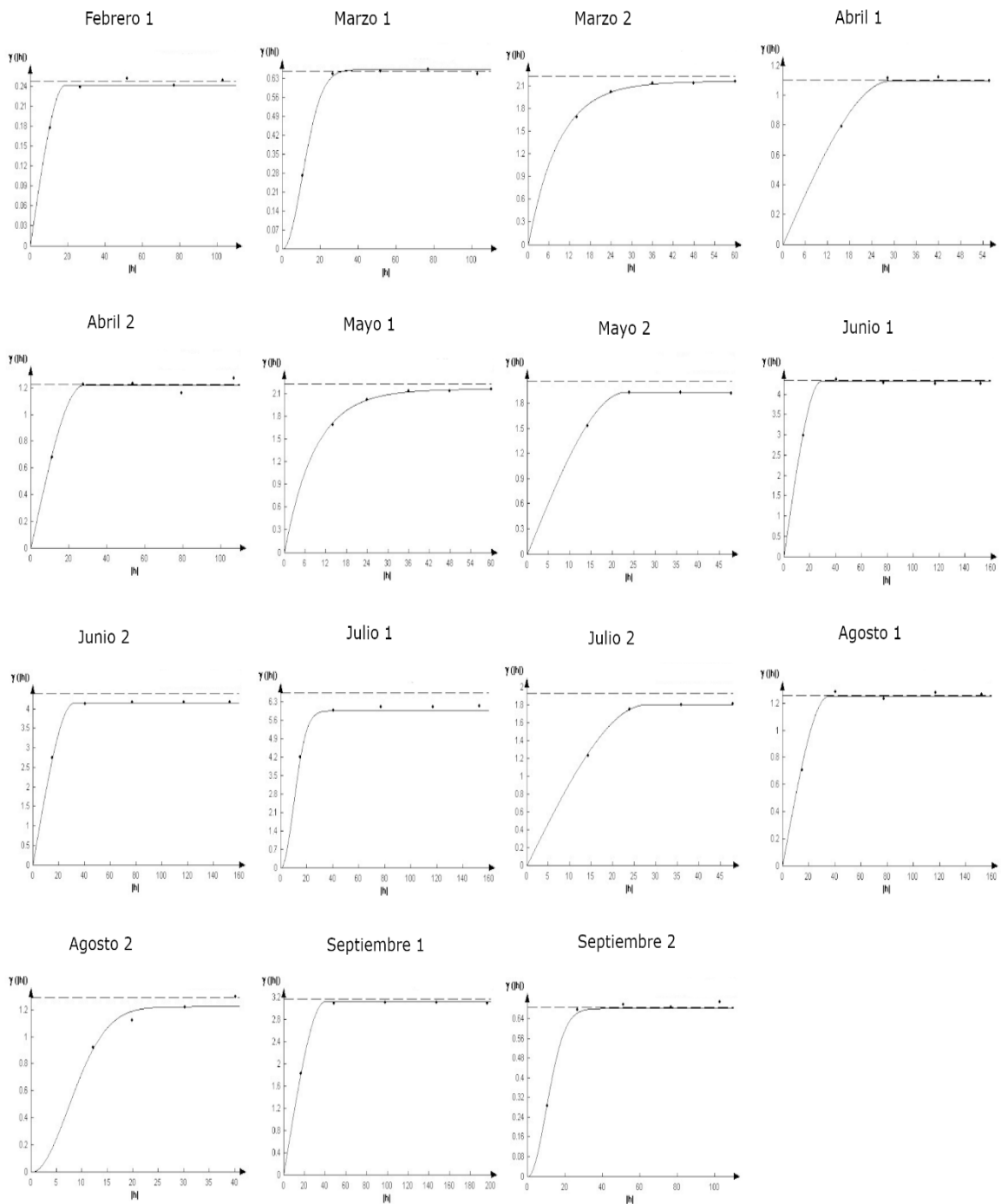
Mes/Muestreo	Media Muestral	Varianza Muestral	MEE	Varianza de los Errores	ECM	ECMA
Febrero 1	0.54	0.24	0.10ns	0.20	0.14	1.07
Marzo 1	1.05	0.65	0.14ns	0.47	0.09	1.10
Marzo 2	1.08	0.66	0.10ns	0.59	0.10	1.12
Abril 1	1.53	1.09	0.08ns	0.81	0.06	1.07
Abril 2	1.62	1.22	0.11ns	1.05	0.11	1.13
Mayo 1	2.03	2.22	0.14ns	1.97	0.08	1.09
Mayo 2	2.15	2.06	0.12ns	1.66	0.13	1.14
Junio 1	3.18	4.34	0.10ns	3.05	0.10	1.09
Junio 2	3.95	4.38	0.09ns	3.62	0.11	1.14
Julio 1	4.13	6.65	0.11ns	5.88	0.13	1.05
Julio 2	2.09	1.92	0.07ns	1.74	0.09	1.13

Agosto 1	1.49	1.25	0.12ns	0.99	0.10	1.10
Agosto 2	1.01	0.60	0.14ns	0.46	0.14	1.15
Septiembre 1	0.47	0.24	0.11ns	0.19	0.13	1.12
Septiembre 2	0.35	0.22	0.13ns	0.11	0.11	1.08

La media muestral (Tabla 12) indica que el mes con más insectos por árbol fue julio en su primer muestreo con 4.13 insectos y el mes con menor media poblacional por árbol fue septiembre en sus dos muestreos con valores de 0.47 y 0.35 respectivamente. Los estadísticos de validación cruzada estuvieron dentro de los rangos comprendidos, es decir, los valores de la media de los errores de estimación fueron no significativos para todos los casos, el error cuadrático medio fue ligeramente mayor a cero y el error cuadrático medio adimensional fue ligeramente mayor a uno en todos los casos. Lo que confirma y valida que los semivariogramas y los modelos ajustados son correctos.

En la Figura 16 se observan los semivariogramas correspondientes (modelos ajustados), elaborados para los muestreos de adultos de *C. aguacatae* en el municipio de Donato Guerra.

Figura 16. Semivariogramas correspondientes al municipio de Donato Guerra para el año 2018.



De manera general se registró la presencia de la plaga (*C. aguacatae*) en la mayoría de los meses muestreados, en el municipio de Temascaltepec en los muestreos del segundo semestre se registró la presencia de la plaga de julio hasta el primer muestreo de septiembre, en los tres meses restantes (octubre, noviembre y diciembre) no se registró la presencia de la plaga, en el municipio de Tenancingo se encontró la presencia de la plaga desde el mes de julio hasta septiembre y de igual forma los tres meses restantes no se encontró la presencia del insecto, ambos muestreos se hicieron en el año 2017. En lo que respecta al año 2018 el municipio de Coatepec Harinas registró la presencia de la plaga desde el mes de enero hasta agosto, en lo que fue septiembre, octubre, noviembre y diciembre no se encontró el insecto dentro de las parcelas de estudio y para el municipio de Donato Guerra hubo ausencia del insecto en los meses de enero, febrero en su segundo muestreo y posteriormente los tres últimos meses del año (octubre, noviembre y diciembre).

Es importante mencionar que para todos los municipios muestreados las mayores densidades de adultos de *C. aguacatae* se registraron en los meses de junio y julio, esto debido a que de manera general la mayor emergencia de los adultos coincide con la temporada de lluvias. En los meses en los que no se encontró gran actividad de adultos dentro de las parcelas de aguacate se debe a que en ese periodo la etapa de desarrollo del insecto se encuentra en estado larval las cuales se ubican dentro de las ramas del árbol.

La aplicación de los métodos geoestadísticos a los datos recolectados en campo permitió modelizar la estructura espacial de las poblaciones de *C. aguacatae* los cuales se ajustaron en su mayoría a los modelos esféricos, sin embargo, también hubo algunos muestreos que se ajustaron a modelos exponenciales y Gaussianos, todos los modelos en su mayoría tuvieron valores de efecto pepita igual a cero, pero en algunos casos el efecto pepita no fue igual a cero, sin embargo sus valores fueron muy cercanos a cero por lo que también nos indica que la escala de muestreo utilizada fue la correcta y el error de muestreo es mínimo. El ajuste al modelo esférico es indicativo que dentro de todas las parcelas analizadas existen zonas en que se manifiesta más la plaga respecto al resto de puntos muestreados, es decir,

existen focos de agregación de la plaga que avanzan desde una fuente puntual. El ajuste al modelo gaussiano indica que en todas las fechas de muestreo el comportamiento de la agregación se expresa en forma continua dentro de la plantación de aguacate. El modelo exponencial explica que la distribución de *C. aguacatae* se da de forma agregada con límites irregulares o aleatorios dentro de la zona de muestreo.

Los resultados obtenidos en este estudio mostraron la existencia de una estructura espacial agregada obteniendo un nivel de dependencia espacial alta. El alto nivel de dependencia espacial resulto de dividir el efecto pepita entre la meseta que fue menor a 25% para todos los semivariogramas. Se obtuvo un efecto pepita igual a cero lo que indica que éste no fue demasiado acusado, por lo que la escala de estudio fue la adecuada y el error de muestreo no fue demasiado importante. En cuanto a los valores encontrados en el efecto pepita los cuales fueron de cero en la mayoría de modelos ajustados, permite afirmar que la escala de muestreo utilizada fue la adecuada y el error de muestreo fue mínimo Oliver y Webster (1998), esto nos da pie a afirmar que los modelos ajustados tienen un 98% de fiabilidad.

8.3 ELABORACIÓN DE MAPAS DE DENSIDAD

Una vez que se validaron los modelos ajustados en el proceso de análisis geoestadístico se procedió a realizar las estimaciones mediante los mapas elaborados con la técnica del krigado ordinario, con estos mapas se pudo visualizar que la plaga se encuentra en parches, es decir, se ubica en centros de agregación dentro del área de estudio. En el municipio de Temascaltepec los parches con mayor infestación se ubicaron en la parte inferior del mapa con una tendencia en ir hacia la parte izquierda y/o derecha del mapa (Figura 17). Para el municipio de Tenancingo los parches con mayores densidades poblacionales se encontraron distribuidos hacia la parte izquierda del mapa con una tendencia de distribución hacia la zona centro superior (Figura 18). El municipio de Coatepec Harinas se puede apreciar que los parches de agregación de la plaga en los primeros meses se situaron en los bordes de la parcela y al paso de los meses los parches se distribuyeron en la parte central con tendencia hacia la parte izquierda del mapa

(Figura 19). Por último el municipio de Donato Guerra la infestación se dio por toda el área de estudio, sin embargo, los parches con mayor densidad de la plaga se visualizan hacia la parte izquierda del mapa tanto para los bordes superior e inferior (Figura 20).

Figura 17. Mapas de densidad poblacional de *C. aguacatae* en el municipio de Temascaltepec en el año 2017.

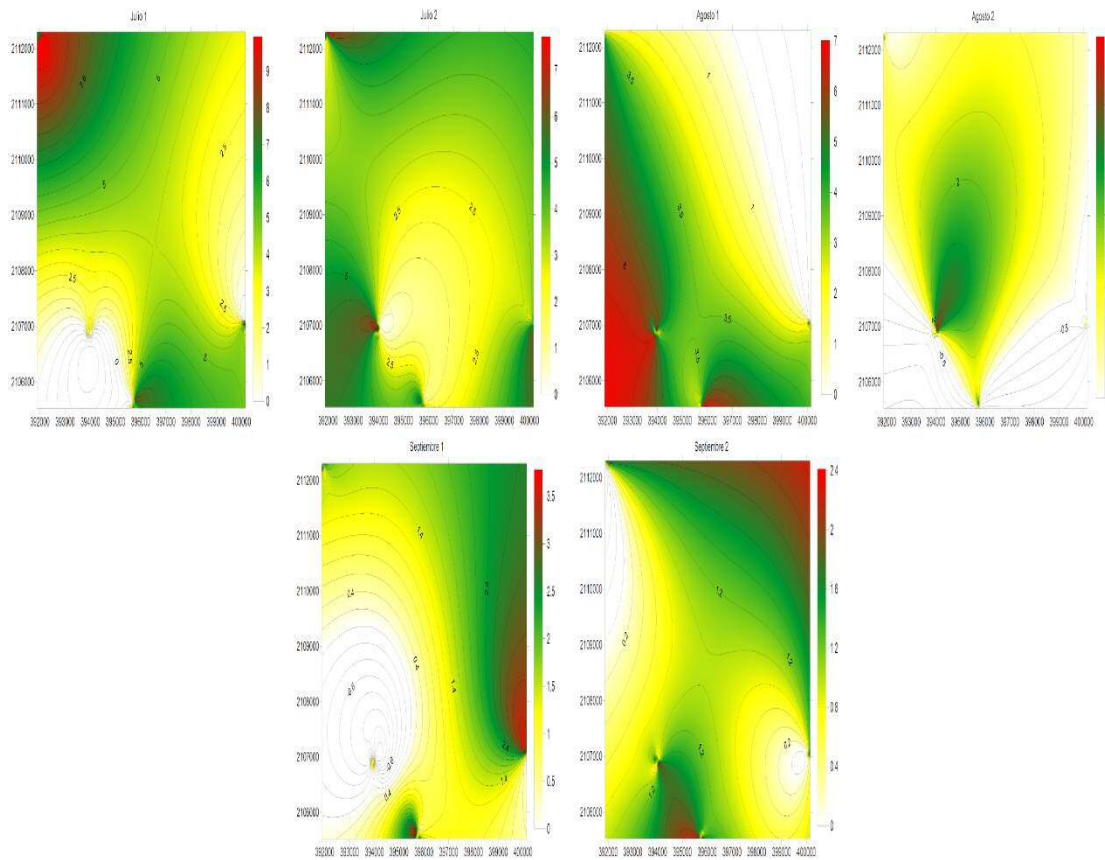


Figura 18. Mapas de densidad poblacional de *C. aguacatae* en el municipio de Tenancingo en el año 2017.

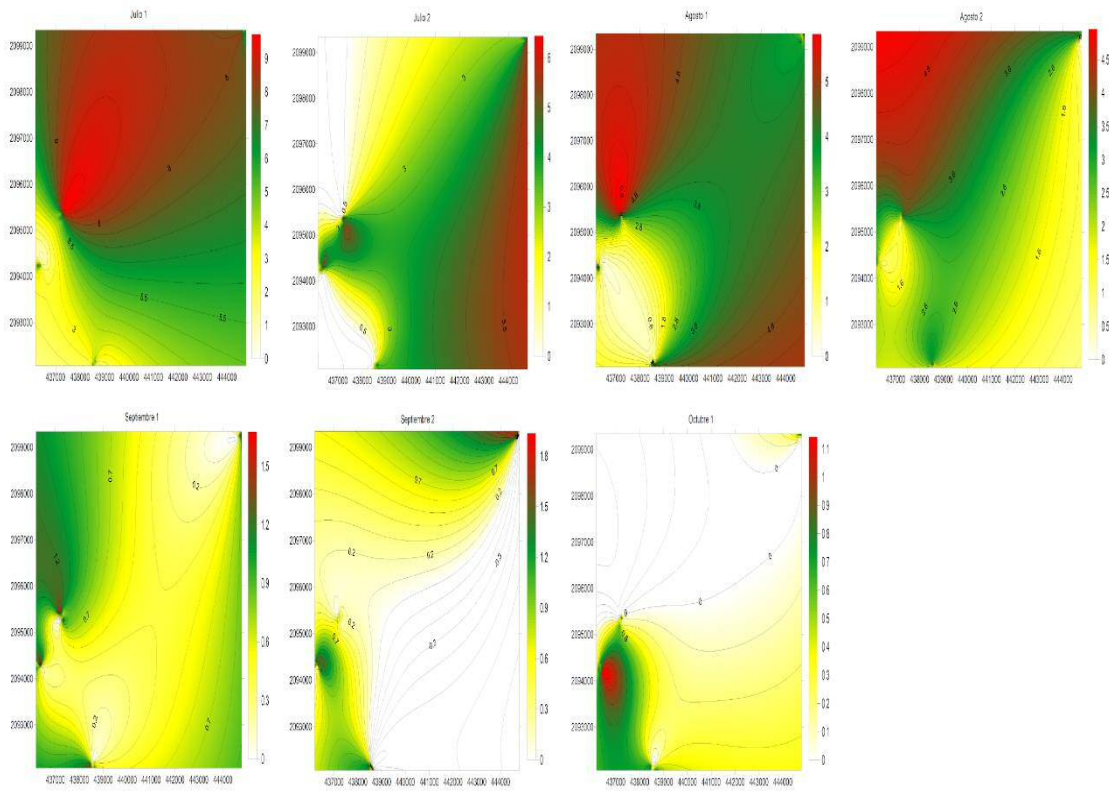


Figura 19. Mapas de densidad poblacional de *C. aguacatae* en el municipio de Coatepec Harinas en el año 2018.

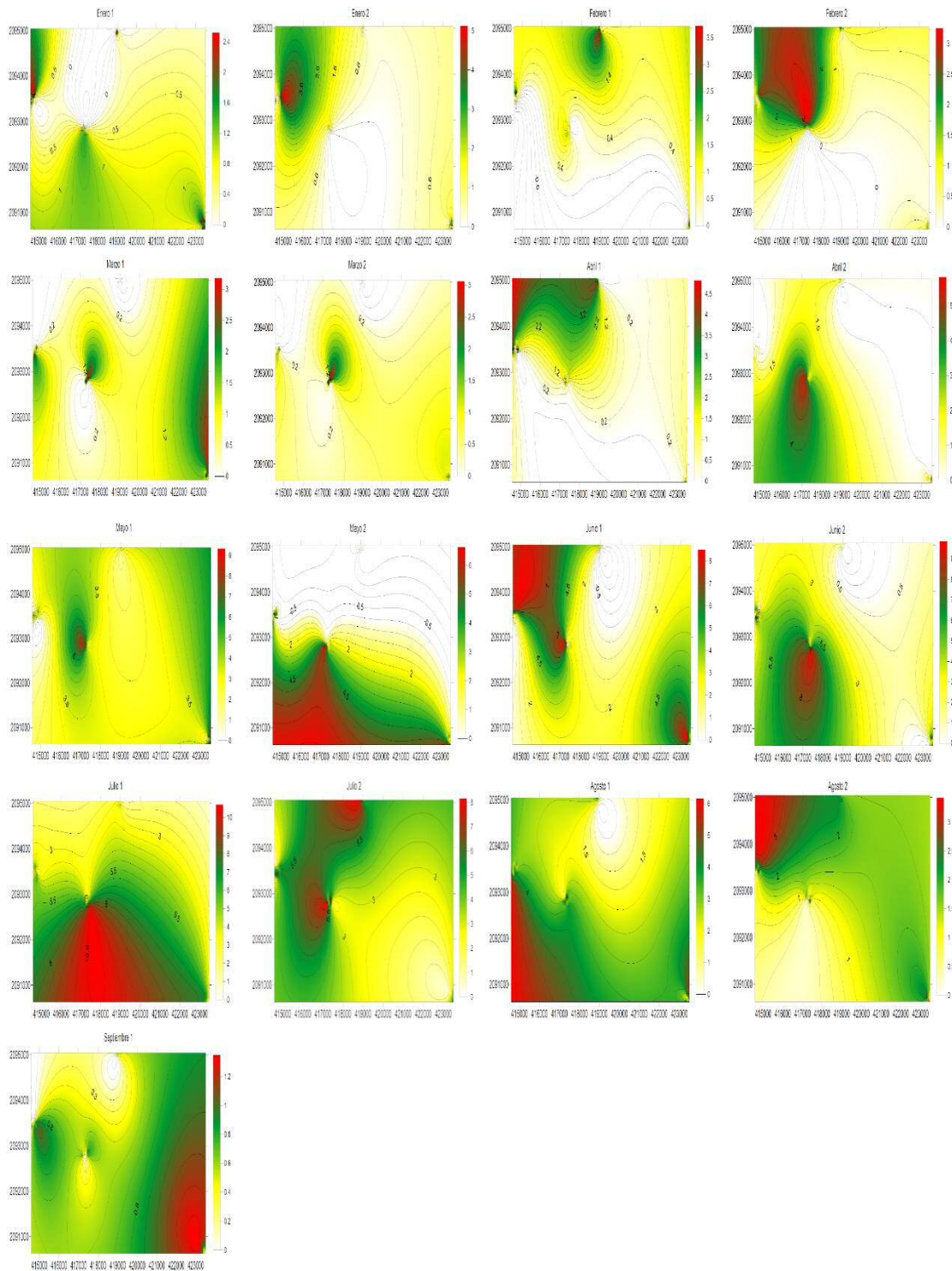
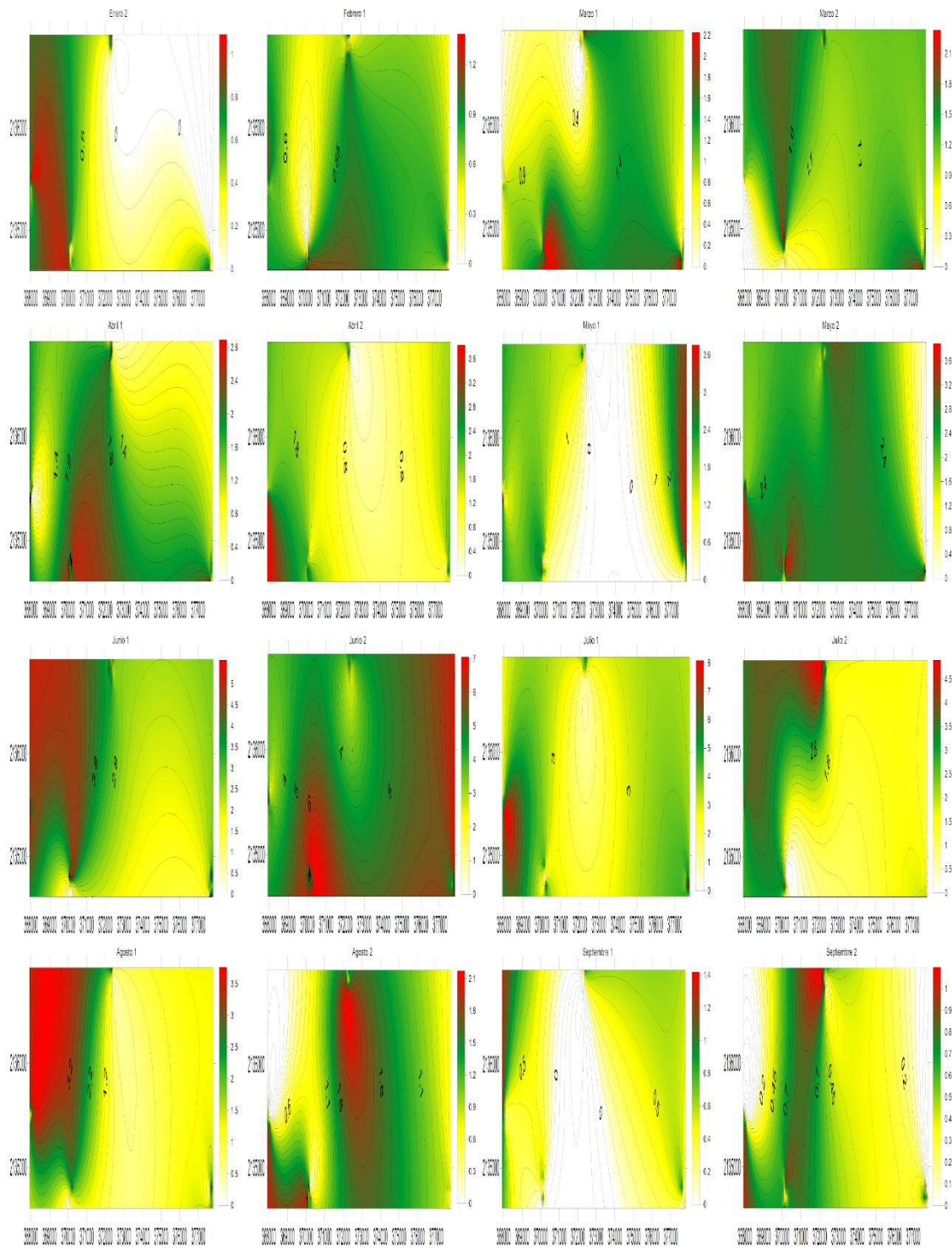


Figura 20. Mapas de densidad poblacional de *C. aguacatae* en el municipio de Donato Guerra en el año 2018.



En lo que se refiere a los mapas de densidad de las poblaciones de *C. aguacatae* se pueden observar de manera clara los centros de agregación de la plaga, los meses en los que se tiene una mayor incidencia de la plaga son los meses de junio y julio. Las densidades más bajas se presentaron en los meses de septiembre, esto debido a que las poblaciones del insecto empezaban a decrecer en el mes de agosto siendo el mes de septiembre el último del año en que se registraba la presencia de la plaga, ya que en octubre, noviembre y diciembre no hubo captura del insecto adulto.

8.4 SUPERFICIE INFESTADA

Temascaltepec

Los resultados de la superficie infestada para este municipio se detallan en la Tabla 13.

Tabla 13. Porcentaje de superficie infestada en el municipio de Temascaltepec en el año 2017.

MUESTREOS	% INFESTADO
Julio 1	82
Julio 2	97
Agosto 1	77
Agosto 2	63
Septiembre 1	71

Se observa que los porcentajes de infestación en este municipio fueron altos, el mes con mayor porcentaje de infestación fue julio en su segundo muestreo ya que tuvo un 97% de infestación, mientras que el más bajo fue de 63% para el mes de agosto

Tenancingo

Tabla 14. Porcentaje de superficie infestada en el municipio de Tenancingo en el año 2017.

MUESTREOS	% INFESTADO
Julio 1	98
Julio 2	84
Agosto 1	90
Agosto 2	99
Septiembre 1	91
Septiembre 2	66

En este municipio los porcentajes de infestación fueron mayores al 90% en los meses de julio en su primer muestreo, en el mes de agosto y septiembre en su primer muestreo. En el mes de septiembre en su segundo muestreo se registró un descenso del porcentaje con un 66% de infestación (Tabla 14).

Coatepec Harinas

Tabla 15. Porcentaje de superficie infestada en el municipio de Coatepec Harinas en el año 2018.

MUESTREOS	% INFESTADO
Enero 1	77
Enero 2	69
Febrero 1	67
Febrero 2	70
Marzo 1	78
Marzo 2	80
Abril 1	69
Abril 2	71
Mayo 1	97
Mayo 2	65
Junio 1	78
Junio 2	75
Julio 1	100
Julio 2	99
Agosto 1	96
Agosto 2	93

Se puede observar en la Tabla 15 en los muestreos que varios meses estuvieron por arriba de 90% de infestación tales como mayo 1, julio y agosto. Los demás meses tuvieron porcentajes variables que estuvieron en un rango de 65% a 80% de infestación en la parcela en estudio. Esta información se puede corroborar observando los mapas de infestación donde podemos ver que julio 1 fue el único mes que tuvo el 100% de infestación y el mapa refleja presencia de la plaga en toda el área de estudio.

Donato guerra

Tabla 16. Porcentaje de superficie infestada en el municipio de Donato Guerra en el año 2018.

MUESTREOS	% INFESTADO
Febrero 1	98
Marzo 1	95
Marzo 2	94
Abril 1	99
Abril 2	96
Mayo 1	70
Mayo 2	99
Junio 1	98
Junio 2	100
Julio 1	99
Julio 2	96
Agosto 1	100
Agosto 2	86
Septiembre 1	73
Septiembre 2	81

Para este municipio solo en dos fechas se presentó infestación del 100% que fue en junio 2 y agosto 1 (Tabla 16). Sin embargo, la gran mayoría de los meses restantes tuvo valores arriba del 90%, esto fue de febrero 1 a abril, en mayo 1 bajo el porcentaje a 70% pero en el siguiente muestreo (mayo 2) nuevamente subió hasta un 99%. Estas infestaciones se mantuvieron fluctuando en porcentajes altos y empezaron a decrecer en el mes de septiembre que fue el último mes en el que se registró la presencia de *C. aguacatae* dentro de las parcelas de aguacate.

Es de gran importancia conocer si la infestación de la plaga es de manera general dentro de las parcelas de estudio. Por ello es importante conocer que zonas son las infestadas y en qué porcentaje. Este tipo de información va a determinar hacia donde se dirigirán las diferentes medidas de control que se utilicen, junto con el porcentaje de infestación debemos conocer la densidad de la población de la plaga y así aplicar el control con diferentes dosis. Esto nos dará como resultado ahorro en insumos y por ende reducción en costos de producción del cultivo.

Cabe mencionar que la distribución de la plaga en el 100 % de la parcela en algunos muestreos o en porcentajes menores al 100% en otros muestreos pero que siguen

siendo porcentajes altos, indica que la plaga se encuentra distribuida en toda la zona de muestreo, sin embargo, está presente en diferentes densidades de población, en algunas áreas con mayores individuos y en otras con muy pocos (Tabla 16).

8.5 ESTABILIDAD ESPACIAL Y TEMPORAL

La comparación entre fechas de muestreo de los diferentes mapas obtenidos en cada una de las parcelas nos puede dar indicaciones de la dinámica espacio-temporal del insecto. Más concretamente de la posibilidad de encontrar una estabilidad numérica en el espacio y el tiempo que puede abrir las puertas para la utilización de las técnicas de la agricultura de precisión en este insecto.

Temascaltepec

En la Tabla 17 se muestran los resultados de la comparación de los mapas de *C. aguacatae* entre las fechas de muestreo, utilizando la prueba estadística bivariable de Cramér-von Mises. Otra comparación entre los diferentes mapas utilizada fue el índice I_m del SADIE; si los valores de este índice son mayores que 0, esto indica que no existe diferencia significativa entre los mapas comparados.

Tabla 17. Comparación de mapas (Krigeados) con la prueba bivariable de Cramér-von Mises (Ψ) para el municipio de Temascaltepec en el año 2017.

Mapas comparados	Ψ	Valor de P	Diferencia (5%)	I_m
Julio 1 vs julio 2	0.66	0.02	Significativa	-0.66
Julio 2 vs agosto 1	0.72	0.01	Significativa	-0.81
Agosto 1 vs agosto 2	0.58	0.04	Significativa	-0.33
Agosto 2 vs septiembre 1	0.84	0.06	Significativa	-0.57

Se puede observar en la tabla anterior que los resultados obtenidos con la prueba bivariable de Cramér-von Mises indican una diferencia significativa para todos los muestreos comparados por lo que no hay estabilidad espacial y temporal a corto plazo de las poblaciones de la plaga. Los valores del índice I_m también indicaron

que en todas las comparaciones no es posible detectar una estabilidad espacio-temporal a corto plazo de las poblaciones de *C. aguacatae* en los muestreos realizados, ya que los valores de este índice no fueron mayores a 0. Dichos resultados indican que no hay una fuerte asociación de los patrones espaciales de un muestreo con otro, lo que sugiere que se tuvo la formación de nuevos focos de infección de la plaga dentro de la parcela diferente a los puntos de infección ya establecidos.

Tenancingo

En la Tabla 18 se muestran los resultados de la comparación de los mapas de *C. aguacatae* entre las fechas de muestreo, utilizando la prueba estadística bivariable de Cramér-von Mises se encontró que solo hubo estabilidad espacial en la comparación de mapas de los muestreos agosto 1 vs agosto 2 ya que no existió una diferencia significativa en la comparación de estos mapas. Para las demás fechas comparadas hubo diferencia significativa por lo que no fue posible encontrar una estabilidad espacial. Para llevar a cabo la comparación entre los diferentes mapas también se utilizó el índice I_m del SADIE; si los valores de este índice son mayores que 0, esto indica que no existe diferencia significativa entre los mapas comparados, lo que nos indica que existe una estabilidad espacial, en este caso este índice también nos arrojó el resultado de que solo hay estabilidad en la comparación que se hizo de agosto 1 vs agosto 2, ya que el valor del índice I_m fue mayor a 0.

Tabla 18. Comparación de mapas (Krigeados) con la prueba bivariable de Cramér-von Mises (Ψ) para el municipio de Tenancingo en el año 2017.

Mapas comparados	Ψ	Valor de P	Diferencia (5%)	I_m
Julio 1 vs julio 2	0.78	0.01	Significativa	-0.62
Julio 2 vs agosto 1	0.91	0.02	Significativa	-1.05
Agosto 1 vs agosto 2	0.15	0.49	No Significativa	1.26
Agosto 2 vs septiembre 1	0.67	0.02	Significativa	-0.88
Septiembre 1 vs septiembre 2	0.53	0.04	Significativa	-1.41

Coatepec Harinas

De acuerdo con los resultados de la comparación de mapas en este municipio (Tabla 19) se encontró que en las comparaciones realizadas tanto con la prueba bivariable de Cramér-von Mises como con el índice I_m solo hubo estabilidad espacial en 4 muestreos comparados, los cuales fueron febrero 1 vs febrero 2, marzo 1 vs marzo 2, junio 1 vs junio 2 y julio 1 vs julio 2. En las demás fechas comparadas la prueba de Cramer arrojó diferencias significativas y el índice I_m fue menor a 0, por lo que estos valores indican que no hubo estabilidad espacial de *C. aguacate* dentro de la zona de estudio.

Tabla 19. Comparación de mapas (Krigeados) con la prueba bivariable de Cramér-von Mises (Ψ) para el municipio de Coatepec Harinas en el año 2018.

Mapas comparados	Ψ	Valor de P	Diferencia (5%)	I_m
Enero 1 vs enero 2	0.52	0.05	Significativa	-1.29
Enero 2 vs febrero 1	0.63	0.01	Significativa	-0.35
Febrero 1 vs febrero 2	0.14	0.62	No Significativa	1.62
Febrero 2 vs marzo 1	0.58	0.03	Significativa	-0.72
Marzo 1 vs marzo 2	0.12	0.57	No Significativa	0.68
Marzo 2 vs abril 1	0.77	0.05	Significativa	-0.96
Abril 1 vs abril 2	0.91	0.02	Significativa	-1.71
Abril 2 vs mayo 1	0.63	0.04	Significativa	-0.85
Mayo 1 vs mayo 2	0.59	0.06	Significativa	-1.08
Mayo 2 vs junio 1	0.81	0.03	Significativa	-0.50
Junio 1 vs junio 2	0.10	0.82	No Significativa	1.44
Junio 2 vs julio 1	0.72	0.02	Significativa	-0.27
Julio 1 vs julio 2	0.15	0.77	No Significativa	0.83
Julio 2 vs agosto 1	0.94	0.05	Significativa	-1.99
Agosto 1 Vs agosto 2	0.74	0.04	Significativa	-0.45

Donato Guerra

Se encontró que en la comparación de los mapas no existe una diferencia significativa en la mayoría de las fechas comparadas lo cual indica que existe una estabilidad espacio temporal de la plaga *C. aguacatae*, además de que los valores del índice I_m obtuvieron valores superiores a 0 (Tabla 20), sin embargo, hubo cuatro fechas comparadas (febrero 1 vs marzo 1, marzo 1 vs marzo 2, abril 2 vs mayo 1 y mayo 1 vs mayo 2) en las que no se encontró estabilidad espacial, ya que hubo diferencias significativas en la prueba de Cramer-von Mises y además el índice I_m fue menor a 0.

El tener una asociación espacial de la plaga dentro de las parcelas de aguacate implica en términos de manejo que se puede hacer una predicción anticipada de la ocurrencia de la plaga.

Tabla 20. Comparación de mapas (Krigeados) con la prueba bivariable de Cramér-von Mises (Ψ) para el municipio de Donato Guerra en el año 2018.

Mapas comparados	Ψ	Valor de P	Diferencia (5%)	I_m
Febrero 1 vs marzo 1	0.86	0.05	Significativa	-1.23
Marzo 1 vs marzo 2	0.54	0.07	Significativa	-1.05
Marzo 2 vs abril 1	0.21	0.70	No significativa	1.68
Abril 1 vs abril 2	0.16	0.62	No Significativa	0.51
Abril 2 vs mayo 1	0.61	0.01	Significativa	-0.42
Mayo 1 vs mayo 2	0.90	0.08	Significativa	-0.89
Mayo 2 vs junio 1	0.23	0.55	No Significativa	0.66
Junio 1 vs junio 2	0.11	0.61	No Significativa	0.85
Junio 2 vs julio 1	0.15	0.59	No Significativa	1.55
Julio 1 vs julio 2	0.23	0.65	No Significativa	1.81
Julio 2 vs agosto 1	0.12	0.58	No Significativa	0.36
Agosto 1 vs agosto 2	0.14	0.62	No Significativa	0.25
Agosto 2 vs septiembre 1	0.20	0.45	No Significativa	1.37
Septiembre 1 vs septiembre 2	0.16	0.52	No Significativa	0.55

IX. DISCUSIÓN GENERAL

Actualmente la agricultura debería basarse en el uso de diferentes alternativas, para el control de plagas dentro de los cultivos, esto sería de gran importancia ya que se puede tener un manejo más equilibrado de las plagas. Conocer el comportamiento espacial de los insectos plaga es de gran importancia, ya que a partir de dicha información se pueden establecer programas de manejo integrado que ayuden a los productores a optimizar los insumos que utilizan, obtener mejores rendimientos reduciendo los costos de producción y hacer conciencia de que es muy importante evitar o disminuir en gran medida de lo posible el impacto que genera la agricultura al medio ambiente. Si bien, es cierto que la agricultura actualmente no se concibe sin la utilización de agroquímicos, existen varios recursos o alternativas que se pueden utilizar para mantener un equilibrio en los ecosistemas y causar un menor impacto en los mismos. El uso de las geo tecnologías en la agricultura ayuda a que se tengan ahorros económicos al dirigir las diferentes medidas de control hacia puntos específicos y además generar ahorros ambientales.

El objetivo principal de este trabajo fue de realizar un análisis espacial de las poblaciones de barrenador de la rama (*Copturus aguacatae*) en el cultivo de aguacate en el Estado de México y como se mostró en los resultados este tipo de estudios tiene efectos positivos para ayudar a la toma de decisiones en el manejo de esta plaga ya que genero información muy útil para conocer el comportamiento del barrenador de la rama dentro del cultivo de aguacate.

La mayor infestación de *C. aguacatae* se dio en los meses de junio y julio, ya que es cuando hay mayor emergencia de adultos. En los meses en los que no se encontró gran actividad de adultos dentro de las parcelas de aguacate se debe a que en esos meses la etapa de desarrollo del insecto se encuentra en estado larval las cuales se ubican dentro de las ramas del árbol. Gasca-Corona y Equihua-Martínez 1999 encontraron que los adultos de *C. aguacatae* aparecen a principios de junio con una máxima actividad de adultos en julio hasta septiembre. Por otro lado Coria *et al.* (2007) reportan que las poblaciones de *C. aguacatae* más abundantes se registraron a partir de la última semana del mes de mayo, la

población se incrementó hasta la última semana de agosto, se cuantificaron entre 6.2 y 6.7 especímenes por árbol; a partir de esta fecha la población decreció y desapareció en la última semana de noviembre. El otro pico poblacional menos abundante, se detectó de la última semana de diciembre hasta el final de febrero, con un máximo de 1.7 adultos por árbol.

El uso de la metodología del SADIE ha tenido resultados positivos en el estudio de organismos biológicos y su distribución espacial, tal como lo indican Ferguson *et al.*, 2000; Thomas *et al.*, 2001; Winder *et al.*, 2005; Alexander *et al.*, 2005; Conrad *et al.*, 2006 y Ramírez-Dávila y González-Andujar, 2006.

La distribución espacial de *Copturus aguacatae* dentro de las huertas de aguacate, se logró determinar utilizando los índices del SADIE (I_a y J_a), los cuales indicaron que el insecto se presentó en forma de parches en puntos geográficos específicos dentro del cultivo para los municipios estudiados; dichos resultados concuerdan con lo determinado por Reay-Jones (2012), quien encontró que las poblaciones del escarabajo de la hoja en trigo se encuentran en una estructura espacial agregada, tanto los huevos, larvas y adultos. Maldonado *et al.* (2017) mostraron que las poblaciones de trips se distribuyen de forma agregada en diferentes centros de agregación dentro de las huertas de aguacate, por otro lado, Ramírez *et al.* (2013) determinaron también la estructura espacial agregada de trips en diferentes centros de agregación en plantaciones de aguacate en Michoacán, México. Este tipo de trabajos también se han aplicados exitosamente en estudios de plantas parásitas como hizo Ramírez y Porcayo (2009), quienes estudiaron la distribución espacial de muérdago enano utilizando los índices del SADIE y encontraron una estructura espacial agregada distribuida en diferentes centros de agregación, y en enfermedades del maíz como lo hizo Ramírez *et al.* (2011) quienes encontraron que *Sporisirium reilianum* se encuentra distribuida en las parcelas de maíz de manera agregada ubicándose en varios centros de agregación.

La aplicación de la geoestadística en este estudio permitió modelizar la estructura espacial del barrenador de la rama en diferentes parcelas dentro de 4 municipios productores de aguacate en el Estado de México. Los resultados obtenidos

mostraron la existencia de una estructura espacial agregada de la plaga dentro del cultivo obteniendo un nivel de dependencia espacial alto en todos los muestreos realizados. Estos mismos resultados fueron observados por de Souza Silva *et al.* (2016) en el estudio de la población de *Vatiga spp.*, donde informa que esta plaga se presenta de forma agregada en el cultivo de la yuca. Maldonado *et al.* (2017) reportan que las poblaciones de trips en aguacate en el Estado de México también se presentan de forma agregada dentro de los huertos comerciales evaluados durante el año 2015.

El tener una dependencia espacial alta indica que el efecto pepita tuvo valores cercanos a cero por lo que la escala de muestreo utilizada fue la correcta y el error de muestreo fue mínimo (Oliver y Webster, 1991; McBratney y Pringle, 1999) con lo cual se puede afirmar que los modelos ajustados tienen un 98 % de confiabilidad. Acosta *et al.* (2017) y Maldonado *et al.* (2016) en estudios de la distribución espacial de trips en aguacate encontraron valores de cero en los modelos ajustados.

El comportamiento de la plaga *C. aguacate* en forma agregada dentro de las huertas de aguacate proporciona información importante la cual se puede utilizar para aplicar medidas de control de forma dirigida hacia las zonas específicas de infestación de la plaga, de esta forma se reducirán las poblaciones del insecto evitando hacer aplicaciones generalizadas, lo cual traerá ahorros económicos al utilizar menos insumos y un menor impacto al medio ambiente. Lo anterior concuerda con Rong *et al.* (2006) quienes propusieron el manejo de *Locusta migratoria* manilensis Linnaeus en áreas específicas dentro de la parcela donde estaba la presencia de la plaga. Milonas *et al.* (2016) recomiendan dirigir el control a áreas específicas de infestación de *Helicoverpa armigera* (Hübner) y *Pectinophora gossypiella* (Saunders) en el cultivo de algodón.

Los modelos a los que se ajustaron los semivariogramas fueron esféricos, exponenciales y Gaussianos. El ajuste al modelo esférico es indicativo que dentro del área de estudio existen zonas en las que se manifiesta más el barrenador de la rama respecto a los demás puntos de muestreo, esto se refiere a que existen focos de infestación puntuales y de ahí se distribuye hacia las demás zonas, el ajuste al

modelo exponencial explica que la distribución de la plaga se presenta de forma agregada pero con límites irregulares o aleatorios dentro de la zona de estudio, finalmente los que se ajustaron al modelo gaussiano nos indica que los centros de agregación se presentan en forma continua dentro del área de estudio, con esto podemos deducir que existen diversos factores que influyen en la distribución de la plaga de una forma más rápida (Ramírez y Porcayo 2008). Este comportamiento de agrupamiento de las plagas en parches o agregados muestra una similitud con diferentes estudios tales como el de Solano *et al.* (2008) quienes estudiaron la distribución espacial de *Brevipalpus phoenicis* en plantaciones de naranja valencia en Colombia, Sciarretta *et al.* (2008) encontraron una distribución agregada de *Lobesia botrana* en parcelas de uva y con ajuste al modelo esférico, Duarte *et al.* (2015) analizaron la distribución espacial de *Grapholita molesta* (Busk) y encontraron una distribución agregada ajustándose a modelos esféricos, gaussianos y exponenciales. Contrario a esto Carrillo *et al.* (2004) realizaron un estudio de la distribución espacial de larvas de escarabaeidos en plantas cultivadas y sus resultados mostraron que las larvas estudiadas no tenían una distribución agregada, esto pudo haber estado relacionado con la amplia polifagia de las larvas.

Se elaboraron mapas de infestación utilizando las técnicas geoestadísticas, en concreto utilizando la técnica del krigado. Los mapas resultantes de esta tarea pueden conducir al manejo con precisión de la plagas, este manejo tiene el potencial de reducir el uso de insecticidas y de evitar el desarrollo de la resistencia de los insectos ya que se generan refugios dinámicos al no hacer aplicaciones generales (Fleischer *et al.*, 1999). Diferentes autores han utilizado los mapas de distribución de plagas para dirigir las medidas de control de manera precisa sobre áreas infestadas y aunque inicialmente estas técnicas fueron utilizadas por Weisz *et al.* (1996) sobre el escarabajo colorado de la papa, actualmente hay diversos estudios donde se han generado mapas de infestación tales como: Solares *et al.* (2012) utilizó el método del krigado para elaborar mapas de densidad de trips en aguacate, Esquivel y Jasso (2014) quienes estudiaron la distribución de gusano soldado en maíz. Se pueden enunciar varios trabajos de distribución espacial y la utilización de mapas de densidad y se puede confirmar la utilidad de dichos mapas.

Los mapas obtenidos en este trabajo demuestran la existencia de zonas de infestación con densidad variable y también zonas libres de la presencia de la plaga, por lo que con el uso de estos mapas se pueden sugerir acciones a los productores para llevar a cabo un manejo integrado de la plaga en la que se pueden emplear métodos de control tales como el control biológico donde se pueden utilizar hongos entomopatógenos como *Beauveria bassiana*, o *Metarhizium anisopliae* (Coria *et al.*, 2007) que son productos que ya se encuentran de manera comercial con diferentes nombres como lo son: BIOMIX G, BEA MIC, META MIC, BIO SIS, entre otros, los cuales se pueden aplicar en dosis de uno a dos litros por hectárea. Otra alternativa es utilizar insectos parasitoides como *Urosigalphus avocadoe* Gibson (Hernández *et al.*, 2009) el cual es un himenóptero que presenta alta especificidad de larvas por lo cual puede ser útil en el manejo de las poblaciones de *C. aguacatae*. Tanto los hongos entomopatógenos como el parasitoide deberían ser utilizados en los meses donde las poblaciones de adultos son menores y de esta manera regular poblaciones futuras, al mismo tiempo se pueden utilizar otras alternativas, como control cultural con el uso de podas sanitarias de las ramas dañadas, las cuales tienen que ser incineradas para eliminar huevos y larvas de la plaga; y tomando en cuenta que los productores de aguacate en el Estado de México tienden a reducir el uso de agroquímicos se tomaría como última opción el control químico en donde se utilizan productos como el malathion o permetrina en aplicaciones al follaje, las cuales tienen que hacerse en los meses donde hay mayor actividad de adultos. Todos estos tipos de control han mostrado eficiencia en el manejo de este insecto por lo que son una buena opción para combatir este tipo de plaga, haciéndolo de manera dirigida en puntos específicos donde se encuentra el insecto.

Uno de los objetivos planteados en este trabajo ha sido estudiar la posible existencia de estabilidad espacial y temporal a corto plazo. En este caso, el estudio de *C. aguacatae* permitió obtener resultados que muestran que en la gran mayoría de los muestreos comparados no existió estabilidad espacial esto posiblemente a la naturaleza dinámica de los insectos, ya que fueron creando nuevos puntos de infestación diferentes a los existentes. Este tipo de estudios también han sido realizados por Maldonado *et al.* (2017) quienes encontraron estabilidad espacial de

trips en el cultivo de aguacate solo en ciertas fechas de muestreo, dichas fechas corresponden a los meses en los que se encontró mayor incidencia. Esquivel y Jasso, 2014 encontraron que el gusano soldado en el cultivo del maíz tiene una estabilidad espacio temporal a corto plazo. Ramírez *et al.* (2011) encontró que *Sporisorium reilianum* en el cultivo de maíz tenía una estabilidad espacial en algunas fechas de muestreo y en otras no se encontraba dicha estabilidad. Ramírez y Porcayo (2008) encontraron que las larvas del mosquito verde *Jacobiasca lybica* tuvieron una estabilidad espacial y temporal a corto plazo en un viñedo de Andalucía España.

La implementación de métodos geoestadísticos en el manejo de este insecto plaga puede ser de gran impacto para los productores de aguacate, ya que permite conocer con mayor precisión el comportamiento espacial de este insecto. La elaboración de mapas al respecto de esa distribución puede ser de gran ayuda para el desarrollo de programas de manejo integrado de *C. aguacatae* por parte de las autoridades competentes, que actualmente no tienen este tipo de información, una vez se tengan en cuenta este tipo de estudios, los programas elaborados serán más eficientes, oportunos y pertinentes.

X. CONCLUSIONES

1. Los métodos espaciales (Geoestadística y SADIE) demostraron ser eficaces para establecer el comportamiento espacial de las poblaciones de *Copturus aguacate* en el cultivo de aguacate.
2. Los resultados obtenidos con las técnicas Geoestadísticas mostraron la existencia de una estructura espacial agregada de la plaga, teniendo un nivel de dependencia espacial alta.
3. Los análisis con SADIE presentaron un patrón espacial agregado con las poblaciones distribuidas en varios centros de agregación.
4. La mayor incidencia de adultos de *C. aguacatae* se presenta en los meses de junio y julio, coincidiendo con la temporada de lluvias.
5. La aplicación de la Geoestadística permitió modelizar la estructura espacial del insecto plaga con modelos esféricos y gaussianos y exponenciales con efecto pepita igual a cero o cercanos a cero.
6. Utilizando el kriging ordinario se lograron establecer mapas de distribución espacial de *C. aguacatae* en el cultivo de aguacate en los municipios estudiados.
7. Con la utilización de los mapas se logró establecer el porcentaje de superficie infestada, la cual en algunos muestreos no fue del 100%, así mismo se lograron identificar áreas libres de infestación.
8. Con base en los resultados obtenidos sería viable utilizar las técnicas de la agricultura de precisión para realizar un manejo dirigido hacia las poblaciones de *C. aguacatae* en zonas específicas de infestación.

9. Utilizando la prueba de Cramer-Von Misses y el índice I_m se logró establecer que en la mayoría de los muestreos comparados no existió una estabilidad espacio temporal a corto plazo.

10. Utilizando los mapas de densidad realizados, es posible utilizar alternativas de control diferentes al control químico, lo que debería en un futuro ser evaluado por posteriores investigaciones.

XI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, A.D., Ramírez, J.F., Rivera, M.R., Figueroa, D.K., Lara, A.V. y Maldonado, F.I. (2017). Distribución Espacial de Trips spp. (Thysanoptera) y Evaluación de su Control Mediante el Depredador *Amblyseius swirskii* en el Cultivo de aguacate en México. *Southwestern Entomologist* 42: 435-446.
- Aguirre-Paleo, S., Cuiris-Pérez, H., Ruíz-Flores, R., Serna-Mata, E., Negrete-Nolasco, R., Gómez-Chavez, J.L. y Lara-Chavez, B.N. (2011). Control Biológico del barrenador de ramas de aguacate *Copturus aguacatae* Kissinger. Proceedings VII World Avocado Congress 2011 (Actas VII Congreso Mundial del Aguacate 2011). Cairns, Australia. 5-9 septiembre de 2011.
- Alexander, C.J., Holland, J.M., Winder, L., Wolley, C. y Perry, J.N. (2005). Performance of sampling strategies in the presence of known spatial patterns. *Annals of Applied Biology*, 146: 361-370.
- Alston, R. (1996). Statistical analysis of animal populations. Thesis PhD thesis, University of Kent. UK
- Anderson, T. (1971). The Statistical analysis of time series, Jhon Wiley, New York.
- Armstrong, M. y Jabin, R. (1981). Variogram models must be positive-definite. *Mathematical Geology*, 13(5), 455-459.
- Benacchio, S.S. (1982). Algunas exigencias agroecológicas en 58 especies de cultivo con potencial de producción en el Trópico Americano. FONAIAP-Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Ministerio de Agricultura y Cría. Maracay, Venezuela. 202 p.

- Blom, E. y Fleisher, S. (2001). Dynamics in the spatial structure of *Leptinotarsa decemlineata* (Coleoptera: Chrysomelidae). *Environmental Entomology*, 30 (2): 350–364.
- Brenner, R., Focks, D., Arbogast, R., Weaver, D. y Shuman, D. (1998). Practical use of spatial analysis in precision targeting for integrated pest management. *American Entomologist* 79–101.
- Brandhorst – Hubbard, J., Flanders, K., Mankin, R., Guertal, E. y Crocker, R. (2001). Mapping of soil insect infestations sampled by excavation and acoustic methods. *Journal of economy entomology* 94 (6): 1452 – 1458.
- Cambardella, C., Moorman, T., Novak, J., Parkin, T., Karlen, D., Turco, R. y Konopka, A. (1994). Field scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil science society of America journal* 58, 1501–1511.
- Carrillo, R., Pape, H., Neira, M., y Balocchi, O. (2004). Distribucion espacial de larvas de dos especies de escarabeidos nativos en respuesta a plantas cultivadas. *Revista Chilena de Entomologia* 30: 59–64.
- Castela, J., Jourdain, D., Trebuil, G. y Napompeth, B. (1999). A systems approach to understanding obstacles to effective implementation of IPM in Thailand: Key issues for the cotton industry. *Agriculture ecosystems and environment*. 72 (1): 17–34.
- CESAVEG. (2012). Manual de Plagas y Enfermedades del Aguacatero. Campaña Contra Plagas Reglamentadas del Aguacatero. Comité Estatal de Sanidad Vegetal de Guanajuato, A.C. Irapuato, Guanajuato, 12 p.
- Chilés, J. y Delfiner, P. (1999). Geostatistics: Modeling spatial uncertainty. John Wiley & Sons, Nueva York. 695 Pp.

CONAGUA. (2018). Consultado diciembre de 2018
<https://smn.cna.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/informacion-estadistica-climatologica>

Conover, W.J. (1980). Practical nonparametric statistics. Second edition. Jhon Wiley & Sons, New York. USA.

Conrad, K.F., Perry, J.N., Woiwod, I.P., y Alexander, C.J. (2006). Large scale temporal changes in spatial pattern during declines of abundance and occupancy in common moth. *Journal of Insect Conservation* 10: 53–64.

Coria, A.V.M., Pescador, A., López, E., Lezama, R., Salgado, R., López, M., Vidales, A., Muñoz, J. (2007). Autoecología del barrenador de las ramas *Copturus aguacatae* Kissinger (Coleoptera: Curculionidae) del aguacate en Michoacán, México. Proceedings VI World Avocado Congress (Actas VI Congreso Mundial del Aguacate). Viña Del Mar, Chile. 12–16 Nov. 2007. ISBN No 978-956-17-0413-8.

De Souza Silva, A., Mota, T.A., Piñeyro, N.G., Fernandes, M.G. y Pereira, F.F. (2016). Distribución espacial de *Vatiga* spp. (Hemiptera: Tingidae) en el cultivo de yuca. *Acta Biológica Colombiana* 21(1), 195–200.

DGSV. (2012). Guía de identificación de las principales plagas del Aguacate. *Dirección General de Sanidad Vegetal*. México, 33 p.

DGSV. (2016). Plagas reglamentadas del aguacatero. Campañas y Programas Fitosanitarios. Dirección General de Sanidad Vegetal–Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. En línea: <http://www.senasica.gob.mx/?id=4153> Fecha de consulta 04 de abril de 2016.

Duarte, F., Calvo, M.V., Borges, A., y Scatoni, I.B. (2015). Geostatistics and geographic information systems to study the spatial distribution of *Grapholita*

molesta (Busck) (Lepidoptera: Tortricidae) in peach fields. *Neotropical entomology* 44 (4): 319–327.

Englund, E. y Sparks, A. (1988). GEO-EAS (Geostatistical Environmental Assessment Software) User's Guide. U.S. Environmental protection agency document EPA/600/4-88/033. Environmental Monitoring Systems Laboratory, Las Vegas, NV, USA.

Engstrand, R.C., Cibrian-Tovar, J., Cibrián-Jaramillo, A., y Kolokotronis, S.O. (2010). Variación genética en gorgojos del tallo de aguacate *Copturus aguacatae* (Coleoptera: Curculionidae) en México. *Adn mitochondrial* 21 (sup1), 38–43.

Equihua, M.A., Gasca, C.L. y Salinas, C.A. (2007). Plagas. 135–169. En: Téliz, M. y Mora, A. El aguacate y su Manejo Integrado. Segunda Edición. Mundi prensa, México, S. A. de C. V. México, D.F. 320 p.

Equihua, A., y Estrada, E.G. (2008). Manejo integrado del barrenador de ramas del aguacate (*Copturus aguacatae* Kissinger) (Coleoptera: Curculionidae) en Michoacán, México. *In Fitosanidad*. (No. 3194).

Esquivel, H.V. y Jasso, G.Y. (2014). Distribución espacial y mapeo de gusano soldado en seis localidades del Estado de México, en el año 2011. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5: 923–935.

Estrada, A. (1998). Geostatistics and remote sensing as predictive tools of tick distributions: a cokriging system to estimate *Ixodes scapularis* (Acari: Ixodidae) Habitat suitability in the United States and Canada from advanced very high resolution radiometer satellite imagery. *Journal of Medical Entomology* 35(6): 989–995.

- Ferguson, W., Klukowski, Z., Walczak, B., Perry, J., Mugglestone, M., Clark, S. y Williams, I. (2001). The spatio-temporal distribution of adult *Ceutorhynchus assimilis* in a crop of winter oilseed rape in relation to the distribution of their larvae and that of the parasitoid *Trichomalus perfectus*. *Entomology Experimentalis et Applicata* 95: 161 – 171.
- Fleischer, S.J., Blom, P., Emmen, D., y Hower, A. (1999). Dynamics in the spatial continuity of insect density. *Precision Agriculture* 133-141.
- Gasca-Corona, I. y Equihua-Martínez, Y.A. (1999). Monitoreo del barrenador de ramas del aguacate (*Copturus aguacatae* Kissinger) y estudio de algunos aspectos de su biología y comportamiento en Ziracuaretiro, Michoacán, México p. 53-54.
- Gasca, C.L. (2000). Ensayos con trampas adhesivas de color y monitoreo de *Copturus aguacatae* Kissinger, en Ziracuaretiro, Michoacán. Tesis: Maestría. Instituto de Fitosanidad. Colegio de postgraduados, Texcoco, Estado de México. 40 p.
- GIIIA. (2013). El aguacate en Michoacán, plagas y enfermedades. Grupo Interdisciplinario e interinstitucional de Investigación en Aguacate. APEAM, 2013. ISBN. 978-607-715-103-6. 56 p.
- Gudiño, J.L.M. y García, G.M.A. (1990). Biología y hábitos del barrenador de ramas y troncos del aguacate (*Copturus aguacatae* Kissinger) en la región de Uruapan, Mich. Tesis de Licenciatura. UMSNH, Facultad de Agro biología. Uruapan, Mich.
- González, H.H., Johansen, R., Gasca, C., Equihua, A., Salinas, C., Estrada, E., Durán, F. y Valle, A. (2000). Plagas del aguacate. pp. 117-136. In: D. Téliz (ed), El aguacate y su manejo integrado. Ediciones Mundi-Prensa. México, D. F. 219 p.

- González-Herrera, A. (2003). Artrópodos asociados al cultivo del aguacate (*Persea americana* Mill.) en Costa Rica. In Proceedings V World Avocado Congress. Málaga, Spain (pp. 449-454).
- Goovaerts, P. (1997). Geostatistics for natural resources evaluation. Oxford university press, Nueva York. 483 Pp.
- Hernández, F., Saavedra, A., Urias, I. y López, A. (2009). Registro de *Urosigalphus avocadoae* Gibson (Hymenoptera: Braconidae) como parasitoide de *Copturus aguacatae* Kissinger (Coleoptera: Curculionidae) en México. *Acta zoologica mexicana* 25 (3): 659-661.
- Hall, D., Childers, C., Eger, E. y Allen, J. (1997). Citrus rust mite (Acari: Eriophidae) counts on fruit and the negative binomial distribution. *Florida Entomologist* 80 (1): 1-10.
- Hevesi, J., Istok, J. y Flint, A. (1992). Precipitation estimation in mountainous terrain using multivariate geostatistics. Part. I. Structural analysis. *Journal of Applied Meteorology* 31 (7): 661 – 676.
- Hulbert, S. (1990). Spatial distribution of the montane unicorn. *Oikos* 58: 257-71.
- Hofmann – Wellenhof, B., Lichtenegge, H. y Collins. (1994). GPS Theory and practice Editorial Springer – Verlag Wien. New York. Tercera edición revisada.
- Holland, M., Winder, L. y Perry, J. (2000). The impact of dimethoate on spatial distribution of beneficial arthropods in winter wheat. *Ann. Appl. Biol.* 136: 93 – 105.
- Houlding, S.W. (2000). Practical geostatistics: Modeling and spatial analysis. *Springer-verlag*, Berlin. 159 Pp.

- Isaaks, E. y Srivastava, M. (1988). Spatial continuity measures for probabilistic and deterministic geostatistics. *Mathematical Geology* 20(4): 313 – 341.
- Journel, A. y Huijbregts, C.J. (1978). Mining geostatistics. Academic Press, London, Reino Unido. 600 Pp.
- Journel, A.G. (1986). Geostatistics, models and tools for the earth sciences, *Mathematical Geology* 18(1): 119–140.
- Kissinger, D.G. (1957). Description of a new *Copturus* pest avocado from Mexico (Coleoptera: Curculionidae: Zygopionae). *Acta Zoológica Mexicana* 2(3): 1–8.
- Korie, S., Perry, J.N., Mugglestone, M., Clark, S., Thomas, C.F. y Mohamad, R. (2000). Spatiotemporal association in beetle and virus count data. *Journal of agricultural biological and environmental Statics* 5:214–239.
- Krige, D.G. (1951). A statistical approach to some basic mine valuation problems on the Witwatersrand. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy* 52(6), 119–139.
- Liebhold, A.M., Rossi, R.E., y Kemp, W.P. (1993). Geostatistics and geographic information systems in applied insect ecology. *Annual review of entomology* 38(1): 303–327.
- Liebhold, A.M. y Sharov, A. (1998). Testing for correlation in the presence of spatial autocorrelation in insect count data. *Population and community Ecology for insect management and conservation*. Pp. 1 – 117.
- Liu, M. y Shen, Y. (1998). Sierra Nevada uplift; a ductile link to mantle upwelling under the basin and range province. *Geology* 26: 299–302.

- López-Granados, F., Jurado-Expósito, M., Atenciano, S., García-Ferrer, A., Sánchez, M. y García-Torres, I. (2002). Spatial variability of agricultural soil parameters in southern Spain. *Plant and Soil* 246: 97-105.
- Lozano-Gutiérrez, J., España-Luna, M.P., Balleza-Cadengo, J.J., y Liñán-Quiroz, B. M. (2015). Biodiversidad de coleopteros en árboles de aguacate de aramberri, Nuevo León, México.
- Maestre, F.T., y Quero, J.L. (2008). Análisis espacial mediante índices de distancia (SADIE). Introducción al Análisis Espacial de Datos en Ecología y Ciencias Ambientales: Métodos y Aplicaciones, AEET-CAM.
- Maldonado-Zamora, F.I., Ramírez-Dávila, J.F., Rubí-Arriaga, M., Xanat, A.N., Lara-Díaz, A.V. (2016). Distribución espacial de trips en aguacate en Coatepec Harinas, Estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 7(4): 845-856.
- Maldonado-Zamora, F.I., Ramírez-Dávila, J.F., Lara-Díaz, A.V., Rivera-Martínez, R., Acosta-Guadarrama, A.D., Figueroa-Figueroa, D.K. y 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): 447-463.
- Mazza, S., Contreras, G., Videla, M., Polak, J., Schroeder, y Tannure, C. (1996). Técnicas de muestreo para la evaluación de infestación por pulgones (*Aphis gossypii*) en algodón (*Gossypium hirsutum*). Reunión de Comunicaciones Científicas y Tecnológicas SGCYT-UNNE. *Actas* 3(5): 1-4.
- Matheron, G. (1962). Traite de geostatistique appliquee, tome 1 and 2, Memoires du bureau de recherches Geologiques Et minières, Technip, Paris, 1962-3.

- Mcbratney, A. y Pringle, M. (1999). Estimating average and proportional variograms of soil properties and their potential use in precision agriculture. *Precision Agriculture* 1: 125–152.
- Midgarden, D., Youngman, R. y Fleischer, S. (1993). Spatial Analysis of counts of Western corn rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae) Adults on yellow sticky traps in corn: Geostatistics and dispersion indices. *Environmental Entomology* 22(5): 1124–1123.
- Milonas, P., Gogou, C., Papadopoulou, A., Fountas, S., Liakos, V. y Papadopoulos, N.T. (2016). Spatio–Temporal Distribution of *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) and *Pectinophora gossypiella* (Saunders) (Lepidoptera: Gelechiidae) in a Cotton Production Area. *Neotropical entomology* 45: 240–251.
- Myers, D. (1987). Optimization of Sampling Locations for Variogram Calculations. *Water Resources Research* 23(3): 496–500.
- Naamani, G. (2007). Developments in the avocado world. *California Avocado Society* pp. 71–76.
- Oliver, M. y Webster, R. (1991). How geostatistics can help you. *Soil use and management* 7(4): 206 – 217.
- Pérez-Álvarez, R., Argüelles-Cárdenas, J., y Garramuño, E.A. (2010). Distribución espacial de *Premnotrypes vorax* (Hustache) (Coleoptera: Curculionidae) en cultivos de papa. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 11(1): 11–20.

Perry, J.N. y Hewitt, M. (1991). A new index of aggregation for animal counts. *Biometrics*. 47: 1505 – 1518.

Perry, J. (1995). Spatial aspects of animal and plant distribution in patchy farmland habitats. In *Ecology and Integrated Farming Systems*. Eds. D. M. Glen, M. A. Greaves, H. M. Anderson. Chichester, England. Wiley. 221 – 242 Pp.

Perry, J.N., Bell, E., Smith, R. y Woiwod, I. (1996). SADIE. Software to measure and model spatial pattern. *Aspects of Applied Biology* 46: 95–102.

Perry, J.N. y Klukowsky, Z. (1997). Spatial distributions of counts at the edges of sample areas. VI Conferencia de la sociedad de biometría. Córdoba, España. Pp. 103–108.

Perry, J.N. (1998). Measures of spatial pattern for counts. *Ecology*. 79(3): 1008–1017.

Perry, J.N., Winder, L., Holland, J. y Alston, R. (1999). Red – blue plots for detecting clusters in count data. *Ecology Letters* 2: 106 – 113.

Perry, J.N. y Dixon, P. (2002). A new method for measuring spatial association in ecological count data. *Ecoscience* 9: 133–141.

Petitgas, P. (1996). Geoestadística y sus aplicaciones a los datos de encuestas pesqueras. En *Computers in fisheries research* (págs. 113–142). Springer, Dordrecht.

Ramírez-Dávila, J.F., González-Andujar, J.L., Ocete, R. y López, M. (2002). Descripción geoestadística de la distribución espacial de los huevos del mosquito verde *Jacobiasca lybica* (Bergevin y Zanon) (Homoptera:

Cicadellidae) en viñedo: modelización y mapeo. *Boletín Sanidad Vegetal de Plagas*.28: 87-95.

Ramírez-Dávila J.F., González-Andujar J.L. (2006). Modelización y mapeo de la distribución espacial del muérdago enano (*Arceuthobium* sp.) en la ladera sur del Parque Nacional Nevado de Toluca. *Revista de Geografía Agrícola* (38): 19-32.

Ramírez-Dávila, J.F., y Porcayo-Camargo, E. (2008). Spatial distribution of the nymphs of *Jacobiasca lybica* (Hemiptera: Cicadellidae) in a vineyard in Andalusia, Spain. *Revista Colombiana de Entomología* 34(2): 169-175.

Ramírez-Dávila, J.F., y Porcayo, C.E. (2009). Distribución espacial de las ninfas de *Jacobiasca lybica* (Hemiptera: Cicadellidae) en un viñedo en Andalusia, España. *Revista Colombiana de Entomología* 34: 169-175.

Ramírez-Dávila, J.F., Porcayo-Camargo, E., Sánchez-Pale, J.R. (2011). Análisis de la distribución espacial de *Bactericera cockerelli* Sulc (Hemiptera: Triozidae) en *Solanum tuberosum* L. en Donato Guerra, México. *Boletín del Museo de Entomología de la Universidad del Valle* 12(1): 12-24.

Ramírez-Dávila, J.F., Solares-Alonso, V.M., Figueroa-Figueroa, D.K., y 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: 545-562.

Reay-Jones, F.P. (2012). Análisis espacial del escarabajo de la hoja de cereal (Coleoptera: Chrysomelidae) en trigo. *Entomología ambiental* 41(6): 1516-1526.

Ribes, D.M., Bascuñana, C.M. y Avilla, H.J. (1998). Estudio de la distribución espacial de *Cydia pomonella* (L.) y *Pandemis heparana* (Denis & Schiffermüller)

en Torregrossa (Lleida) mediante métodos geoestadísticos. *Boletín de Sanidad Vegetal Plagas* 24: 935–948.

Rivoirard, J., Simmonds, J., Foote, K., Fernandez, P. y Bez, N. (2000). Geostatistics for estimating fish abundance, Blackwell science, Oxford. 206 Pp.

Rodríguez. S. F. (1992). El aguacate. Editorial AGT Editor, S. A. México. D.F. 167 pp.

Rong, J., Dian, M.L., Bao Y.X., Zhe, L. y Dong, L. (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.E., Mulla, D.J., Journel, A.G. y Franz, E.H. (1992). Geostatistical tools for modeling and interpreting ecological spatial dependence. *Ecological monographs* 62(2), 277–314.

SAGARPA. (2017). Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación Consultado 2018: (<http://www.gob.mx/sagarpa>).

Samper, F. y Carrera, J. (1996). Geoestadística: Aplicaciones a la Hidrología subterránea. 2ª Ed. Centro Internacional de Métodos en Ingeniería. Barcelona. 484 Pp.

Santacruz U.H. (2004). Actividad productora del aguacate en México y Michoacán. *Tecnoagro* 5(13): 13–18.

Sawyer, J., (1989). Inconstancy of Taylor's b: simulated sampling with different quadrat sizes and spatial distributions. *Population Ecology* 31: 11–24.

- Sichel, H.S. (1947). Ajuste de curvas de crecimiento y frecuencia por el método de momentos de frecuencia. *Revista de la Royal Statistical Society* 110(4): 337–347.
- Sciarretta, A., Trematerra, P. y Baumgärtner, J. (2001). Geostatistical analysis of *Cydia funebrana* (Lepidoptera: Tortricidae) pheromone trap catches at two spatial scales. *American Entomologist* 47(3): 174–185.
- Sciarretta, A., Zinni, A., Mazzocchetti, A. y Trematerra, P. (2008). Spatial analysis of *Lobesia botrana* (Lepidoptera: Tortricidae) male population in a Mediterranean agricultural landscape in central Italy. *Environmental Entomology* 37(2): 382–390.
- Scora, R.W., Berg, B.O. (1992) Origin of and taxonomic relationships within the genus *Persea*. En: Proceedings of 2nd World Avocado Congress, California, 1991: 505–514.
- SIAP. (2018). *Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera*. SIAP. <http://www.siap.gob.mx/> (Consulta: 28 de septiembre 2018).
- Solano, D., Álvarez, H., Rodríguez, J. (2008). Distribución espacial de *Brevipalpus phoenicis* vector de la leprosis de los cítricos en el cultivo de naranja Valencia (*Citrus sinensis*) en Yopal, Casanare (Colombia). *Agronomía Colombiana* 26 (3): 399–410.
- Solares, V.M., Ramírez, J.F. y Sánchez, J.R. (2012). Distribución espacial de trips (Insecta: Thysanoptera) en el cultivo de aguacate (*Persea americana* Mill.). *Boletín del Museo de Entomología de la Universidad del Valle* 12(2):1–12.

- Soto, H.M., García, M.O. y Carbajal, C.C. (2013). Fauna de Curculionidae (Coleoptera) en huertas de aguacate Hass (*Persea americana* Mill) en Xalisco, Nayarit. *Dugesiana* 20(2): 93–98.
- Speight, M., Hails, R., Gilbert, M. y Foggo, A. (1998). Horse chestnut scale (*Pulvinaria Regalis*) (Homoptera: Coccidae) and urban host tree environment. *Ecology*. 79(5): 1503–1513.
- Syrjala, E. (1996). A statistical test for a difference between the spatial distributions of two population. *Ecology* 77:75-80.
- Taylor, L.R. y Woiwod, I.P. (1980). Estabilidad temporal como una característica de la especie dependiente de la densidad. *The Journal of Animal Ecology* 209–224.
- Taylor, L., Taylor, R., Woiwod, I. y Perry, J.N. (1983). Behavioural dynamics. *Nature* 303: 801–4.
- Téliz–Ortíz, D., Mora–Aguilera, G. y Morales–García, L. (2000). Importancia histórica y socioeconómica del aguacate. In: Téliz–Ortíz, D. (Coord.). El aguacate y su manejo integrado. Mundi Prensa, México.
- Téliz, D. y Marroquin, F. (2007). Importancia histórica y socioeconómica del aguacate. Mundi-Prensa. México. p. 1–28.
- Thomas, G., Parkinson, L., Griffiths, K., Fernandez, G. y Marshall, J. (2001). Aggregation and Temporal Stability of Carabid Beetle Distributions in Field and Hedgerow habitats. *Journal of Applied Ecology* 38: 100–116.
- Urías, L.M.A. y Salazar, G.S. (2008). Poblaciones de gusano telarañero y **barrenador de ramas en huertos de aguacate 'hass' de Nayarit, México.** *Agricultura Técnica en México* 34(4): 431–441.

- Wakabayashi J. y Sawyer, T.L. (2001). Stream incision, tectonics, uplift, and evolution of topography of the Sierra Nevada, California. *The Journal of Geology* 109: 539–562.
- Wallace, M. K. y Hawkins, D.M. (1994). Applications of Geostatistics in Plant Nematology. *Journal of Nematology* 26(4S): 626 – 634.
- Weber, L. y Tiwari, A. (1995). DGPS Architecture Based on Separating Error Components, Virtual Reference Station and FM Subcarrier Broadcast. Proc ION Annual Meeting.
- Webster, R. y Oliver, M.A., (2001). Geostatistics for Environmental Scientists. John Wiley and Sons, Brisbane, Australia.
- Weisz, R., Fleischer, S. y Smilowitz, Z. (1996). Site-specific integrated pest management for high-value crops: impact on potato pest management. *Journal of Economic Entomology* 89(2): 501–509.
- Winder, L., Perry, J.N. y Holland, J. (1999). The spatial and temporal distribution of the grain aphid *Sitobionavenae* in winter wheat. *Entomologia Experimentaliset Applicata* 93: 227–290.
- Winder, L., Wooley, C., Holland, J.M., Perry, J.N. y Alexander, C.J. (2005). The field-scale distribution of insects in winter wheat. Proceedings of the 2000 Brighton Conference – Pests and Diseases: 2: 573–578.