



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRICOLAS

**MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES**

**ANÁLISIS ESPACIAL DE LAS POBLACIONES DE TRIPS (INSECTA:
THYSANOPTERA) 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:

AGUSTIN DAVID ACOSTA GUADARRAMA

COMITÉ DE TUTORES

DR. JOSÉ FRANCISCO RAMÍREZ DÁVILA

DR. MARTÍN RUBÍ ARRIAGA

DR. ANTONIO LAGUNA CERDA

El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México. Junio 2019

DEDICATORIAS

A mi familia....

Para mi pequeña gran familia, mi esposa Lupita y mi hermoso hijo Alfonso, sin duda las personas que más amo en el mundo y las más importantes para mí, a mis papás por apoyarme durante toda mi vida, a mi Papá por dar el mejor ejemplo y siempre enseñarme lo mejor de la vida, a mi Mamá por estar en las buenas y en las malas, por soportar mis malos ratos, a mis hermanas Pao y Coco por ser mis mejores amigas y que siempre me han dado lo mejor, a mi cuñado José por ser ejemplo de vida para mí.

RESUMEN

Uno de los principales problemas que enfrentan los cultivos y que merman su producción son los ataques de plagas y enfermedades, existen plagas que se distribuyen en todos los cultivos del mundo y que atacan a la mayoría de estos, en el aguacate no es la excepción, la plaga denominada “trips” causa severos daños en las plantaciones llegando a mermar su producción hasta un 30%. México es el principal productor de aguacate en el mundo, los aguacates de México se comercializan en los cinco continentes, al igual que en la mayoría de los cultivos sufre de ataques de plagas y enfermedades, en el presente trabajo se estudió la fluctuación poblacional de los trips en aguacate durante los años 2016 y 2017 en la principal zona productora del Estado de México (Coatepec Harinas, Temascaltepec, Tenancingo y Donato Guerra). Además del estudio de su fluctuación poblacional se echó mano de la geoestadística para realizar un análisis espacial de las poblaciones en cuatro diferentes municipios del Estado de México. Los resultados de la presente investigación arrojan que el comportamiento del trips en el cultivo es de una forma agregada para los 48 muestreos realizados, además los semivariogramas que se calcularon se ajustaron a modelos esféricos, gaussianos y exponenciales, con pepita igual a cero en todos los muestreos, se obtuvo un nivel de dependencia espacial alto, también se calculó la superficie infestada y con cada muestreo se realizó un mapa de infestación que nos permite conocer de manera gráfica el comportamiento espacial de la plaga. Las fluctuaciones mayores se presentan en los meses de marzo, agosto y septiembre para los cuatro municipios. Los resultados que se obtuvieron ayudan a desarrollar programas de manejo integrado de trips, lo cual disminuye el uso de agroquímicos ya que las aplicaciones son dirigidas, aunado a esto los productores obtienen ahorros económicos y medio ambientales.

Palabras clave: Aguacate, semivariogramas, trips, geoestadística.

ABSTRACT

One of the main problems of the crops and that reduce their production are the attacks of pests and diseases, there are pests that are distributed in all the crops of the world and that attack most of these, in the avocado is not the exception, the pest called "thrips" causes severe damages in the avocado orchards, reducing its production by up to 30%. Mexico is the main avocado producer in the world, avocados from Mexico are commercialized in the five continents, as in the majority of the crops it suffers from attacks of pests and diseases, in the present research the population fluctuation was studied. Thrips in avocado during the years 2016 and 2017 in the main production area of the State of Mexico (Coatepec Harinas, Temascaltepec, Tenancingo and Donato Guerra). In addition to the study of its population fluctuation, geostatistics was used to carry out a spatial analysis of the populations in four different municipalities of the State of Mexico. The results of the present investigation show that the behavior of thrips in the crop is in an aggregate form for the 48 samplings carried out, besides the semivariograms that were calculated were adjusted to spherical, gaussian and exponential models, with nugget equal to zero in all the samplings, a high level of spatial dependence was obtained, the infested surface was also calculated and with each sampling an infestation map was made that allows us to know graphically the spatial behavior of the pest. The largest fluctuations occur in the months of March, August and September for the four municipalities. The results obtained help develop integrated thrips management programs, which decreases the use of agrochemicals since the applications are directed, in addition to this the producers obtain economic and environmental savings.

Key words: Avocado, semivariograms, thrips, geostatistics.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma del Estado de México por la formación académica recibida mediante el Programa de Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales.

Al CONACYT por la beca otorgada durante estos últimos tres años, ha sido de mucha ayuda para mi formación, muchas gracias.

Al Dr. José Francisco Ramírez Dávila por su dirección, orientación, apoyo y amistad en todo momento y por compartir sus conocimientos conmigo, por todos los momentos agradables que pasamos en la realización de este trabajo, su apoyo fue indispensable para terminar este proyecto.

Al Dr. Martín Rubí Arriaga y al Dr. Antonio Laguna Cerda por el apoyo y disposición mostrada en la realización de este trabajo.

A mi amigo Roberto por su amistad y por su ayuda para terminar este proyecto muchas gracias, a mis amigas Vero y Fátima por todo su apoyo durante estos últimos años, a mi amigos Fidel, Atenas y Karen por sus ánimos y su amistad, muchas gracias.

A todas las personas que me ayudaron de todo corazón les digo MUCHAS GRACIAS.

CONTENIDO

DEDICATORIAS	i
RESUMEN	ii
ABSTRACT	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
INDICE DE FIGURAS	vii
INDICE DE TABLAS	xi
I. INTRODUCCIÓN.....	13
II. REVISION DE LITERATURA	15
2.1 ORIGEN DEL AGUACATE	15
2.2 CLASIFICACIÓN BOTÁNICA	15
2.3 FASES FENOLÓGICAS DEL AGUACATE	16
2.3.1 Fase vegetativa.....	16
2.3.2 Floración	16
2.3.3 Fructificación.....	16
2.3.4 Maduración del fruto	17
2.4 AGUACATE HASS.....	17
2.5 SITUACIÓN DEL CULTIVO A NIVEL MUNDIAL	17
2.6. PLAGAS DEL AGUACATE	18
2.6.1 Barrenadores de hueso	18
2.6.2 Daños del barrenador de hueso.....	18
2.6.3 Barrenadores de rama	19
2.6.4 Daños de los barrenadores de ramas.....	19
2.6.5 Trips (Insecta: Thysanoptera)	19
2.7 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS INSECTOS PLAGA.....	21
2.8 ESTADÍSTICA ESPACIAL	22
2.8.1 Antecedentes de la Geoestadística	23
2.8.2 Geoestadística aplicada a estudios entomológicos.....	27
2.9 ANÁLISIS GEOESTADÍSTICO	30
2.9.1 Estimación del Semivariograma.....	30
2.9.2 Estimación de los parámetros del modelo de Semivariograma	35
2.9.3 Validación	39

2.9.4 Nivel de dependencia espacial	40
2.9.5 Elaboración de mapas	40
2.10 ANALISIS ESPACIAL POR INDICES DE DISTANCIA	47
III. JUSTIFICACIÓN	48
IV. HIPÓTESIS	49
V. OBJETIVOS	50
5.1 OBJETIVO GENERAL	50
5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	50
VI. METODOLOGIA.....	51
6.1 ZONA DE ESTUDIO	51
6.2 ESTABLECIMIENTO DE PARCELAS Y MUESTREOS	51
6.3 ANÁLISIS GEOESTADÍSTICO	53
6.4 ANALISIS ESPACIAL POR INDICES DE DISTANCIA (SADIE)	57
VII. RESULTADOS	60
VIII. OTROS RESULTADOS	106
IX. DISCUSION GENERAL	183
X. CONCLUSIONES	187
XI. BIBLIOGRAFIA.....	189

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo biológico del trips.....	20
Figura 2. GPS (Marca Garmin).....	29
Figura 3. DGPS (GPS Diferencial)	30
Figura 4. Parámetros del semivariograma. Co: Efecto pepita y Co + C1 = meseta	35
Figura 5. Semivariogramas teóricos más comunes.....	37
Figura 6. Ilustración del efecto suavizador del Krigeado	41
Figura 7. Estimación o Interpolación Espacial (Krigeado)	42
Figura 8. Municipios seleccionados para el proyecto	51
Figura 9. Trampas amarillas para conteo de trips.	52
Figura 10. Mapas de infestación de <i>Scirtothrips perseae</i> correspondiente al primer semestre del año, Tenancingo 2016.	80
Figura 11. Mapas de infestación de <i>Scirtothrips perseae</i> correspondiente al segundo semestre del año, Tenancingo 2016.....	81
Figura 12. Mapas de infestación de <i>Scirtothrips perseae</i> correspondientes al primer semestre del año, Temascaltepec.....	82
Figura 13. Mapas de infestación de <i>Scirtothrips perseae</i> correspondientes al segundo semestre del año, Temascaltepec.....	83
Figura 14. Temperaturas promedio mensuales en 2016 de las cuatro localidades de la zona de estudio.	106
Figura 15. Temperaturas promedio mensuales en 2017 de las cuatro localidades de la zona de estudio.	107
Figura 16. Precipitaciones promedio mensuales en 2016 de las cuatro localidades de la zona de estudio.	108
Figura 17. Precipitaciones promedio mensuales en 2017 de las cuatro localidades de la zona de estudio.	109
Figura 18. Semivariogramas correspondientes al primer semestre de 2016 en el municipio de Donato Guerra.....	113

Figura 19. Semivariogramas correspondientes al segundo semestre de 2016 en el municipio de Donato Guerra.....	114
Figura 20. Mapas de infestación para el primer semestre de 2016 en el municipio de Donato Guerra.....	118
Figura 21. Mapas de infestación para el segundo semestre de 2016 en el municipio de Donato Guerra.....	119
Figura 22. Semivariogramas correspondientes al primer semestre de 2016 en el municipio de Coatepec Harinas.....	123
Figura 23. Semivariogramas correspondientes al segundo semestre de 2016 en el municipio de Coatepec Harinas.....	124
Figura 24. Mapas de infestación para el primer semestre de 2016 en el municipio de Coatepec Harinas.....	127
Figura 25. Mapas de infestación para el segundo semestre de 2016 en el municipio de Coatepec Harinas.....	128
Figura 26. Semivariogramas correspondientes al primer semestre de 2016 en el municipio de Temascaltepec.....	132
Figura 27. Semivariogramas correspondientes al segundo semestre de 2016 en el municipio de Temascaltepec.....	133
Figura 28. Mapas de infestación para el primer semestre de 2016 en el municipio de Temascaltepec.....	136
Figura 29. Mapas de infestación para el segundo semestre de 2016 en el municipio de Temascaltepec.....	137
Figura 30. Semivariogramas correspondientes al primer semestre de 2016 en el municipio de Tenancingo.....	141
Figura 31. Semivariogramas correspondientes al segundo semestre de 2016 en el municipio de Tenancingo.....	142
Figura 32. Mapas de infestación para el primer semestre de 2016 en el municipio de Tenancingo.....	145
Figura 33. Mapas de infestación para el segundo semestre de 2016 en el municipio de Tenancingo.....	146

Figura 34. Semivariogramas correspondientes al primer semestre de 2017 en el municipio de Donato Guerra.....	150
Figura 35. Semivariogramas correspondientes al segundo semestre de 2017 en el municipio de Donato Guerra.....	151
Figura 36. Mapas de infestación para el primer semestre de 2017 en el municipio de Donato Guerra.....	154
Figura 37. Mapas de infestación para el segundo semestre de 2017 en el municipio de Donato Guerra.....	155
Figura 38. Semivariogramas correspondientes al primer semestre de 2017 en el municipio de Coatepec Harinas.....	159
Figura 39. Semivariogramas correspondientes al segundo semestre de 2017 en el municipio de Coatepec Harinas.....	160
Figura 40. Mapas de infestación para el primer semestre de 2017 en el municipio de Coatepec Harinas.....	163
Figura 41. Mapas de infestación para el segundo semestre de 2017 en el municipio de Coatepec Harinas.....	164
Figura 42. Semivariogramas correspondientes al primer semestre de 2017 en el municipio de Temascaltepec.....	168
Figura 43. Semivariogramas correspondientes al segundo semestre de 2017 en el municipio de Temascaltepec.....	169
Figura 44. Mapas de infestación para el primer semestre de 2017 en el municipio de Temascaltepec.....	172
Figura 45. Mapas de infestación para el segundo semestre de 2017 en el municipio de Temascaltepec.....	173
Figura 46. Semivariogramas correspondientes al primer semestre de 2017 en el municipio de Tenancingo.....	177
Figura 47. Semivariogramas correspondientes al segundo semestre de 2017 en el municipio de Tenancingo.....	178
Figura 48. Mapas de infestación para el primer semestre de 2017 en el municipio de Tenancingo.....	181

Figura 49. Mapas de infestación para el segundo semestre de 2017 en el
municipio de Tenancingo. 182

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros (Efecto Pepita, Meseta y Rango) de los modelos ajustados a los semivariogramas de trips en Donato Guerra 2016.	110
Tabla 2. Valores de los estadísticos de la validación cruzada de los semivariogramas obtenidos en los muestreos en el municipio de Donato Guerra 2016.	111
Tabla 3. Superficie infestada y no infestada (%) obtenida en el muestro de trips en Donato Guerra para el año 2016.	115
Tabla 4. Parámetros (Efecto Pepita, Meseta y Rango) de los modelos ajustados a los semivariogramas de trips en Coatepec Harinas 2016.	120
Tabla 5. Valores de los estadísticos de la validación cruzada de los semivariogramas obtenidos en los muestreos en el municipio de Coatepec Harinas 2016.	121
Tabla 6. Superficie infestada y no infestada (%) obtenida en el muestro de trips en Coatepec Harinas para el año 2016.	125
Tabla 7. Parámetros (Efecto Pepita, Meseta y Rango) de los modelos ajustados a los semivariogramas de trips en Temascaltepec 2016.	129
Tabla 8. Valores de los estadísticos de la validación cruzada de los semivariogramas obtenidos en los muestreos en el municipio de Temascaltepec 2016.	130
Tabla 9. Superficie infestada y no infestada (%) obtenida en el muestro de trips en Temascaltepec para el año 2016.	134
Tabla 10. Parámetros (Efecto Pepita, Meseta y Rango) de los modelos ajustados a los semivariogramas de trips en Tenancingo 2016.	138
Tabla 11. Valores de los estadísticos de la validación cruzada de los semivariogramas obtenidos en los muestreos en el municipio de Tenancingo 2016.	139
Tabla 12. Superficie infestada y no infestada (%) obtenida en el muestro de trips en Tenancingo para el año 2016.	143

Tabla 13. Parámetros (Efecto Pepita, Meseta y Rango) de los modelos ajustados a los semivariogramas de trips en Donato Guerra 2017.	147
Tabla 14. Valores de los estadísticos de la validación cruzada de los semivariogramas obtenidos en los muestreos en el municipio de Donato Guerra 2017.	148
Tabla 15. Superficie infestada y no infestada (%) obtenida en el muestro de trips en Donato Guerra para el año 2017.	152
Tabla 16. Parámetros (Efecto Pepita, Meseta y Rango) de los modelos ajustados a los semivariogramas de trips en Coatepec Harinas 2017.	156
Tabla 17. Valores de los estadísticos de la validación cruzada de los semivariogramas obtenidos en los muestreos en el municipio de Coatepec Harinas 2017.	157
Tabla 18. Superficie infestada y no infestada (%) obtenida en el muestro de trips en Coatepec Harinas para el año 2017.	161
Tabla 19. Parámetros (Efecto Pepita, Meseta y Rango) de los modelos ajustados a los semivariogramas de trips en Temascaltepec 2017.	165
Tabla 20. Valores de los estadísticos de la validación cruzada de los semivariogramas obtenidos en los muestreos en el municipio de Temascaltepec 2017.	166
Tabla 21. Superficie infestada y no infestada (%) obtenida en el muestro de trips en Temascaltepec para el año 2017.	170
Tabla 22. Parámetros (Efecto Pepita, Meseta y Rango) de los modelos ajustados a los semivariogramas de trips en Tenancingo 2017.	174
Tabla 23. Valores de los estadísticos de la validación cruzada de los semivariogramas obtenidos en los muestreos en el municipio de Tenancingo 2017.	175
Tabla 24. Superficie infestada y no infestada (%) obtenida en el muestro de trips en Tenancingo para el año 2017.	179

I. INTRODUCCIÓN

El aguacate (*Persea americana* Mill.) es una de las frutas más importantes del mundo por su valor económico y cultural. La producción mundial de aguacate se estima en 4.2 millones de toneladas. México es el principal productor de aguacate en el mundo, con una producción promedio anual de 2, 029,885.85 ton en 218,492 ha obteniendo un rendimiento de 10.76 ton/ha (SIAP, 2017). El Estado de México cuenta con 8,841 hectáreas plantadas las cuales representan el 4.04% del total nacional (SIAP, 2017).

La producción nacional de aguacate ha mostrado una tendencia creciente en cuanto a superficie cultivada y volumen de producción, teniendo un predominio de la variedad Hass, la cual destaca por su demanda a nivel mundial (Naamani, 2007). En México los principales estados productores son Michoacán, Jalisco, Nayarit, Morelos y el Estado de México (SIAP 2017).

El cultivo del aguacate presenta una gran diversidad de plagas entre las que se encuentran las siguientes: Trips (*Scirtothrips perseae*, *Frankliniella occidentalis*), Barrenador pequeño del hueso (*Conotrachelus perseae*, Barber), Barrenador grande del hueso (*Helipus lauri*, Boheman), Oruga barrenadora del hueso (*Stenomoma catenifer*, Walshingam), Barrenador del tronco y ramas (*Copturus aguacatae* Kissinger), araña roja (*Oligonychus punicae*, Hirst), entre otras más (Coria, 1993).

Los trips (Thysanoptera) han adquirido importancia para el aguacate, estos insectos plaga se alimentan del fruto pequeño (Salgado, 1993), y forman crestas o protuberancias sobre el pericarpio (González *et al.*, 2000). Las deformaciones son más visibles cuando el fruto madura (Fisher y Davenport, 1989; González *et al.*, 2000) lo que ocurre con *Frankliniella* y *Neohydatothrips*, muy probablemente por larvas y adultos. Sin embargo, en las especies de *Scirtothrips*, las larvas y adultos causan daños en follaje tierno, provocando distorsión y cicatrices castaño oscuro a lo largo de la nervadura central de la hoja, en el envés. Algo similar ocurre con el fruto joven, que puede quedar completamente cubierto por una cicatriz castaño oscura, aunque comúnmente se observan cicatrices pequeñas, a veces alargadas (Hoddle, 2002). Ascensión *et al.* (1999) y Johansen *et al.*

(1999) afirmaron que éste síntoma asociado a trips aparece en el fruto pequeño, aunque no se ha precisado las etapas fenológicas más afectadas.

Las densidades del insecto se han incrementado año con año y el control químico ha sido poco eficiente en el manejo de estas poblaciones por lo que es necesario buscar alternativas que garanticen una disminución de esta plaga

La infestación de este insecto-plaga, hace importante implementar actividades que permitan conocer el impacto real que esta plaga tiene sobre el cultivo de aguacate, y sobre esa información aplicar medidas de control biológico que sean eficaces en el tratamiento de este problema.

El monitoreo de las poblaciones de trips es un procedimiento muy importante en el manejo de este problema 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 se podrá visualizar el comportamiento espacial de dicha plaga.

El análisis geoestadístico nos ayuda a conocer de manera más exacta y en tiempo real el comportamiento espacial de las plagas dentro de un cultivo. La Geoestadística, además permite elaborar mapas de gran utilidad de la distribución espacial de un organismo (Isaaks y Srivastava, 1988; Rossi *et al.*, 1992; Sciarretta *et al.*, 2001; Blom y Fleischer, 2001 y 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 LITERATURA

2.1 ORIGEN DEL AGUACATE

El árbol se originó en México, Centro América hasta Colombia, Venezuela, Ecuador y Perú. La antigüedad registrada de restos fósiles de aguacate encontrados en el Valle de Tehuacán en el Estado de Puebla es de 8,000 años. Los primeros pobladores de América Central y del Sur y Centro de México probablemente domesticaron al aguacate al descubrir su exquisito sabor (Téliz y Marroquín 2007). México es el país con más amplia diversidad de tipos de aguacate con al menos 20 especies.

2.2 CLASIFICACIÓN BOTÁNICA

Reino: Plantae

Subreino: Tracheobionta

Superdivisión: Spermatophyta

División: Magnoliophyta

Clase: Magnolipsida

Subclase: Magnoliidae

Orden: Laurales

Familia: Lauraceae

Género: Persea Mill.

Consultado 2017: (<http://plants.usda.gov/core/profile?symbol=PEAM3>)

2.3 FASES FENOLÓGICAS DEL AGUACATE

2.3.1 Fase vegetativa

Los estados fenológicos de la fase vegetativa del aguacate se esquematizan en cinco estados, de acuerdo a 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
- Diferenciación de las hojas

2.3.2 Floración

La inflorescencia del aguacate ocurre en las ramas de un año de edad y en los brotes del mismo año. De aquí la importancia de una poda adecuada, para mantener o cuidar estas ramas secundarias y eliminar las posibles ramas “chuponas” (únicamente vegetativas).

El aguacate tiende a producir naturalmente la floración y por consiguiente la fructificación, en una forma alejada del eje, la floración 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).

2.3.3 Fructificación

Cuando culmina el proceso de la 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:

- A. La de multiplicación celular (duración de 10 a 15 días)
- B. El engrosamiento celular (duración variable)
- C. La maduración

2.3.4 Maduración del fruto

Una vez alcanzado 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).

2.4 AGUACATE HASS

La variedad Hass es la más conocida y comercializada en el mundo (Téliz, 2007), fue obtenida por una semilla de una planta guatemalteca en un huerto de Rudolph Gay Hass en la Habra, California en 1926 y patentado en 1935. 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.

2.5 SITUACIÓN DEL CULTIVO A NIVEL MUNDIAL

A nivel mundial los principales productores de aguacate produjeron más de 4 millones de toneladas. México es el principal productor ya que aporta alrededor del 50% 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, 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. En los últimos años, países industrializados como EE.UU. y Japón han consolidado su demanda por esta fruta, siendo los principales países importadores de aguacate. EE.UU. es el principal importador de aguacate con 314 mil toneladas. Francia es el segundo país importador de aguacate con 94 mil toneladas. 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, 2018).

2.6. PLAGAS DEL AGUACATE

Existen al menos 49 especies que se consideran como plaga para los árboles de aguacate pero solo 12 se consideran de mayor importancia, entre ellas tenemos las siguientes:

2.6.1 Barrenadores de hueso

Estos insectos depositan sus huevecillos en los frutos de unas perforaciones que hacen las hembras con su pico, de tal manera que quedan los huevecillos en contacto con la pulpa del fruto y aislados del exterior por un sello que deja la hembra, su ciclo biológico desde la ovoposición hasta la emergencia es aproximadamente de 77 días, la larva pasa por cinco estadios larvarios, con una duración promedio de 20 días, el estado de pupa dura aproximadamente unos 13 días (Llanderal y Ortega, 1990).

2.6.2 Daños del barrenador de hueso

Es considerada como de las plagas más importante del aguacate ya que pueden causar pérdidas del 40% al 85% del total de la producción, el fruto es atacado desde el cuajado

del fruto provocando perforaciones a causa de la ovoposición de los adultos, estas perforaciones se pueden observar desde el exterior del fruto en forma de media luna (Llanderal y Ortega, 1990).

2.6.3 Barrenadores de rama

Los adultos son de cuerpo robusto, de coloración que va del pardo-rojizo. Los machos tienen una longitud aproximada de 4 mm y las hembras de 5.2 mm, las hembras ovipositan en brotes tiernos del árbol, aunque también llegan a barrenar en infestaciones muy severas ramas gruesas, la incubación de los huevos dura de 10 a 12 días, las larvas pasan por cinco estadios con un periodo de 108 a 117 días, la pupación dura alrededor de 17 a 19 días y se lleva a cabo dentro de los túneles de las ramas de donde posteriormente emergen como adultos.

2.6.4 Daños de los barrenadores de ramas

El daño inicial consiste en lesiones producidas por su aparato bucal de los adultos en brotes tiernos, muchas de estas lesiones son utilizadas como sitio de oviposición de las hembras. Las larvas que eclosionan barrenan a través de la epidermis hasta llegar a la medula de la rama. En infestaciones severas pueden ocasionar caída de las ramas ayudado de factores como el clima y el peso de los frutos (García *et al.*, 1986).

2.6.5 Trips (Insecta: Thysanoptera)

Los trips son pequeños insectos que pueden medir de 0.3 a 14 mm de longitud, de color blanco, amarillo pálido a castaño oscuro (Lewis, 1973; Johansen *et al.*, 1997). Una de sus características principales son los dos pares de alas largas que pueden llegar a cubrir el abdomen; son muy estrechas y presentan en sus márgenes pelos muy finos que forman flecos. Poseen un aparato bucal picador-chupador. En general se les puede

encontrar en poaceas, hojarascas, musgos, hongos y líquenes. La mayoría son fitófagos, aunque también existen especies depredadoras y parasitoides (Johansen *et al.*, 1997).

Existen aproximadamente 5000 especies conocidas de trips, los cuales se ubican en dos subórdenes y ocho familias. Sin embargo son pocas las especies, especialmente de la familia Thripidae, que son plagas de diferentes cultivos (Lewis, 1973).

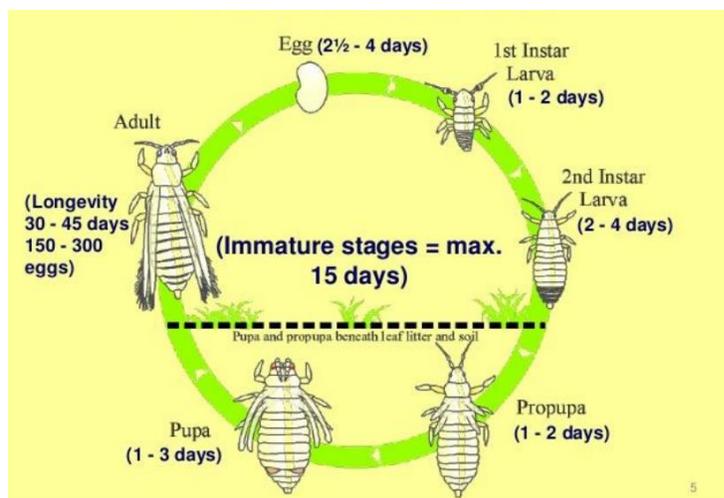


Figura 1. Ciclo biológico del trips.

2.6.5.1 Especies

De acuerdo con Johansen *et al.*, 1999 en el cultivo del aguacate se presentan de manera importante nueve especies de trips, de las cuales seis son fitófagas como *Frankliniella bruneri* Watson, *Scirtothrips aguacatae* Johansen y Mojica *S. perseae* Nakahara, *S. kupandae* Johansen y Mojica, *Heliothrips haemorrhoidalis* y *Pseudophilothrips perseae* (Watson) y tres depredadoras como *Aeolothrips mexicanus*, *Franklinothrips vespiformis* (D. L. Crawford) y *Leptothrips mcconelli* (D. L. Crawford).

2.6.5.2 Daños

El principal daño lo ocasionan por el rompimiento de las células epidérmicas de las plantas, por lo cual se origina el necrosamiento de estas áreas, que posteriormente son invadidas por bacterias y hongos (Johansen *et al.*, 1997).

Los trips son una de las plagas que actualmente ha adquirido mayor importancia en los huertos comerciales de aguacate. En este cultivo, los trips pueden provocar la malformación de los frutos, la caída prematura de éstos, así como también pueden provocar heridas en los tejidos vegetales al momento de alimentarse, por lo que estas lesiones pueden ser los puntos de entrada de otros microorganismos como el hongo causante de la roña del fruto del aguacate *Sphaceloma perseae*. Las malformaciones superficiales en los frutos se deben a que durante el desarrollo inicial de éstos (tamaño “cerillo” o “canica”) las heridas causadas por la alimentación de los trips provocan protuberancias superficiales en la cáscara de los frutos. Conforme estos frutos van madurando, estas deformaciones se hacen más evidentes, lo que resta valor comercial al fruto y por ende pérdidas económicas para los productores.

2.7 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS INSECTOS PLAGA

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). Si se quiere realizar un control adecuado de las plagas se tiene que tener el conocimiento de su distribución espacial dentro de las zonas productoras.

Las condiciones que determinan la distribución y abundancia de los insectos plaga en el campo son muy variadas y tienen directamente 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).

Algunos de los factores que pueden llegar a alterar la distribución y la presencia de insectos plaga en un cultivo son tales como 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).

Las relaciones espaciales de los insectos son a menudo manifestaciones de las características y necesidades biológicas inherentes de la especie, influidas por la planta hospedadora y el medio ambiente (Taylor, 1984). La densidad de los insectos también puede jugar un papel importante en la determinación del tipo de relación en una cierta distribución espacial. El conocimiento de la distribución espacial de las poblaciones de insectos plaga es de gran importancia para la elaboración de programas de manejo integrado. Tal conocimiento permite el desarrollo exacto y eficiente de métodos de muestreo, de tácticas de control y de valoraciones de riesgo (Taylor, 1961; Boiteau *et al.*, 1979; Ruesink, 1980 y Taylor, 1984). En algunos insectos un aumento de su densidad puede cambiar su distribución espacial (Taylor y Woiwod, 1980; Trumble *et al.*, 1983 y Nowierski y Gutierrez, 1986 y Faleiro *et al.*, 2002). El conocimiento de cómo las densidades de los insectos y sus distribuciones espaciales cambian en el tiempo, puede ser de gran importancia en el desarrollo de métodos precisos de muestreo en el campo y sus consiguientes beneficios (Kuno, 1991).

2.8 ESTADÍSTICA ESPACIAL

La estadística espacial abarca todo análisis estadístico con dimensión espacial, 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.

Los métodos comúnmente utilizados en la estadística “clásica” para el estudio de las distribuciones espaciales de los organismos se basan en el uso de las distribuciones estadísticas e índices de dispersión, y por consiguiente no tienen en cuenta la exacta localización espacial de la muestra. Ello produce ciertos efectos indeseables: 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) y no tienen en consideración toda la información espacial disponible. A causa de estos problemas y la disponibilidad de paquete 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.

Los métodos 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. La Geoestadística además, permite elaborar mapas de gran utilidad de la distribución espacial de un organismo (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).

Otra metodología espacial próxima a la Geoestadística que ha sido desarrollada recientemente es el llamado Análisis Espacial por Índices de Distancia (SADIE). Esta metodología también permite el desarrollo de mapas de distribución (Perry, 1995b).

2.8.1 Antecedentes de la Geoestadística

El nacimiento de la geoestadística como una herramienta para resolver problemas prácticos en ingeniería de minas está bien documentado (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 krigeado 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).

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.

Entendiendo como un modelo de la realidad física, el concepto de función aleatoria proporciona la herramienta más completa para el análisis de muchos fenómenos naturales distribuidos espacialmente. Lo característico de las funciones aleatorias es que cada realización se puede concebir como suma de una componente estructurada y otra aparentemente errática (Chica Olmo *et al.*, 1995., Ortiz y Emery, 2006). La componente estructurada es la que permite asegurar que, si nos encontramos en una zona en que se han realizado varias medidas por encima de lo normal, lo más probable es que las medidas adicionales también sean altas. La componente aleatoria es la que impide predecir con exactitud el valor de dichas hipótesis medidas (Chilés y Delfiner, 1999 y Emery, 2005). Es necesaria una formulación del problema que tenga en cuenta los dos componentes de las funciones aleatorias, de tal forma que sea posible una

representación simple de la variabilidad espacial, que sea consistente desde un punto de vista teórico y operativo desde un punto de vista práctico (Chica Olmo *et al.*, 1995). A este respecto, Matheron (1971) propone dos métodos: el método transitivo y el método basado en la teoría de las funciones aleatorias. El método transitivo es absolutamente general y se basa en consideraciones determinísticas. El método basado en la teoría de las funciones aleatorias introduce una interpretación probabilística de la variable regionalizada y requiere una serie de hipótesis acerca de la función aleatoria (estacionalidad, etc.). Desde un punto de vista teórico ambos métodos conducen a resultados equivalentes, lo cual es importante desde un punto de vista metodológico. Sin embargo, según Matheron el método de las funciones aleatorias es preferible por dos motivos:

a) El enfoque probabilístico permite tener en cuenta las fluctuaciones erráticas de la variable regionalizada.

b) Aunque el método transitivo es absolutamente general, requiere ciertas hipótesis a la hora de calcular las varianzas de estimación. El significado epistemológico de estas hipótesis resulta ser idéntico a la necesidad de considerar la esperanza matemática. Por tanto, dado que no es realmente posible evitar la interpretación probabilística parece más adecuado considerarla explícitamente.

El formalismo de las funciones aleatorias se aplica principalmente al estudio y caracterización de fenómenos naturales, lo que conduce a varios tipos de aplicaciones de las técnicas geoestadísticas (Goovaerts, 1997). El primero es la estimación a partir de un conjunto de medidas. La innovación de la Geoestadística es que permite obtener no sólo la estimación sino también una medida de incertidumbre. La estimación suele producir mapas que son más “suaves” que la realidad. Por ello, en los casos en que la variabilidad espacial sea de interés es necesario recurrir a técnicas de simulación (segundo grupo de aplicaciones de la Geoestadística), a fin de obtener realizaciones plausibles de la variable estudiada. Otro tipo de aplicaciones son las que resultan del hecho de que al proporcionar medidas sobre la incertidumbre de la estimación, la Geoestadística constituye un marco ideal para seleccionar la ubicación de puntos de

muestreo de forma que se minimice la incertidumbre de estimación. Sobre esta base, el número de aplicaciones a que da lugar en cada rama del conocimiento resulta innumerable (Rivoirard *et al.*, 2000, Webster y Oliver, 2001).

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 y 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).

2.8.2 Geoestadística aplicada a estudios entomológicos

A continuación se detallan algunos trabajos de investigación en los cuales se utilizaron las herramientas geoestadísticas con el fin de determinar la distribución espacial de los insectos plaga.

Ribes *et al.*, (1998) estudio la distribución espacial de *Cydia pomonella*, donde presentan mapas de infestación de la plaga en una región de España, Moral (2004) utilizó técnicas geoestadísticas aplicadas al análisis de la distribución de capturas de *Helicoverpa armígera* mediante trampas de feromonas sexuales en una plantación de tomate, a partir de 112 trampas con feromonas. Con el uso de estas técnicas (Krigado) se consiguió representar diariamente las distribuciones espaciales de las capturas, lo que permitió analizar su evolución temporal. La modelización mediante semivariogramas teóricos de tipo esférico o exponencial, con un importante efecto pepita, denotaron la notable

oscilación de las densidades de capturas de la parcela. Se realizaron estimaciones en una gran cantidad de puntos no muestrales, lo cual sirvió de base para la elaboración de mapas de distribución de las capturas, para los días considerados. Con esta información hicieron una propuesta de reparto de feromonas en la plantación ya sea con vistas al seguimiento de la plaga o a un posible desarrollo de métodos biotécnicos de control.

Solares *et al.*, (2011) realizaron un trabajo que tuvo por objetivo determinar la distribución espacial de las poblaciones de trips en aguacate mediante el uso de técnicas de geoestadísticas que condujeron a la generación de mapas por medio del krigado. Los resultados demostraron que las poblaciones de trips presentan una distribución de tipo agregada, que fue corroborada por los mapas de densidad. Las infestaciones no se distribuyeron en el 100% de la superficie de las dos parcelas experimentales, lo cual resulta interesante para dirigir las medidas de control sobre áreas específicas de infestación. Se logró determinar estabilidad espacial y temporal a corto plazo de las poblaciones de trips.

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 *B. 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.

La herramienta utilizada para este trabajo fue el navegador GPS el cual se describe a continuación:

- **Sistema de Posicionamiento Global (GPS)**

El Sistema de Posicionamiento Global (GPS), diseñado por el departamento de defensa de los EE.UU. 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) utiliza 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) (Figura 3) (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)

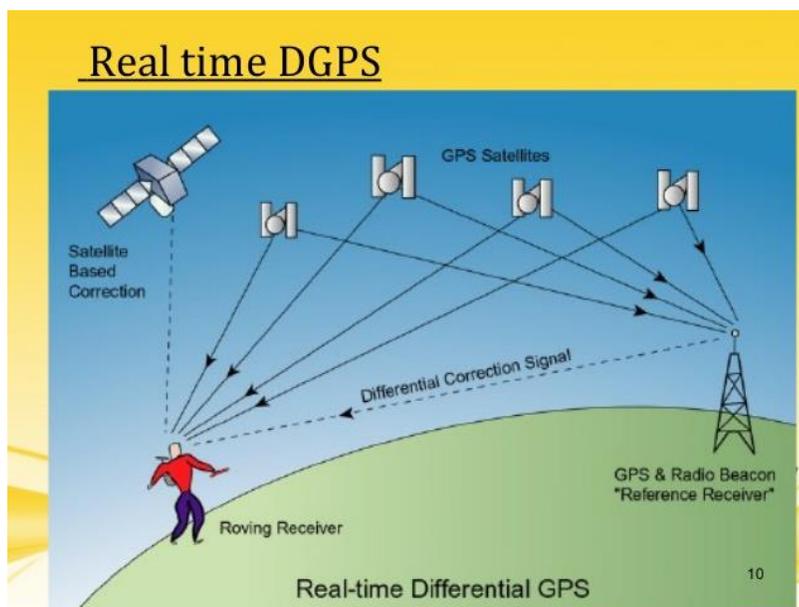


Figura 3. DGPS (GPS Diferencial)

2.9 ANÁLISIS GEOESTADÍSTICO

La Geoestadística describe la autocorrelación espacial entre datos muestreados y la usa en varios tipos de modelos espaciales. Los métodos Geoestadísticos se adoptaron recientemente en Entomología y parecen ser muy útiles en esta nueva área.

La autocorrelación espacial puede ser analizada usando variogramas (semivariogramas), correlogramas y funciones de covarianza. En el presente trabajo se utilizaron para este fin únicamente semivariogramas. En resumen, el análisis geoestadístico tiene generalmente los siguientes pasos:

1. Estimación del Semivariograma
2. Estimación de los parámetros del modelo de Semivariograma.
3. Estimación de la superficie (mapas) utilizando puntos (estimaciones) a partir del krigado.

2.9.1 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:

- a) 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 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 \mathbf{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 \mathbf{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 limitar 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:

a) $E[Z(x)]$ 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 \mathbf{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 $h = |\mathbf{h}|$ como de la orientación $u = \mathbf{h}/h$. Es decir, $\gamma(\mathbf{h})$ 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 \mathbf{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 dé (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 en base a los datos recolectados en los distintos muestreos de la población de huevos, larvas y ninfas del mosquito verde en cada parcela experimental, el valor experimental del semivariograma se calculó con la siguiente expresión (Journel y Huijbregts, 1978; Isaaks y Srivastava, 1989):

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

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 7).

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.).

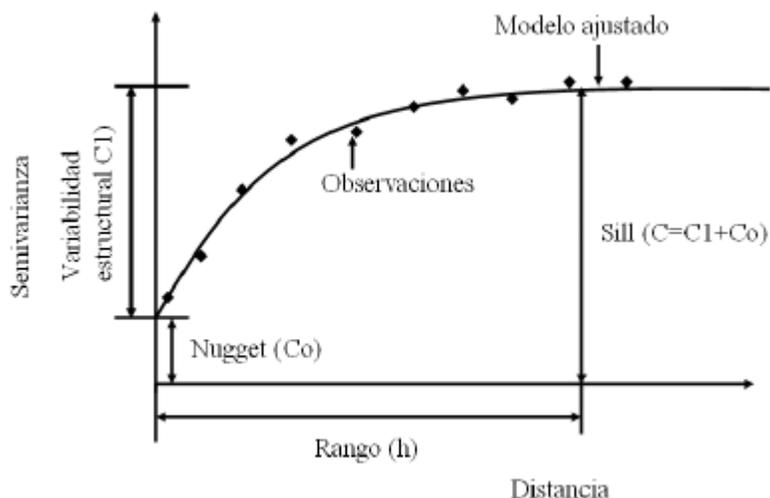


Figura 4. Parámetros del semivariograma. C_0 : Efecto pepita y $C_0 + C_1 =$ meseta

2.9.2 Estimación de los parámetros del modelo de Semivariograma

Una vez que se estimó el correspondiente semivariograma experimental para cada muestreo de la población de los estadíos del insecto plaga 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 (England 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 de

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

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 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 5.

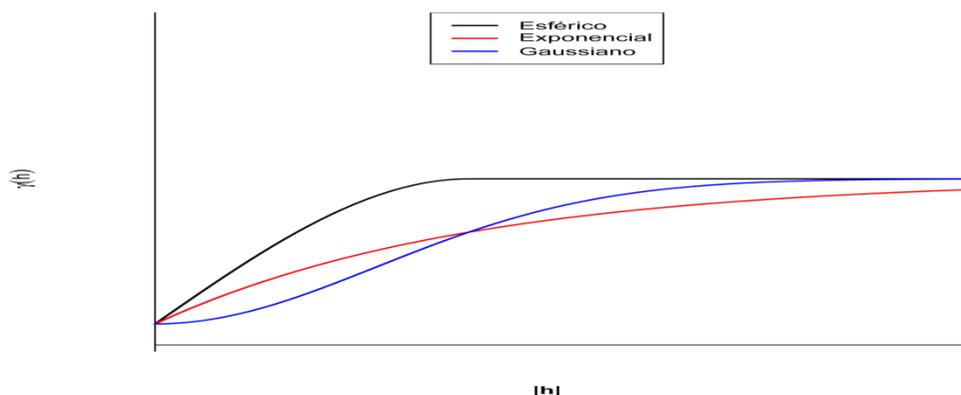


Figura 5. Semivariogramas teóricos más comunes

En el presente trabajo se ajustaron a los respectivos semivariogramas experimentales los modelos esférico, Gaussiano y Exponencial, los cuales a continuación se describen:

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

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

$$\gamma(h) = C_0 + C \quad \text{si } h > a$$

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.).

2.9.3 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 krigado 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:

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

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

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

b) Error cuadrático medio (ECM)

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

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).

c) Error cuadrático medio adimensional (ECMA)

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

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 $1+2(2/N)^{0.5}$.

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

2.9.4 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 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).

2.9.5 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 6 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:

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

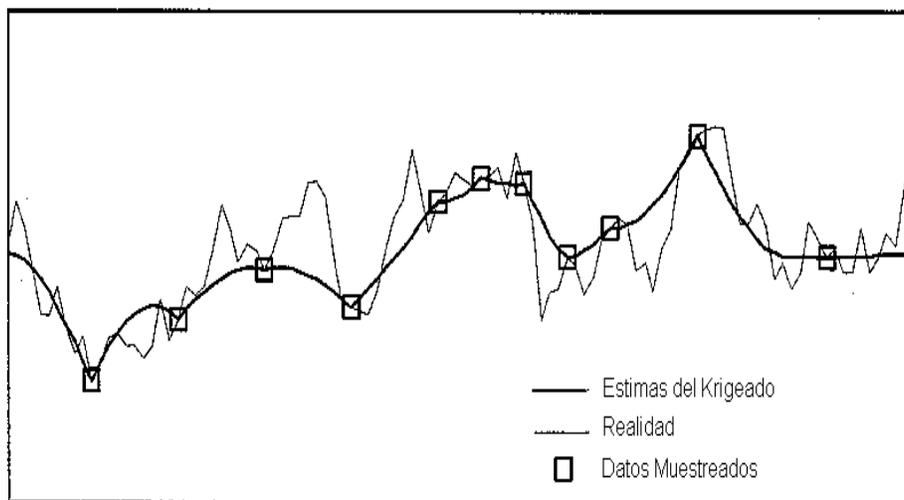
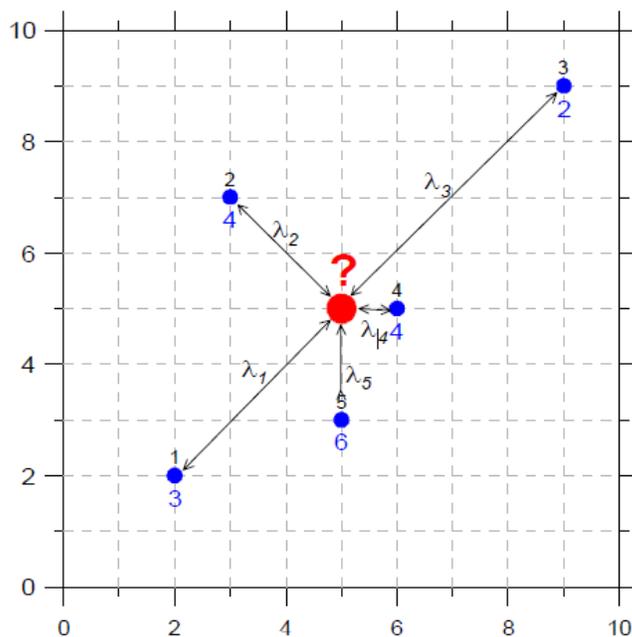


Figura 6. Ilustración del efecto suavizador del Krigado

Los parámetros λ_i se denominan coeficientes de ponderación o coeficientes de krigado. 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:

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



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

$\Rightarrow \lambda_i = ?$

Figura 7. 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 kriging. Bajo distintas hipótesis hay varios tipos de kriging a continuación se describen sus características distintivas.

1. Kriging Simple: Se utiliza cuando la variable es estacionaria con media y covarianza conocidas.

2. Kriging 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).

1. Linealidad

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

2. Sesgo nulo

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

3. Varianza mínima

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

Desarrollando esta última expresión se obtiene:

$$\begin{aligned} E[(Z^* - Z)^2] &= E[(\sum \lambda_i Z_i - Z)^2] = E[(\sum \lambda_i Z_i - \sum \lambda_i Z)^2] = \\ &= E[(\sum \lambda_i (Z_i - Z))^2] = \end{aligned}$$

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

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

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

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.*, 1999a).

2.10 ANALISIS ESPACIAL POR INDICES DE DISTANCIA

Dentro de los nuevos desarrollos de la estadística espacial ha aparecido recientemente una nueva metodología llamada SADIE (Análisis Espacial por Índices de Distancia) que 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; Perry y Dixon, 2002). Con este método se hace uso de los datos concernientes a cada muestreo y no hay restricción en la ubicación de las unidades muestrales. 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) y Perry *et al.*, (2002) 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 y Dungan *et al.*, 2002). Actualmente, la citada metodología se está utilizando con éxito en el análisis de la distribución espacial de insectos de importancia económica (Perry y Klukowski, 1997; Winder *et al.*, 2000; Holland *et al.*, 2001 y Nansen *et al.*, 2002).

III. JUSTIFICACIÓN

Este estudio pretende obtener datos que permitan conocer cuál es la distribución espacial de los trips en el cultivo del aguacate en la zona con mayor producción del Estado de México, los cuales serán de gran utilidad para poder establecer zonas de moderada y alta infestación que requieran un manejo inmediato de este problema. Establecer dicha distribución espacial que a su vez permitirá realizar un análisis se obtiene través de la Estadística Espacial (Geoestadística y SADIE) la cual permitirá representar gráficamente dicho comportamiento espacial en mapas para efectuar un análisis sobre la situación actual y de esta manera apoyar en la toma de decisiones de una manera oportuna, eficiente y pertinente. Se pretende determinar si existe o no estabilidad espacial y temporal por parte de estos insectos plaga, información que complementara el comportamiento espacial que requerimos conocer a detalle. Además, se realizará un estudio en el cual se evalúen algunos métodos de la Agricultura de Precisión, determinando si su utilización, puede permitir un ahorro económico y medioambiental para los productores, lo cual se reflejaría directamente en la disminución de los gastos de producción y en la contaminación del ambiente. Toda esta información permitirá realizar programas de manejo integrado de estos problemas, dirigiendo las medidas de control sobre zonas específicas de infestación, que no incluyan únicamente la aplicación de insecticidas, sino controles alternativos como el biológico o el cultural y que se sostengan sobre información fiable que permitan augurar en el futuro un control adecuado de los mismos, con lo anterior, se podría implementar un desarrollo sustentable del cultivo del aguacate en el Estado de México. Además, al dirigir las medidas de control únicamente sobre las zonas infestadas, existiría probablemente un ahorro económico y medioambiental para los productores, como ya se mencionó, y con ello comenzar a implementar los métodos de la Agricultura de Precisión en el cultivo de aguacate, lo cual sería muy importante debido a que introduciría nuevas tecnologías al campo agrícola nacional, y permitiría no quedar rezagados en este campo con respecto a otros países que ya utilizan la Agricultura de Precisión de manera cotidiana en sus campos de cultivo.

IV. HIPÓTESIS

Probablemente las poblaciones de trips (Insecta: Thysanoptera) se distribuyen de forma agregada en las huertas comerciales de aguacate del Estado de México, con porcentajes de infestación variables y con la presencia de una estabilidad espacio-temporal de sus poblaciones.

V. OBJETIVOS

5.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar el análisis espacial de las poblaciones de trips en la principal zona productora de aguacate en el Estado de México

5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Modelizar la distribución espacial de las poblaciones de trips huertos comerciales de aguacate en la principal zona productora del Estado de México mediante la utilización de técnicas geoestadísticas y Análisis Espacial por Índices de Distancia (SADIE), y realizar la respectiva comparación.
- Elaboración de mapas de la distribución espacial de las poblaciones de trips mediante la técnica del Krigeado.
- Comprobar la existencia de una estabilidad espacial y temporal a corto plazo de las poblaciones de trips.
- Con base a los mapas elaborados establecer el porcentaje de infestación de trips.

VI. METODOLOGIA

6.1 ZONA DE ESTUDIO

El estudio se llevó a cabo en la zona productora de aguacate del Estado de México la cual abarco cuatro municipios: Coatepec Harinas, Temascaltepec, Tenancingo y Donato Guerra.

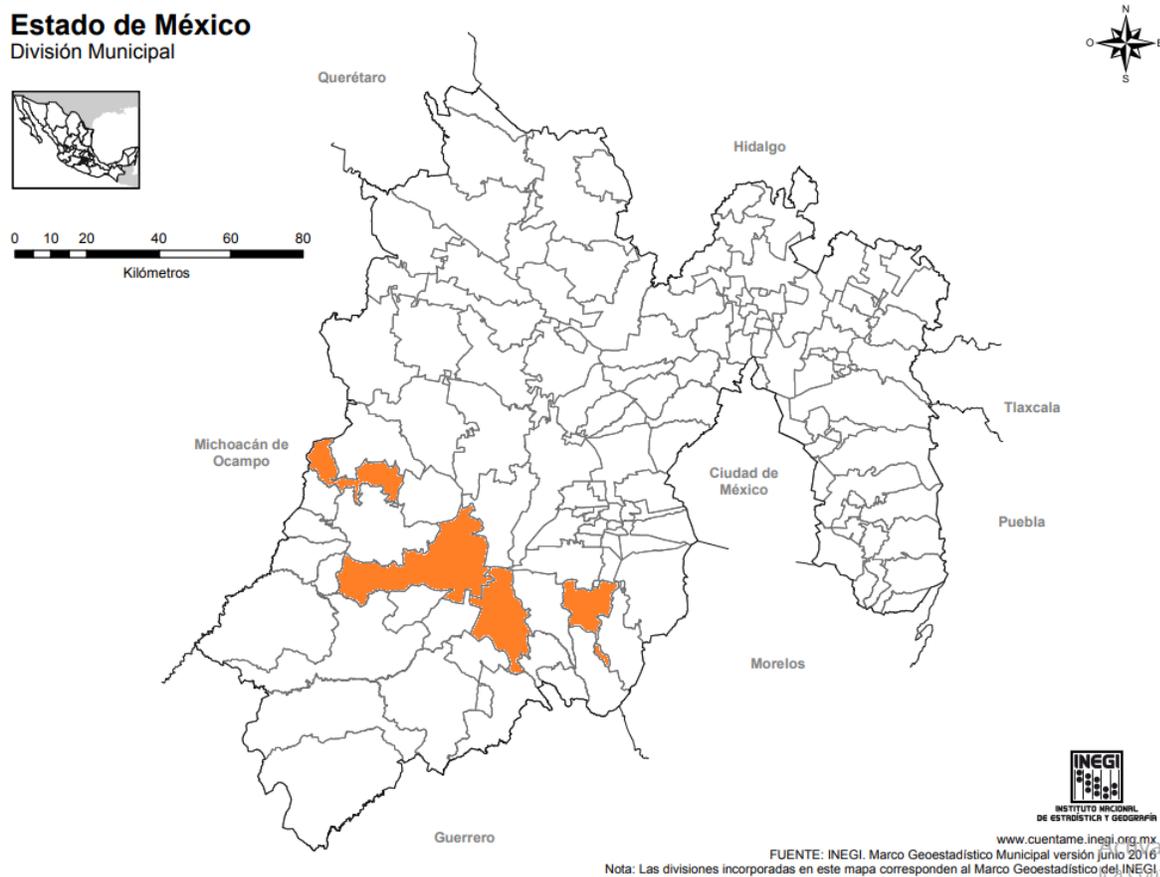


Figura 8. Municipios seleccionados para el proyecto

6.2 ESTABLECIMIENTO DE PARCELAS Y MUESTREOS

El muestreo se realizó en 200 árboles distribuidos aleatoriamente dentro de las zonas productoras de cada localidad, se seleccionaron solamente árboles de la variedad Hass

y el manejo agronómico de los árboles seleccionados se llevó a cabo de forma similar (sin aplicación de agroquímicos), cada árbol se georeferenció mediante un sistema de posicionamiento global diferencial (DGPS). Se realizaron muestreos cada quince días para obtener un total de 24 muestreos por localidad. Los árboles seleccionados se identificaron colocándoles una banda plástica de color verde en la base. Para contabilizar el número de trips se usaron trampas de color amarillo que se elaboraron con vasos plásticos del número 8 (Hernández *et al.*, 1999), se identificaron los trips con un lente 20x y posteriormente se identificaron en el Laboratorio de Entomología de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la UAEMex, donde se determinó específicamente el número total de trips por árbol muestreado.



Figura 9. Trampas amarillas para conteo de trips.

De los datos de cada muestreo, se realizó una exploración estadística de las poblaciones de adultos de trips para determinar su normalidad y proceder a su análisis estadístico con la finalidad de determinar su comportamiento espacial por medio de técnicas geoestadísticas. Se consideraron las variables climáticas (temperatura, humedad, velocidad del viento y precipitación) en cada una de las parcelas a estudiadas, consultando las estaciones climatológicas cercanas, para asociarlas con los resultados de distribución espacial de trips.

6.3 ANÁLISIS GEOESTADÍSTICO

El análisis geoestadístico comprende generalmente tres pasos:

1. Estimación del Semivariograma.
2. Estimación de los parámetros del modelo de Semivariograma.
3. Estimación de la superficie (mapas) utilizando el Krigeado.

Estimación del Semivariograma

El denominado semivariograma experimental se estimará con base a los datos recolectados en los distintos muestreos de la fluctuación poblacional de trips en cada municipio, el valor experimental del semivariograma se calculará con la siguiente expresión (Journel y Huijbregts, 1978; Isaaks y Srivastava, 1989):

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

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

Una vez que se estime el correspondiente semivariograma experimental en el muestreo de las poblaciones de trips en la zona correspondiente, este se ajustará 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 teóricos más comunes y a los cuales se deberán ajustar los semivariogramas experimentales realizados son: Modelo Esférico, Modelo Exponencial, Modelo Gaussiano, Modelo Logarítmico, Modelo Efecto Pepita Puro, Modelo Efecto Agujero, Modelo Monómico (Samper y Carrera, 1996 y Trematerra y Sciarretta, 2002).

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

Una vez que los semivariogramas experimentales sean ajustados a alguno de los modelos descritos es necesario validar estos modelos ajustados. La validación de los diferentes modelos ajustados a los semivariogramas experimentales se realizará 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. 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 , efecto pepita, C , meseta y a , rango ó alcance) se van modificando en un procedimiento de prueba y error hasta la obtención de estadísticos de validación cruzada adecuados. Estos estadísticos son los siguientes:

a) Media de los errores de estimación (MEE)

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

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).

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

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).

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

donde: σ_k es la desviación standar del error esperado en la estimación con el krigado.

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

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 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

Una vez que los modelos de los semivariogramas correspondientes sean validados se empleará el método geoestadístico denominado Krigado, para la elaboración de los

mapas de densidad de las poblaciones de trips. El Kriging es un método de interpolación que permite la estimación no sesgada de puntos no muestreados.

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:

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

Los parámetros λ_i se denominan coeficientes de ponderación o coeficientes de Kriging. 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:

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

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 Kriging. Bajo distintas hipótesis hay varios tipos de Kriging (Chilés y Delfiner, 1999 y Trematerra *et al.*, 2004).

En el presente trabajo se utilizará el Kriging Ordinario para obtener las estimaciones correspondientes.

Superficie infestada

Por cada muestreo en cada municipio se elaboró un mapa de infestación con la técnica del kriging y con un programa de interpolación llamado Surfer, con estos mapas se procedió a calcular la superficie infestada en cada muestreo, lo que ayuda a conocer si

toda el área de estudio se encuentra infestada o no y así realizar programas de manejo integrado.

Krigeado Ordinario

Para desarrollar las ecuaciones de este krigeado hay que imponer que la estimación sea lineal, insesgada y con varianza mínima. La ecuación general de este tipo de Krigeado 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 Krigeado (Chilés y Delfiner, 1999).

En el presente trabajo una vez obtenidas las estimaciones correspondientes para cada muestreo de las parcelas experimentales, se elaborarán los mapas que indicaran la distribución espacial en el campo de las poblaciones de trips las estimas obtenidas serán representadas en formar de mapa mediante el uso del programa Surfer 9.0.

6.4 ANALISIS ESPACIAL POR INDICES DE DISTANCIA (SADIE)

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.

En el presente trabajo se utilizarán el índice basado en la distancia para la regularidad I_a y el índice J_a , basado en la distancia del agrupamiento (Perry 1995a,y b y Dungan *et al.*, 2002)) para establecer el modelo de distribución de las poblaciones de los adultos de trips en cada una de las zonas de estudio.

Estimación de los índices I_a y J_a .

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. Si la distancia media aritmética para la regularidad de las muestras aleatorias se denota como E_a , entonces el índice de agregación, denominado I_a , está definido como $I_a = D/E_a$. 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.

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. 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 y Perry y Dixon 2002). 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.

Las estimaciones obtenidas mediante los índices del SADIE se representarán en forma de mapa, mediante el programa Surfer 9.0.

Se realizará una regresión simple entre el número de trips y los valores respectivos de I_a y J_a de los muestreos realizados en cada zona experimental, con el objeto de establecer si existe o no una relación significativa entre ellos. El programa a utilizar en este trabajo para determinar los valores y las probabilidades de ambos índices será el SADIE 1.22.

Estabilidad espacial y temporal

Uno de los objetivos de este trabajo es estudiar la existencia de una estabilidad espacio-temporal a corto (dentro de un año) de las poblaciones de trips. Para tal efecto se compararan los mapas obtenidos con los métodos del Krigeado y SADIE.

Las comparaciones se realizarán utilizando en el caso de los mapas realizados con el Krigeado, 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.

En el caso de los mapas elaborados mediante el método del SADIE, la comparación para establecer la estabilidad espacio-temporal de los mismos, se realizará mediante 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 realizarán 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 realizara con el programa SADIE 1.22.

VII. RESULTADOS

El presente trabajo de doctorado dio como resultado dos artículos científicos los cuales fueron enviados a revistas indizadas en JCR (Journal Citation Reports), el primer artículo el cual ya fue aceptado fue enviado a la revista *Southwestern Entomologist* y el cual esta pronto a publicarse, un segundo artículo se envió a la Revista de la Sociedad Entomológica Argentina y el cual fue enviado desde hace varios meses.

Se anexan las cartas de aceptación y de envío respectivamente de los artículos.

Nombre del artículo	ANÁLISIS ESPACIAL DE LAS POBLACIONES DE <i>Scirtothrips perseae</i> NAKAHARA EN EL CULTIVO DE AGUACATE (<i>Persea americana</i> MILL.) UTILIZANDO EL MÉTODO DE SADIE EN MÉXICO
Revista	<i>Southwestern Entomologist</i>
Indizacion	JCR



28Nov18

Estimado Dr. Ramírez: me es grato comunicarle que su manuscrito
“Análisis espacial de las poblaciones de *Scirtothrips perseae* Nakahara
en el cultivo de aguacate (*Persea americana* Mill.) utilizando el método
de SADIE en México” de los autores Agustín David Acosta-Guadarrama;
José Francisco Ramírez-Dávila; Martín Rubí-Arriaga y Antonio
Laguna-Cerda, ha sido aceptado para publicarse en la revista *Southwestern
Entomologist*.

Sin más por el momento reciba un afectuosos saludo y le agradecemos su interés de
publicar su interesante trabajo en *nuestra* revista.

Atentamente,

Carlos A. Blanco, Editor asociado

Carlos.a.blanco@aphis.usda.gov / carlos.blanco1206@gmail.com

Cc. Bonnie Pendleton, Editor-in-Chief

**ANÁLISIS ESPACIAL DE LAS POBLACIONES DE *Scirtothrips perseae* NAKAHARA
EN EL CULTIVO DE AGUACATE (*Persea americana* MILL.) UTILIZANDO EL
MÉTODO DE SADIE EN MÉXICO**

Acosta-Guadarrama, A. D.¹; Ramírez-Dávila, J. F.^{2*}; Rivera-Martínez, R.¹; Laguna-Cerda, A.²;
Lara-Vázquez, F.¹; González-Andújar, J. L.³

RESUMEN

La mayor producción de aguacate del mundo se encuentra en México, la cual genera altos ingresos económicos a los productores, en los últimos años la creciente demanda de aguacate mexicano ha orillado a los productores a que se realicen plantaciones nuevas de aguacate, aunque genera importantes ingresos también ha generado la explosión de plagas y enfermedades sobre este cultivo, como se tiene reportado el monocultivo desarrolla mayor presencia de ciertas plagas y enfermedades en los cultivos, el presente trabajo se realizó en huertos comerciales de aguacate de la variedad Hass en la zona central de México que es una de las principales productoras del país. Se realizaron 24 muestreos en dos localidades diferentes productoras de aguacate y se realizaron mapas de infestación mediante la técnica del krigado para conocer la agregación de *Scirtothrips perseae*, se utilizó el método del SADIE (Análisis espacial por índices de distancia) se calcularon los índices I_a y J_a así como sus respectivas probabilidades, también se calculó la estabilidad espacial

1 y temporal a corto plazo con el índice I_m , los mapas arrojaron que existe estabilidad espacial
2 y temporal en el año de muestreos y los índices I_a y J_a indicaron que si existe agregación
3 dentro del cultivo.

4 Palabras clave: *Scirtothrips perseae*, Aguacate, SADIE, krigado.

5 **INTRODUCCIÓN**

6 El aguacate producido en México es el más consumido en el mundo, los ingresos que
7 genera la producción de este producto representa el cuarto lugar del PIB agrícola nacional
8 (SE, 2017). La principal plaga que afecta el cultivo y que merma la producción y su calidad
9 son los trips, estos insectos se alimentan del fruto pequeño a los cuales le hacen heridas al
10 momento de alimentarse formando crestas en el fruto que baja su calidad y valor económico
11 (González *et al.* 2000), *S. perseae* reduce los ingresos de los productores hasta un 12% a
12 causa de los daños que ocasiona e incrementa los costos de producción hasta un 4.5%
13 (Hoddle, 2002). El Estado de México es una de los estados que mayor crecimiento ha tenido
14 en la producción de aguacate pasando de 29 mil toneladas en 2012 a más de 110 mil para
15 2017, generando ingresos por alrededor de 3 mil millones de pesos anuales (SIAP, 2017). La
16 creciente demanda de productos libres de sustancias químicas dañinas para el ser humano ha
17 motivado el uso de nuevas tecnologías que reduzcan el uso de dichos productos, una técnica
18 de uso reciente es el análisis espacial por índices de distancia (SADIE) que mide la distancia
19 a la cual pueden desplazarse los individuos de una muestra observada (Perry, 1999), además
20 en el presente trabajo se utilizó la técnica del krigado que considera tanto la distancia como
21 la geometría de la localización de las muestras mediante esta técnica se minimiza la varianza
22 del error esperado (diferencia entre el valor real y el estimado), como el valor real en un

23 punto no muestreado es desconocido, el krigado emplea un modelo conceptual con una
24 función aleatoria asociada a los valores reales (García, 2004).

25 **MATERIALES Y MÉTODOS**

26 El estudio se llevó a cabo en dos localidades importantes en la producción de aguacate
27 del Estado de México (Tenancingo y Temascaltepec). El muestreo se realizó en 200 árboles
28 distribuidos aleatoriamente dentro de las zonas productores de cada localidad, se
29 seleccionaron solamente árboles de la variedad Hass y el manejo agronómico de los arboles
30 seleccionados se llevó a cabo de forma similar (sin aplicación de agroquímicos), cada árbol
31 se georeferenció mediante un sistema de posicionamiento global diferencial (DGPS). Se
32 realizaron muestreos cada quince días para obtener un total de 24 muestreos por localidad.
33 Los árboles seleccionados se identificaron colocándoles una banda plástica de color verde en
34 la base. Para contabilizar el número de trips se usaron trampas de color amarillo que se
35 elaboraron con vasos plásticos del número 8 (Hernández et al., 1999), se identificaron los
36 trips con un lente 20x y posteriormente se identificaron en el Laboratorio de Entomología de
37 la Facultad de Ciencias Agrícolas de la UAEMex, donde se determinó específicamente el
38 número total de *Scirtothrips perseae* por árbol muestreado.

39 **Análisis Espacial por Índices de Distancia (SADIE)**

40 El objetivo de SADIE es establecer el modelo espacial de una población muestreada
41 midiendo la distancia a la cual pueden desplazarse los individuos de la muestra observada.
42 En el presente trabajo se utilizarán el índice basado en la distancia para la regularidad I_a y el
43 índice J_a , basado en la distancia del agrupamiento (Perry 1995a, b; Dungan *et al.* 2002) para
44 establecer el modelo de distribución de las poblaciones en cada una de las localidades de
45 estudio.

46 **Estimación de los índices I_a y J_a**

47 Los datos recolectados en una cuadrícula prediseñada (conformada por unidades de
 48 muestreo), se asumen como un sistema de conteo de individuos, donde $i = 1, \dots, n$ unidades de
 49 muestreo. Se asume además por ser conocidas la posición bidimensional (x_i, y_i) de cada
 50 unidad de muestreo y su conteo asociado, N_i . La distancia para la regularidad, D , es el valor
 51 mínimo de la distancia total que los individuos en la muestra pueden haberse movido, de una
 52 unidad de muestreo a otra, de modo que todas las unidades de muestreo contuvieran un
 53 número idéntico de individuos. Si la distancia media aritmética para la regularidad de las
 54 muestras aleatorias se denota como E_a , entonces el índice de agregación, denominado I_a , está
 55 definido como $I_a = D/E_a$. Usualmente, se dice que una muestra es agregada si $I_a > 1$, la
 56 muestra es espacialmente aleatoria si $I_a = 1$, y la muestra es regular si $I_a < 1$. Un número total
 57 de 2000 aleatorizaciones son suficientes para derivar los valores de los índices
 58 correspondientes.

59 El término C denota la distancia para el agrupamiento, que es el valor mínimo de la
 60 distancia total que los individuos de la muestra deben moverse para congregarse en una
 61 unidad. Si la distancia media para el agrupamiento para muestras aleatorias se denota como
 62 F_a , entonces el índice de agregación J_a , se define como $J_a = F_a/C$. Como en el caso del índice
 63 I_a , valores de $J_a > 1$ usualmente indican una muestra agregada, $J_a = 1$ representan datos
 64 espacialmente aleatorios y $J_a < 1$ muestras regulares. De esta manera, los valores del índice
 65 J_a sirven para corroborar los resultados obtenidos con el índice I_a . Además, este índice se
 66 utiliza para discriminar entre patrones espaciales donde hay un único agrupamiento
 67 importante para el cual sus valores son significativamente mayores que la unidad, y en donde
 68 hay dos o más agrupamientos para los cuales su valor no es significativamente diferente de

69 la unidad o incluso menor que ella. Para determinar la significación con respecto a la unidad
70 se utiliza su probabilidad respectiva (Q_a) (Perry, 1997 y Perry y Dixon, 2002). Los valores
71 de I_a y J_a para conteos aleatorios no están correlacionados, por lo que se pueden utilizar
72 también 2000 aleatorizaciones en el software empleado para obtener sus respectivos valores.

73 Las estimaciones obtenidas mediante los índices del SADIE se representarán en
74 forma de mapa, mediante el programa Surfer 9.0.

75 Se realizará una regresión simple y los valores respectivos de I_a y J_a de los muestreos
76 realizados en cada localidad experimental, con el objeto de establecer si existe o no una
77 relación significativa entre ellos. El programa a utilizar en este trabajo para determinar los
78 valores y las probabilidades de ambos índices será el SADIE 1.22.

79 **Estabilidad espacial y temporal**

80 Uno de los objetivos de este trabajo fue estudiar la existencia de una estabilidad
81 espacio-temporal a corto plazo (un año). Para tal efecto se compararan los mapas obtenidos
82 con los métodos del Krigeado y SADIE.

83 En el caso de los mapas elaborados mediante el método del SADIE, la comparación
84 para establecer la estabilidad espacio-temporal de los mismos, se realizará mediante el índice
85 de asociación del SADIE llamado I_m (Perry 1997; Korie *et al.* 2000 y Perry y Dixon, 2002).
86 Con este índice se puede realizar una comparación entre muestras tomadas al azar y con una
87 precisa localización espacial. Las comparaciones se realizarán dentro del mismo año y entre
88 los muestreos. Si $I_m > 0$, indica que existe una asociación o una estabilidad espacio-temporal
89 entre los mapas, si existe un nivel de significación de $P_m < 0.025$. La determinación de esta
90 estabilidad se realizará con el programa SADIE 1.22.

91

92

93 **Superficie infestada**

94 Una de las metas de la Agricultura de Precisión es dirigir las medidas de control sobre
95 las zonas específicas de infestación de enfermedades e insectos plaga. Lo cual determinaría
96 un posible ahorro económico y una reducción de la cantidad del volumen de plaguicidas
97 aplicados, para su control. Para lograr este objetivo se establecerá la superficie infestada de
98 los mapas elaborados, utilizando para ello el programa Surfer 9.0.

99 Una vez obtenido el porcentaje de superficie infestada de las plagas y enfermedades
100 en cada uno de los mapas, se procederá a calcular el costo de una aplicación normal, tal como
101 la realizan los agricultores en las zonas de estudio, y el costo de una aplicación dirigida (sólo
102 áreas infestadas). Obviamente, la diferencia entre ambos valores nos indicará el ahorro
103 económico obtenido con la metodología de precisión. Igualmente, se procederá a realizar el
104 cálculo correspondiente al ahorro en la cantidad de producto utilizado bajo ambas estrategias
105 de control. De esta manera, se tendrá una idea de la disminución del impacto nocivo hacia el
106 medioambiente, ya que al reducir la cantidad de plaguicidas, se reduce asimismo, el impacto
107 medioambiental.

108 **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

109 Se registró presencia de *S. perseae* durante los 24 muestreos para las dos localidades,
110 en Tenancingo el mes donde se presentó mayor número de *S. perseae* por árbol fue marzo
111 con una media de 30.92 para el primer muestreo y 18.39 para el segundo muestreo (cuadro
112 1), por el contrario el muestreo con menor densidad de trips por árbol fue el segundo muestreo

113 de noviembre con 3.31 trips por árbol (cuadro 1), las densidades mayores coinciden con la
 114 época de floración del cultivo que se inicia en los meses de febrero-marzo, Urias *et al.* (2007)
 115 reportaron en plantaciones de aguacate densidades fuertes para meses de febrero. Ascensión
 116 *et al.* (1999) reportan las menores poblaciones de trips en el mes de octubre y noviembre, en
 117 el presente trabajo se encontraron en el mes de noviembre. Las densidades mayores en el
 118 caso de Temascaltepec se encontraron en el segundo muestreo de marzo con 32.22 trips por
 119 árbol mientras que las densidades más bajas se observaron en el mes de diciembre con menos
 120 de 3 trips por árbol para los dos muestreos del mes (cuadro 2).

121 En lo que se refiere al índice I_a todos los valores para el municipio de Tenancingo
 122 fueron superiores a 1 lo que indica una distribución espacial agregada (cuadro 1), en todos
 123 los muestreos las probabilidades para el índice fueron significativas (P_a), en el caso del índice
 124 J_a el cual indica que existen más de un centro de agregación de la plaga los valores fueron
 125 también mayores a 1 corroborando lo antes mencionado, su probabilidad fue no significativa
 126 en todos los casos (Q_a) (cuadro 1). Trabajos como Karimzadeh *et al.* (2011) reportan una
 127 estructura espacial agregada de *Eurygaster integriceps* en trigo, contrario a esto Hunsung *et*
 128 *al.* (2007) reportan que la estructura espacial de *Scotinophara lurida* en el cultivo de arroz fue
 129 aleatoria ya que el índice I_m fue muy cercano a 1.

130 **Cuadro 1. Media muestral, índice I_a y J_a con sus respectivas probabilidades para el**
 131 **municipio de Tenancingo.**

Muestreo	X	I_a	P_a	J_a	Q_a
Enero 1	6.37	1.30	0.014s	1.08	0.171ns
Enero 2	7.6	1.63	0.010s	1.23	0.195ns

Febrero 1	9.91	1.40	0.018s	1.26	1.161ns
Febrero 2	13.97	1.28	0.010s	1.21	0.227ns
Marzo 1	30.92	1.52	0.016s	1.11	0.189ns
Marzo 2	18.39	1.69	0.011s	1.14	0.210ns
Abril 1	7.87	1.31	0.010s	1.07	0.257ns
Abril 2	6.37	1.29	0.013s	1.17	0.249ns
Mayo 1	4.32	1.58	0.010s	1.14	0.268ns
Mayo 2	5.91	1.38	0.013s	1.12	0.294ns
Junio 1	7.12	1.47	0.011s	1.15	0.280ns
Junio 2	7.05	1.41	0.008s	1.11	0.215ns
Julio 1	10.31	1.33	0.011s	1.10	1.163ns
Julio 2	12.72	1.43	0.008s	1.12	0.233ns
Agosto 1	8.92	1.66	0.013s	1.13	0.199ns
Agosto 2	11.35	1.64	0.015s	1.24	0.273ns
Septiembre 1	13.93	1.54	0.014s	1.18	0.260ns
Septiembre 2	8.72	1.32	0.014s	1.12	0.159ns
Octubre 1	6.87	1.39	0.011s	1.09	0.201ns
Octubre 2	4.97	1.55	0.009s	1.20	0.177ns

Noviembre 1	5.88	1.70	0.017s	1.06	0.166ns
Noviembre 2	3.31	1.55	0.012s	1.22	0.219ns
Diciembre 1	5.29	1.45	0.009s	1.09	0.244ns
Diciembre 2	4.48	1.34	0.012s	1.16	0.183ns

132

133 **Cuadro 2. Media muestral, índice Ia y Ja con sus respectivas probabilidades para el**
 134 **municipio de Temascaltepec.**

Muestreo	Media	I_a	P_a	J_a	Q_a
muestral					
Enero 1	5.68	1.33	0.009s	1.11	0.191ns
Enero 2	6.79	1.70	0.007s	1.21	0.245ns
Febrero 1	8	1.43	0.015s	1.10	0.153ns
Febrero 2	18.55	1.48	0.008s	1.19	0.257ns
Marzo 1	24.65	1.57	0.008s	1.13	0.207ns
Marzo 2	32.22	1.28	0.011s	1.20	0.184ns
Abril 1	7.28	1.52	0.016s	1.14	0.281ns
Abril 2	6.96	1.63	0.013s	1.25	0.135ns
Mayo 1	6.2	1.44	0.010s	1.12	0.235ns

Mayo 2	7.2	1.70	0.013s	1.17	0.206ns
Junio 1	9.9	1.36	0.007s	1.23	0.238ns
Junio 2	4.99	1.66	0.009s	1.21	0.293ns
Julio 1	9.95	1.74	0.007s	1.12	0.199ns
Julio 2	6.74	1.55	0.011s	1.20	0.261ns
Agosto 1	9.62	1.72	0.014s	1.09	0.266ns
Agosto 2	6.91	1.77	0.010s	1.15	0.171ns
Septiembre 1	9.7	1.64	0.010s	1.20	0.139ns
Septiembre 2	7.08	1.68	0.012s	1.10	0.270ns
Octubre 1	4.94	1.38	0.014s	1.19	0.170ns
Octubre 2	6.07	1.46	0.015s	1.14	0.286ns
Noviembre 1	2.37	1.30	0.010s	1.22	0.240ns
Noviembre 2	4.8	1.50	0.017s	1.16	0.159ns
Diciembre 1	2.41	1.41	0.011s	1.09	0.229ns
Diciembre 2	2.77	1.61	0.012s	1.11	0.148ns

135

136 Se calculó el índice I_m (cuadro 3 y 4) el cual arroja datos sobre la estabilidad espacial
137 y temporal a corto plazo, en el municipio de Tenancingo (cuadro 3) se encontró asociación
138 espacial a partir del mes de febrero hasta el segundo muestreo del mes de marzo lo que indica

139 que la plaga se mantuvo estable espacialmente estos dos meses, posteriormente se volvió a
140 encontrar asociación espacial a partir del mes de mayo hasta el segundo muestreo del mes de
141 septiembre, esta segunda etapa de estabilidad comprende cinco meses, y en las dos épocas
142 del año donde se encontró la asociación coinciden con las épocas donde hay mayor
143 fluctuación poblacional además que son épocas que los arboles de aguacate se encuentran en
144 una mayor floración, se encontró la estabilidad ya que *Scirtothrips perseae* ataca
145 principalmente a flores que a follaje, es por eso que pudo haber encontrado un nicho donde
146 se pudo encontrar estabilidad espacial y temporal dentro de la parcela, Maldonado *et al.*
147 (2017) reporta estabilidad espacial y temporal para trips en el cultivo de aguacate pero para
148 todas las especies, trabajos como el de Rivera *et al.* (2017) reporta estabilidad espacial y
149 temporal a corto plazo en *Bactericera cockerelli* en tomate de cascara.

150 Para el municipio de Temascaltepec (cuadro 4) el índice nos indica que en la mayoría
151 de las comparaciones no existe estabilidad espacial y temporal, del segundo muestreo de
152 febrero hasta el primer muestreo de mayo existió estabilidad, en el mes de julio y octubre
153 también existió dicha estabilidad mientras que en las demás comparaciones reportan valores
154 menores a 0 lo cual nos indica que no existe la estabilidad espacial y temporal. Estos datos
155 son de gran ayuda para el productor ya que conoce cómo se comporta dicha plaga
156 espacialmente y si esta tiene cierta estabilidad en tiempo y espacio, se pueden manejar los
157 datos a favor del productor ya que puede tomar acciones para prevenir o regular las plagas
158 dentro de su cultivo, programas de manejo integrado pueden surgir a partir de datos que arroje
159 el presente trabajo, control cultural como no eliminar las malezas las cuales pueden plantas
160 que funcionen como trampa, control mecánico, podas en principio de año lo cual promueva

161 los brotes y elimina trips, control biológico como la aplicación de *Amblyseius swirskii* como
 162 lo menciona Acosta *et al.* (2017).

163

164 **Cuadro 3. Índice Im para el municipio de Tenancingo.**

Muestras comparados	I_m	Muestras comparados	I_m
Enero 1 vs Enero 2	-0.57	Julio 1 vs Julio 2	2.75
Enero 2 vs Febrero 1	-1.22	Julio 2 vs Agosto 1	0.62
Febrero 1 vs Febrero 2	2.14	Agosto 1 vs Agosto 2	0.98
Febrero 2 vs Marzo 1	1.39	Agosto 2 vs Septiembre 1	1.26
Marzo 1 vs Marzo 2	0.83	Septiembre 1 vs Septiembre 2	1.05
Marzo 2 vs Abril 1	-0.92	Septiembre 2 vs Octubre 1	-0.81
Abril 1 vs Abril 2	-0.46	Octubre 1 vs Octubre 2	-0.25
Abril 2 vs Mayo 1	-1.70	Octubre 2 vs Noviembre 1	-1.39
Mayo 1 vs Mayo 2	0.82	Noviembre 1 vs Noviembre 2	-0.54
Mayo 2 vs Junio 1	1.46	Noviembre 2 vs Diciembre 1	-1.79
Junio 1 vs Junio 2	0.93	Diciembre 1 vs Diciembre 2	-2.36
Junio 2 vs Julio 1	2.06		

Valores de $I_m > 0$ indican asociación espacial

165

166 **Cuadro 4. Índice I_m para el municipio de Temascaltepec.**

Muestras comparados	I_m	Muestras comparados	I_m
Enero 1 vs Enero 2	-0.06	Julio 1 vs Julio 2	-2.84
Enero 2 vs Febrero 1	-0.34	Julio 2 vs Agosto 1	-0.50
Febrero 1 vs Febrero 2	-1.66	Agosto 1 vs Agosto 2	-0.09
Febrero 2 vs Marzo 1	0.71	Agosto 2 vs Septiembre 1	-2.06
Marzo 1 vs Marzo 2	0.52	Septiembre 1 vs Septiembre 2	-1.71
Marzo 2 vs Abril 1	1.03	Septiembre 2 vs Octubre 1	-1.24
Abril 1 vs Abril 2	0.95	Octubre 1 vs Octubre 2	2.33
Abril 2 vs Mayo 1	1.27	Octubre 2 vs Noviembre 1	-1.91
Mayo 1 vs Mayo 2	-0.69	Noviembre 1 vs Noviembre 2	-0.63
Mayo 2 vs Junio 1	-2.81	Noviembre 2 vs Diciembre 1	-0.28
Junio 1 vs Junio 2	0.47	Diciembre 1 vs Diciembre 2	-1.37
Junio 2 vs Julio 1	-0.82		

Valores de $I_m > 0$ indican asociación espacial

167

168 La superficie infestada en las parcelas también se calculó con la ayuda de los mapas
169 de infestación (cuadros 5 y 6), esta técnica nos ayuda a conocer en términos de porcentaje en
170 nivel de infestación de la plaga dentro de la parcela, para el municipio de Tenancingo (cuadro
171 5) solo se encontraron infestaciones del 100% para los dos muestreos del mes de enero y para
172 el primer muestreo del mes de diciembre, el nivel más bajo de superficie infestada se encontró
173 en el segundo muestreo del mes de agosto con solo el 50% de superficie infestada, para el
174 resto de muestreos los niveles fluctúan entre el 60 y 97% de la superficie infestada. No se
175 debe confundir el porcentaje de infestación con el número de insectos por parcela ya que
176 podemos encontrar niveles de infestación grandes pero con una fluctuación poblacional baja,
177 el nivel de infestación solo se refiere a la presencia del insecto dentro de la parcela no a su
178 nivel poblacional.

179 Para el municipio de Temascaltepec (cuadro 6) solo se obtuvieron en siete muestreos
180 el 100% de infestación esto en el segundo muestreo del mes de febrero y en los meses de
181 marzo y abril en sus dos muestreos, los otros dos muestreos donde se obtuvo la mayor
182 superficie infestada fue en el primer muestreo del mes de agosto y en el segundo del mes de
183 diciembre, contrario a esto el primer muestreo de mayo solo presento el 58% de superficie
184 infestada, para el resto de los muestreos la infestación vario entre el 60 y 99% de la superficie
185 infestada.

186 **Cuadro 5. Superficie infestada y no infestada (%) obtenida en el muestro de *S. perseae***
 187 **en Tenancingo para el año 2016.**

Mes	Muestreo	%	%No	Mes	Muestreo	%	%No
		Infestado	Infestado			Infestado	Infestado
Enero	1	100	0	Julio	1	80	20
Enero	2	100	0	Julio	2	78	22
Febrero	1	88	12	Agosto	1	85	15
Febrero	2	97	3	Agosto	2	50	50
Marzo	1	94	6	Septiembre	1	61	39
Marzo	2	89	11	Septiembre	2	58	42
Abril	1	87	13	Octubre	1	95	5
Abril	2	64	36	Octubre	2	88	12
Mayo	1	80	20	Noviembre	1	87	13
Mayo	2	86	14	Noviembre	2	90	10
Junio	1	70	30	Diciembre	1	100	0
Junio	2	83	17	Diciembre	2	89	11

188

189 **Cuadro 6. Superficie infestada y no infestada (%) obtenida en el muestro de *trips* en**
 190 **Temascaltepec para el año 2016.**

Mes	Muestreo	%	%No	Mes	Muestreo	%	%No
		Infestado	Infestado			Infestado	Infestado

Enero	1	84	16	Julio	1	90	10
Enero	2	75	25	Julio	2	76	24
Febrero	1	79	21	Agosto	1	100	0
Febrero	2	100	0	Agosto	2	89	11
Marzo	1	100	0	Septiembre	1	95	5
Marzo	2	100	0	Septiembre	2	61	39
Abril	1	100	0	Octubre	1	91	9
Abril	2	100	0	Octubre	2	83	17
Mayo	1	58	42	Noviembre	1	88	12
Mayo	2	86	14	Noviembre	2	77	23
Junio	1	76	24	Diciembre	1	99	1
Junio	2	87	13	Diciembre	2	100	0

191

192 En los mapas de infestación podemos observar cómo se localiza la infestación dentro
193 de la zona de estudio, en lo que se refiere a los primeros seis meses de muestreo del municipio
194 de Tenancingo (Figura 1) se puede notar que existen centros de agregación de la plaga, se
195 localizan en la parte izquierda del mapa mostrando así donde se pueden hacer aplicaciones
196 de control de *Scirtothrips perseae*, estos mapas nos sirven para identificar de manera visual
197 donde se localizan los centros de agregación y así realizar medidas de control específicas
198 para poder obtener ahorros económicos y ecológicos, diversos trabajos han demostrado que
199 los mapas de infestación sirven para poder realizar programas de manejo integrado de plagas
200 como lo muestra Rivera *et al.* 2017 quienes realizaron mapas de infestación de trips pero de

201 todo el conjunto de especies, Maldonado *et al.* 2017 demostraron que los mapas que se
202 realizan con esta técnica son de gran utilidad en la toma de decisiones para el control de
203 plagas del aguacate.

204 Para el segundo semestres de la localidad de Tenancingo (Figura 2) podemos observar
205 que en todas las fechas de muestreo la infestación ocupó la mayor parte de la zona de estudio,
206 existen centros de agregación de la plaga donde al igual que en la figura anterior se pueden
207 direccionar zonas de aplicación o de control, los mapas generados para la visualización del
208 comportamiento espacial es de gran importancia en estudios de manejo integrado de plagas
209 ya que ayuda a seleccionar adecuadamente métodos de control.

210 Mapas de infestación ayudan al productor a visualizar de manera práctica a donde
211 debe dirigir sus aplicaciones de control, trabajos como Ferguson *et al.* (2003) muestran cómo
212 se comportan diferentes plagas en el cultivo de colza, todo esto con mapas de infestación,
213 Esquivel y Jasso (2014) realizaron el mapeo de gusano soldado (*Mythimna unipuncta*) en
214 maíz, el cual se comporta de manera agregada, Reay-Jones (2012) estudió el comportamiento
215 del escarabajo de la hoja de trigo (*Oulema melanopus*) el cual se comportó de manera
216 agregada en adultos, pero no formó agregación ni en huevos ni larvas, contrario a lo anterior
217 plagas como el pulgón de la lechuga (*Nasonovia ribisnigri*) se comportan de manera aleatoria
218 dentro del cultivo como lo demostró Díaz *et al.* (2012) quienes estudiaron su comportamiento
219 espacial con el método del SADIE.

220 **Conclusiones**

221 El método del Análisis espacial por índices de distancia (SADIE) resultó ser adecuado para
222 el estudio del comportamiento espacial de *Scirtothrips perseae* en el cultivo de aguacate, se
223 registró un comportamiento espacial agregado en todos los muestreos para las dos

224 localidades, se reportó más de un centro de agregación en las zonas de estudio y se pudieron
225 obtener mapas de infestación que ayuden al productor de aguacate a tomar medidas de control
226 y prevención de dicha plaga, la estabilidad espacial y temporal a corto plazo que se encontró
227 en algunas fechas de muestreo se puede deberse a la poca movilidad de los trips de las zonas
228 donde han formado agregación, el encontrar durante todo el año presencia *S. perseae* puede
229 deberse a que se encuentra maleza dentro del cultivo esto hace que migren las poblaciones y
230 a su vez todo el año estar en constante reproducción.

231

232

233

234

235

236

237

238

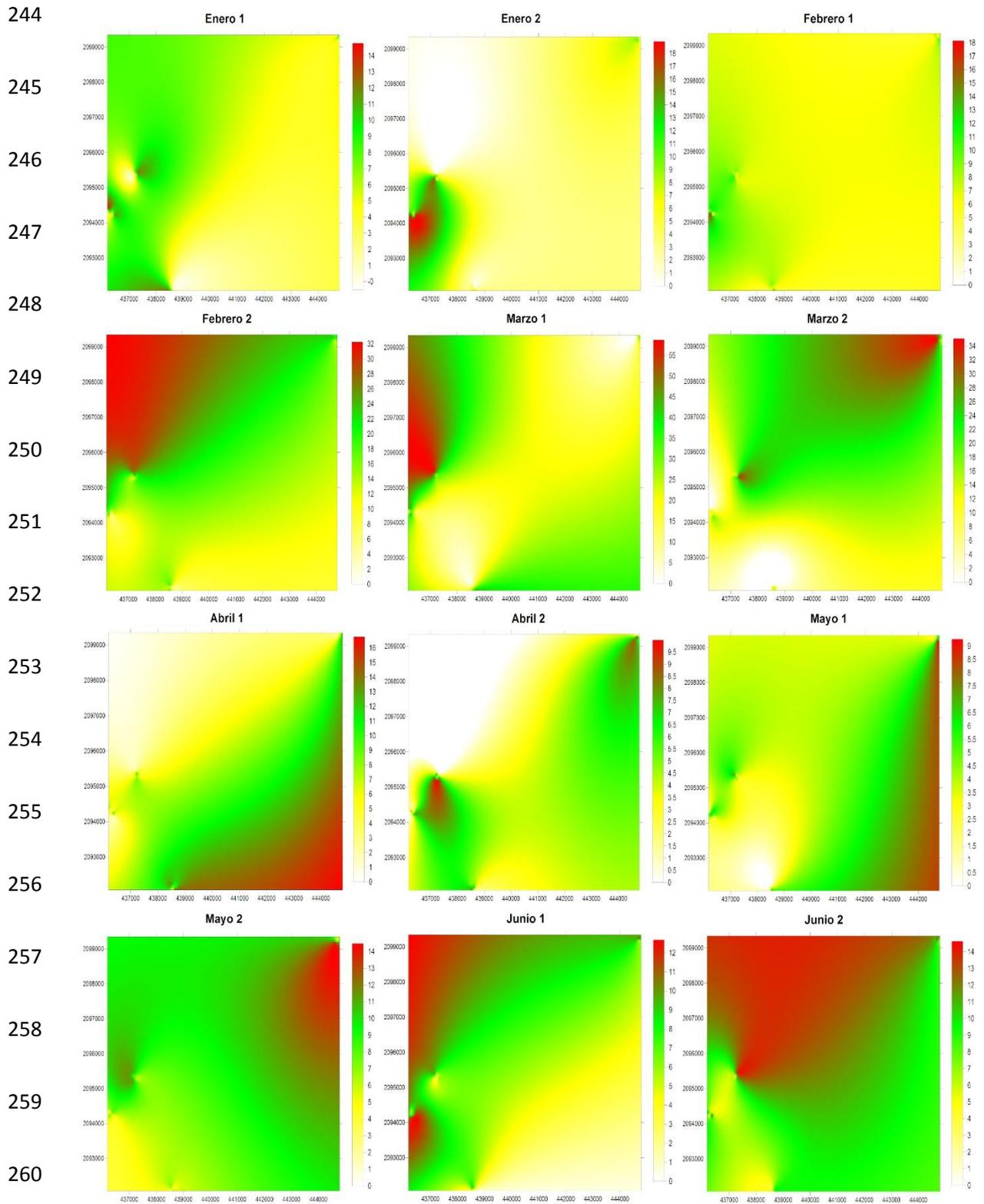
239

240

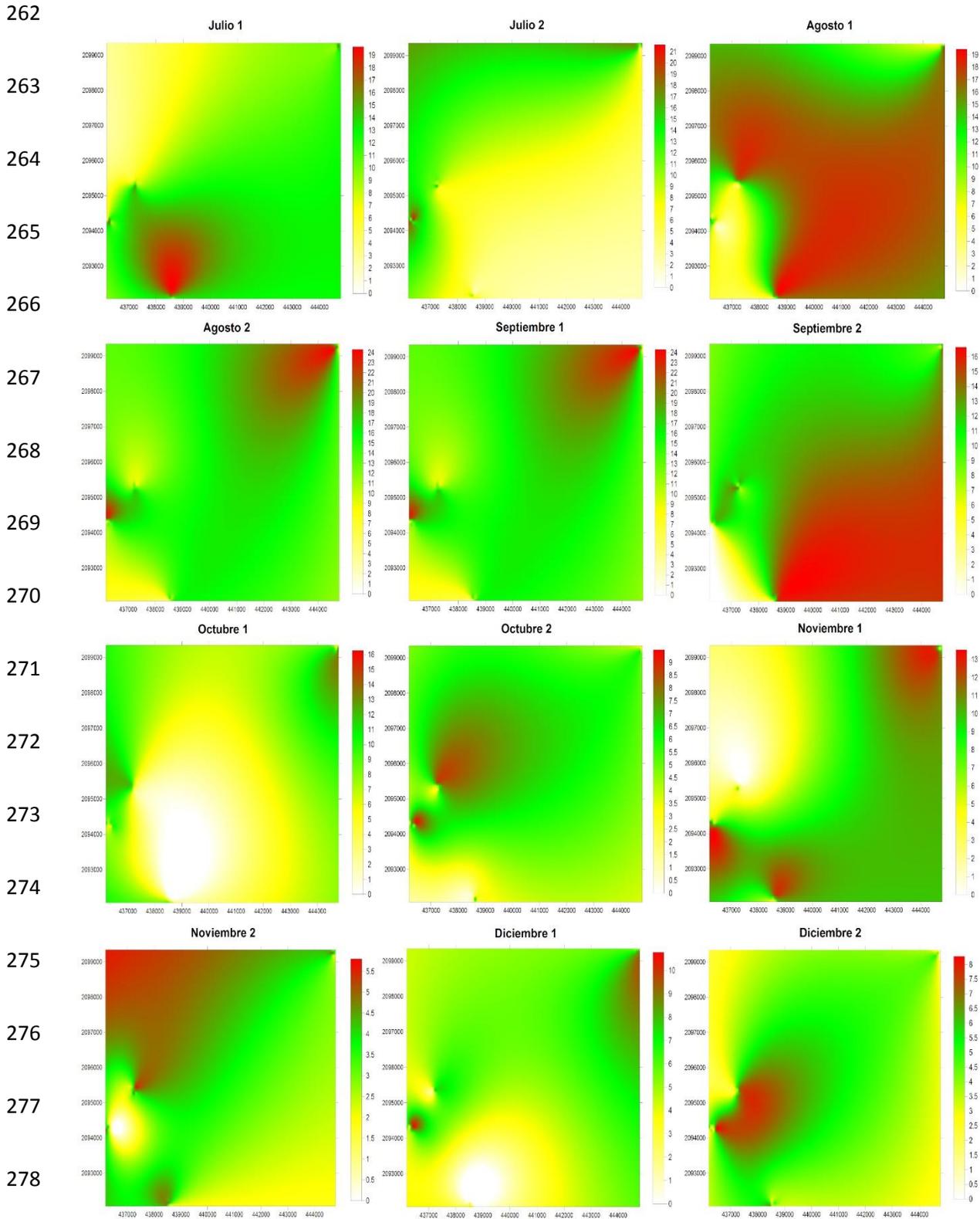
241

242

243



261 **Figura 10. Mapas de infestación de *Scirtothrips perseae* correspondiente al primer semestre del año, Tenancingo 2016.**



279 **Figura 11. Mapas de infestación de *Scirtothrips perseae* correspondiente al segundo semestre del año, Tenancingo 2016.**

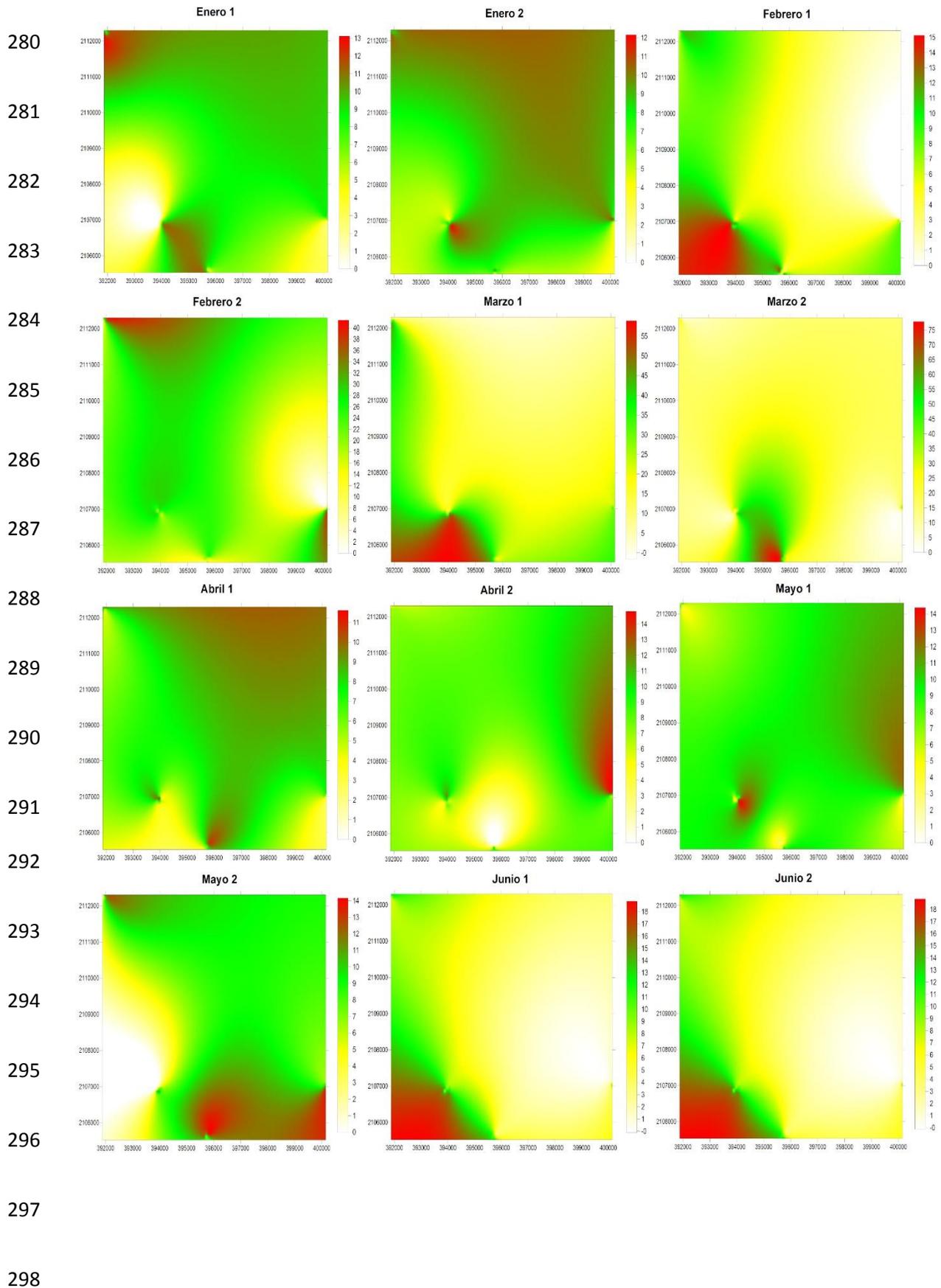
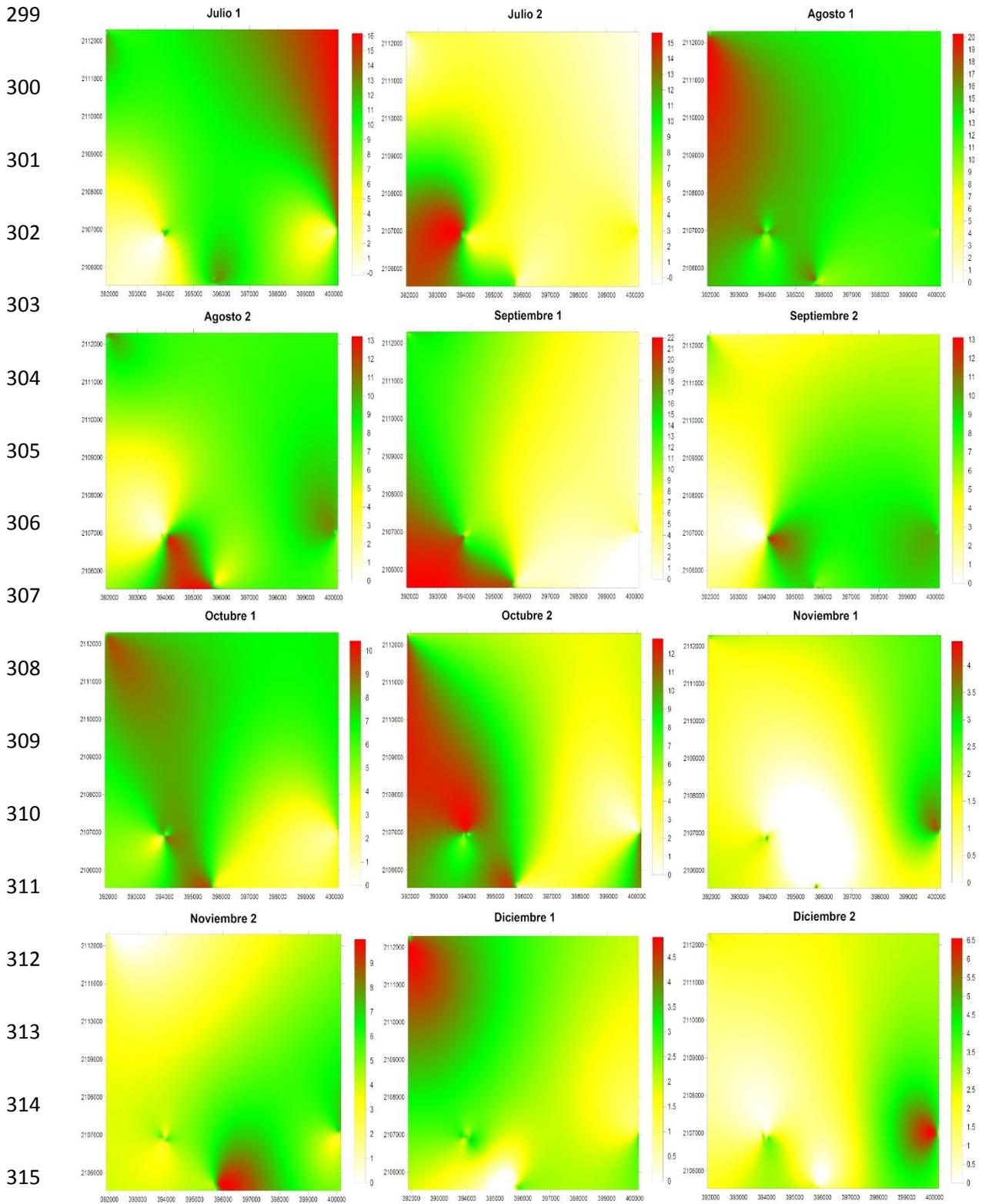


Figura 12. Mapas de infestación de *Scirtothrips perseae* correspondientes al primer semestre del año, Temascaltepec 2016.



316 **Figura 13. Mapas de infestación de *Scirtothrips perseae* correspondientes al segundo semestre del año, Temascaltepec 2016.**

317 **BIBLIOGRAFÍA CITADA**

- 318 Acosta, A. D., Ramírez, J. F., Rivera, R., Figueroa, D. K., Lara, A. V., Maldonado, F. I., y
319 Tapia, A. 2017. Distribución espacial de Trips spp.(Thysanoptera) y evaluación de su
320 control mediante el depredador *Amblyseius swirskii* en el cultivo de aguacate en
321 México. *Southwestern Entomologist*, 42(2): 435-447.
- 322 Ascención, G., H. Bravo., H. González., R, M, Johansen, y A. E. Becerril. 1999. Fluctuación
323 poblacional y daño de trips en aguacate cv. Hass. Revista Chapingo Serie
324 Horticultura 5: 291-296.
- 325 Dungan, J. L., J. N. Perry., M. T. R. Dale., S. Citron-Pousty., M. J. Fortin., A. Jakomulska.,
326 P. Legendre., M. Miriti, and M. Rosenberg. 2002. A balanced view of scaling in
327 spatial statistical analysis. *Ecography* 25: 626-640.
- 328 Esquivel, V, y. Jasso. 2014. Distribución espacial y mapeo de gusano soldado en seis
329 localidades del Estado de México, en el año 2011. Revista mexicana de ciencias
330 agrícolas 5(6): 923-935.
- 331 Ferguson, A. W., Z. Klukowski., B. Walczak., S. J. Clark., M. A. Muggleston., J. N. Perry,
332 and I. H. Williams. 2003. Spatial distribution of pest insects in oilseed rape:
333 implications for integrated pest management. *Agriculture, ecosystems and*
334 *environment* 95(2-3): 509-521.
- 335 García, F. M. 2004. Aplicación de la geoestadística en las ciencias ambientales. Revista
336 Ecosistemas 13 (1).

- 337 González, H. H., R. Johansen., L. Gasca., A. Equihu., A. Salinas., E. Estrada., F. Duran, y A.
338 Valle. 2000. Plagas del aguacate. En: Téliz., D. El Aguacate y su Manejo Integrado.
339 Ediciones Mundi Prensa. México, DF. pp: 177-186. ISBN 968-7462-15-9.
- 340 Hernández, H. G., A. M. Ramos., A. V. De la Paz, y M. González. 1999. Selección de trampas
341 de color y fluctuación poblacional de trips del aguacate en Michoacán, México. Revista
342 Chapingo Serie Horticultura 5: 287-290.
- 343 Hoddle, M. 2002. Developmental and reproductive biology of *Scirtothrips perseae*
344 (Thysanoptera: Thripidae): a new avocado pest in California. Bulletin of
345 Entomological Research 92:279-285.
- 346 Karimzadeh, R., M. J. Hejazi., H. Helali., S. Iranipour., and S. A. Mohammadi. 2011.
347 Analysis of the spatio-temporal distribution of *Eurygaster integriceps* (Hemiptera:
348 Scutelleridae) by using spatial analysis by distance indices and
349 geostatistics. Environmental entomology 40(5): 1253-1265.
- 350 Kim, H., S. T. Kim., M. P. Jung., and J. H. Lee. 2007. Spatio-temporal dynamics of
351 *Scotinophara lurida* (Hemiptera: Pentatomidae) in rice fields. Ecological
352 research 22(2): 204-213.
- 353 Korie, S., J. N. Perry., M. Mugglestone., S. Clark., C. Thomas, and R. Mohamad. 2000.
354 Spatiotemporal Associations in beetle and virus count data. Journal of Agricultural,
355 Biological and Environmental Statistics 5: 214-239.
- 356 Maldonado, F. I., J. F. Ramírez., A. V. Lara., R. Rivera., A. D. Acosta., D. K. Figueroa, and
357 A. Tapia. 2017. Estabilidad Espacial y Temporal de la Distribución de Trips 1 en el

- 358 Cultivo de Aguacate en el Estado de México. *Southwestern Entomologist* 42(2): 447-
359 463.
- 360 Perry, J. 1995a. Spatial aspects of animal and plant distribution in patchy farmland habitats.
361 In *Ecology and Integrated Farming Systems*. Eds. D. M. Glen, M. A. Greaves, H. M.
362 Anderson. Chichester, England. Wiley. 221 – 242 Pp.
- 363 Perry, J. 1995b. Spatial Analysis by distance indices. *Journal of Animal Ecology* 64: 303 -
364 314.
- 365 Perry, J. 1997. Spatial association for counts of two species. *Acta Jutlandica* 72: 149-169.
- 366 Perry, J. N, and P. Dixon. 2002. A new method for measuring spatial association in ecological
367 count data. *Ecoscience* 9: 133-141.
- 368 Reay-Jones, F. P. 2012. Spatial analysis of the cereal leaf beetle (Coleoptera: Chrysomelidae)
369 in wheat. *Environmental entomology* 41(6): 1516-1526.
- 370 Rivera, R., A. D. Acosta., J. F. Ramírez., D. K. Figueroa., F. I. Maldonado, y A. V. Lara.
371 2017. Distribución Espacial de las Poblaciones de Adultos de *Bactericera cockerelli*
372 Sulc. 1 en el Cultivo de Tomate de Cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Southwestern*
373 *Entomologist* 42(4): 1057-1069.
- 374 SE. 2017. Secretaría de Economía. <https://www.gob.mx/se/> (Consulta: 15 de Enero de 2018)
- 375 SIAP. 2017. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. SIAP.
376 <http://www.siap.gob.mx/> (Consulta: 7 de noviembre 2017).
- 377 Surfer 9. Surface Mapping System, Golden Software Inc. 809, 14th Street. Golden, Colorado
378 80401-1866. USA.

379 Urías, M. A., S. Salazar, y R. Johansen. 2007. Identificación y fluctuación poblacional de
380 especies de trips (Thysanoptera) en aguacate'Hass' en Nayarit, México. Revista
381 Chapingo Serie Horticultura 13(1): 49-54.

382

383

384

385

386

387

388

389

390

391

392

393

394

395

396

397

398 Segundo artículo de investigación el cual ha sido enviado

Título del artículo:	Mapeo del Comportamiento Espacial de <i>Scirtothrips perseae</i>. (Insecta: Thysanoptera) en el Cultivo de Aguacate Mediante Técnicas Geoestadísticas
Revista:	Revista de la Sociedad Entomológica Argentina
Indización	JCR

399

400

401

402



403

[Home](#) > [User](#) > [Author](#) > [Submissions](#) > #43014 > [Review](#)

404

#43014 Review

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

405

Submission

Authors [Agustin David Acosta Guadarrama](#), [José Francisco Ramírez Dávila](#), [Martín Rubí Arriaga](#), [Antonio Laguna Cerda](#)

Title Mapeo del Comportamiento Espacial de *Scirtothrips perseae* (Insecta:Thysanoptera) en el Cultivo de Aguacate Mediante Técnicas Geoestadísticas

Section [Articles](#)

Editor [Mariana Chani Posse](#)

408

Peer Review

409

Round 1

Review Version [43014-147818-1-RV.DOCX](#) 2018-11-30

Initiated 2018-12-10

Last modified 2019-05-09

Uploaded file None

410

411

Editor Decision

Decision —

Notify Editor [Editor/Author Email Record](#) [No Comments](#)

Editor Version None

Author Version None

Upload Author Version

413



DIRECTORY OF
OPEN ACCESS
JOURNALS



Mapeo del Comportamiento Espacial de *Scirtothrips perseae*. (Insecta: Thysanoptera) en el Cultivo de Aguacate Mediante Técnicas Geoestadísticas

ACOSTA, Agustin D¹., RAMÍREZ, José F^{2*}., ARRIGA, Martin³., LAGUNA, Antonio³.

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

Mapping the Spatial Behavior of *Scirtothrips perseae* (Insecta: Thysanoptera) in Avocado Orchards Using Geostatistical Techniques

ABSTRACT. The implementation of efficient programs of integrated pest management is of vital importance at present, the avocado that is produced in the study area is sold abroad, which is why it is necessary to adopt new technologies to reduce the application of agrochemicals and thus perform integrated pest management more effectively. To perform the mapping of the spatial distribution, geostatistics was used, which is applied in spatial behavior studies since it allows us to know the location and mobility patterns of the pest, the present study was conducted in one of the central zones of Mexico , the municipality of Donato Guerra is among the main producers of the state. Samples were taken during one year every fifteen days, obtaining 24 samplings in total, the semivariogram was determined for each sampling date, said semivariograms were adjusted to spherical models in most of the cases, the level of spatial dependence was determined to be high for all cases. The infested surface was calculated for all the samplings and maps of pest infestation were made through the kriging technique.

KEYWORDS. Kriging, semivariograms, spatial distribution.

RESUMEN. La implementación de programas eficientes de manejo integrado de plagas es de vital importancia en la actualidad, el aguacate que se produce en la zona de estudio se comercializa en el extranjero es por lo que se necesitan adoptar nuevas tecnologías para reducir la aplicación de agroquímicos y así realizar un manejo integrado de plagas más eficaz. Para realizar el mapeo de la distribución espacial se utilizó la geoestadística la cual se aplica en estudios de comportamiento espacial ya que nos permite conocer la ubicación y los patrones de movilidad de la plaga, el presente estudio se realizó en una de las zonas centro de México, el municipio de Donato Guerra se encuentra dentro de los principales productores del estado. Se realizaron muestreos durante un año cada quince días, obteniendo 24 muestreos en total, se determinó el semivariograma para cada fecha de muestreo, dichos semivariogramas se ajustaron a modelos esféricos en la mayoría de los casos, se determinó el nivel de dependencia espacial resultando ser alta para todos los casos. Se calculó la superficie infestada para todos los muestreos y se realizaron mapas de infestación de la plaga a través de la técnica del krigeado.

PALABRAS CLAVE. Krigeado, semivariogramas, aguacate, distribución espacial.

INTRODUCCIÓN

El aguacate ocupa el primer lugar en ingreso de capital por exportaciones de productos agrícolas de México (SE, 2016). La zona centro-sur de México ha adquirido en los últimos años una gran importancia en producción y comercialización de aguacate, ocupando el segundo lugar de producción a nivel nacional, estados como Estado de México, Puebla y Morelos suman a diario superficies que producen dicho producto (SIAP, 2016). Al incrementarse la superficie cultivada también se acrecientan los problemas fitosanitarios, plagas de importancia como trips, mosca blanca, barrenadores, escamas etc., han adquirido una gran importancia ya que sus daños afectan la productividad de los huertos así como bajan la calidad comercial del aguacate. El trips se alimenta del fruto pequeño (Salgado, 1993), y forman crestas o protuberancias sobre el pericarpio (González *et al.*, 2000). Las deformaciones son más visibles cuando el fruto madura (Fisher y Davenport, 1989; González *et al.*, 2000) en las especies de *Scirtothrips* spp, las larvas y adultos causan daños en follaje tierno, provocando distorsión y cicatrices castaño oscuro a lo largo de la nervadura central

de la hoja, en el envés. Algo similar ocurre con el fruto joven, que puede quedar completamente cubierto por una cicatriz castaño oscuro, aunque comúnmente se observan cicatrices pequeñas, a veces alargadas (Hoddle, 2002). Ascensión *et al.* (1999) y Johansen *et al.* (1999) afirmaron que éste síntoma asociado a trips aparece en el fruto pequeño, aunque no se ha precisado las etapas fenológicas más afectadas.

Los métodos geoestadísticos proporcionan una medida más directa de la dependencia espacial, ya que tiene en cuenta la naturaleza bidimensional de la distribución de los organismos a través de su exacta localización espacial, además permite elaborar mapas de gran utilidad de la distribución espacial de un organismo (Isaaks y Srivastava, 1988; Rossi *et al.*, 1992; Sciarretta *et al.*, 2001; Blom y Fleischer, 2001 y Ramírez *et al.*, 2002). El objetivo de esta investigación fue realizar un análisis espacial del comportamiento espacial de *Scirtothrips perseae* en huertos comerciales de aguacate, se obtuvieron tablas de infestación de plaga así como mapas que muestran el comportamiento espacial de los trips.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en Donato Guerra, municipio del Estado de México, localizado en la zona central del México, tiene una altitud promedio de 2200 metros sobre el nivel del mar, con una temperatura media anual de 19.2 grados centígrados y una precipitación media de 1000 mm, la zona de estudio es de las principales productoras de aguacate en el estado. Se establecieron 200 puntos de muestreo (un árbol se consideró unidad de muestreo, todos ellos sin aplicación de insecticidas) los cuales se distribuyeron en toda la superficie del municipio ocupando todas las zonas productoras del mismo y a su vez repartidos en los cuatro puntos cardinales, cada árbol muestreado fue georeferenciado utilizando un DGPS (marca Trimble modelo PRO-XR) para establecer sus coordenadas geográficas, se utilizaron vasos de color amarillo del número 8 marca plastifestival cubiertos con un adherente comercial (spider-plus) como lo recomienda Hernández *et al.* 2002, se colocaron 16 vasos distribuidos en el árbol, ocupando los cuatro puntos cardinales, se realizó un conteo del número de adultos de *Scirtothrips* spp presentes en los vasos amarillos, se identificaron en el Laboratorio de Entomología de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México. Los muestreos se realizaron cada quince días.

El análisis geoestadístico se realizó con la estimación del semivariograma el cual se realizó con base en los datos adquiridos en los diferentes muestreos de las poblaciones de trips (Journel y Huijbregts, 1978; Isaaks y Srivastava, 1989).

Para la realización de semivariograma experimental correspondiente a cada muestreo de las parcelas experimentales se emplearon los programas Variowin 2.2 (Software for Spatial Data Analysis in 2D. Spring Verlag, New York; USA).

Una vez que se estimaron los semivariogramas experimentales, correspondientes a cada muestreo de los diferentes estadios se ajustaron a algún semivariograma teórico. Para determinar qué tan fuerte es la relación entre los datos obtenidos en los muestreos se calculó el nivel de dependencia espacial. Este valor se obtiene al dividir el efecto pepita y la meseta, expresado en porcentaje: con menos de 25% es alto; entre 26 y 75% es moderado y mayor a 76% es bajo (Cambardella *et al.*, 1994; López-Granados *et al.*, 2002). Se realizó la validación de los modelos ajustados a los semivariogramas experimentales con el procedimiento de validación cruzada (Isaaks y Srivastava, 1989), con el cual se elimina un valor muestral y se usa el método de interpolación geoestadística 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 son el efecto pepita, la meseta y el rango, se van modificando en un procedimiento a prueba y error hasta la obtención de estadísticos de validación cruzada adecuados.

Estos estadísticos son los siguientes: media de los errores de estimación (MEE), error cuadrático medio (ECM), error cuadrático medio adimensional (ECMA) y un estadístico adicional para validar el ajuste del modelo consiste en que el valor de la varianza de los errores sea menor a la varianza muestral.

Posterior a la realización de los semivariogramas se realizó la elaboración de mapas de densidad de trips, utilizando el método del krigado ordinario (se utilizó ese método ya que se conocía la media y la varianza de los datos muestreados). El krigado es un estimador exacto y sus ecuaciones 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 obtener mapas de la distribución espacial de los organismos estudiados, los cuales a su vez, tienen amplias utilidades (Samper y Carrera, 1996). El krigado se realizó con el programa Surfer 9.0, las estimaciones se representan en forma de mapa para cada fecha de

muestreo de adultos de trips. Con los mapas obtenidos se calculó la superficie infestada (Ramírez *et al.*, 2013, Sánchez *et al.*, 2011).

RESULTADOS

Se registró presencia de *Scirtothrips* spp. en los 24 muestreos realizados, el primer muestreo del mes de marzo tuvo la mayor densidad con 46.7 por árbol, el mes de noviembre presento la menor población con 2.11 por árbol, las densidades mayores ocurrieron cuando el cultivo se encontraba en época de floración, en esta etapa del cultivo las densidades son mayores ya que el principal órgano de la planta que atacan los trips son las flores, esto va directamente relacionado con el daño que generan estos insectos ya que el daño que se refleja en el fruto se realizó cuando aún estaba en flor, los modelos a los que se ajustaron los semivariogramas fueron en su mayoría esféricos, solo para el segundo muestreo del mes de julio se presentó el modelo gaussiano (Tabla 1). En lo que se refiere al análisis geoestadístico se puede observar que en todas las fechas de muestreo se encontró un nivel de dependencia espacial alta, esto nos indica la existencia de una relación espacial elevada entre cada punto de muestreo. El efecto pepita fue igual a cero en todas las fechas de muestreo lo que indica que el error de muestreo fue mínimo y la escala que se utilizo fue la adecuada. Los rangos de los muestreos fluctuaron entre 25.19 para el mes de julio y 58.9 en el mes de septiembre (Tabla 1). Los valores de rango encontrados expresan que la validez de los modelos ajustados se extiende a distancias razonables en cuanto a la explicación del fenómeno de agregación de las poblaciones del insecto.

En los 24 muestreos se determinó los valores de validación cruzada (Tabla 2) donde podemos observar los estadísticos de media de los errores de estimación, error cuadrático medio y error cuadrático adimensional, ajustados cada uno de ellos a los valores requeridos para validar estadísticamente la confiabilidad de los modelos ajustados.

Se calculó la superficie infestada para cada fecha de muestreo (Tabla 3), en las 24 fechas de muestreo la superficie infestada de la zona de estudio sobrepasa el 50%, incluso en 4 muestreos la superficie infestada llega al 99%, siendo del 56% el muestreo con el valor más bajo. La superficie infestada no va ligada directamente con la fluctuación poblacional, podemos tener altos índices de superficie infestada pero baja fluctuación poblacional, este

cálculo nos sirve para conocer cómo se comporta la plaga en lo que refiere a su adaptación dentro del cultivo.

Otra herramienta fundamental en el análisis espacial de plagas es la elaboración de mapas de densidad (Figs 1 y 2), en el presente estudio se realizaron para los 24 muestreos, los mapas de infestación nos muestran de manera gráfica cómo se comporta la plaga dentro de la zona de estudio, en todos los mapas de infestación observamos centros de agregación de la plaga, esto confirma los modelos de los semivariogramas a los que se ajustaron cada uno de los muestreos.

Tabla 1. Parámetros (Efecto Pepita, Meseta y Rango) de los modelos ajustados a los semivariogramas de trips en la zona centro de México.

Mes	Modelo	Media Muestra	Rango	Meseta	Pepita	Nivel de Dependencia Espacial
Enero 1	Esférico	4,57	45,6	17,06	0	Alto
Enero 2	Esférico	6,26	43,1	25,7	0	Alto
Febrero 1	Esférico	15	44,39	139,5	0	Alto
Febrero 2	Esférico	34,28	39,86	649,2	0	Alto
Marzo 1	Esférico	46,7	38,62	728,87	0	Alto
Marzo 2	Esférico	27,94	43,22	311,57	0	Alto
Abril 1	Esférico	5,44	45,32	17,4	0	Alto
Abril 2	Esférico	6,41	45,62	18,67	0	Alto
Mayo 1	Esférico	4,89	41,80	10,75	0	Alto
Mayo 2	Esférico	4,16	49,4	10,6	0	Alto
Junio 1	Esférico	3,49	44,12	9,41	0	Alto
Junio 2	Esférico	2,15	57,03	4,16	0	Alto
Julio 1	Esférico	6,39	53,47	27,77	0	Alto
Julio 2	Gaussiano	10,15	25,19	114,05	0	Alto

Agosto 1	Esférico	14,33	54	108,57	0	Alto
Agosto 2	Esférico	11,18	52,2	85,44	0	Alto
Septiembre 1	Esférico	5,72	55,8	19,48	0	Alto
Septiembre 2	Esférico	4,71	58,9	11,92	0	Alto
Octubre 1	Esférico	3,83	47,5	8,16	0	Alto
Octubre 2	Esférico	4,54	55,1	9,31	0	Alto
Noviembre 1	Esférico	4,83	57	10,52	0	Alto
Noviembre 2	Esférico	2,11	41,8	3,18	0	Alto
Diciembre 1	Esférico	5,19	54,4	11,39	0	Alto
Diciembre 2	Esférico	7,76	45	11,58	0	Alto

Tabla 2. Valores de los estadísticos de la validación cruzada de los semivariogramas obtenidos en los muestreos en el municipio de Donato Guerra: media de los errores de estimación (MEE), error cuadrático medio (ECM) y error cuadrático medio adimensional (ECMA).

Mes	Muestreo	Media Muestra	Varianza Muestra	MEE	Varianza de los Errores	ECM	ECMA
Enero	1	4,57	18,28	0,14 ^{ns}	11,65	0,13	1,11
Enero	2	6,26	28,91	0,11 ^{ns}	19,03	0,10	1,10
Febrero	1	15	145,62	0,10 ^{ns}	101,29	0,11	1,13
Febrero	2	34,28	668,43	0,09 ^{ns}	388,07	0,08	1,09
Marzo	1	46,7	749,54	0,13 ^{ns}	451,04	0,11	1,06
Marzo	2	27,94	410,85	0,10 ^{ns}	214,98	0,13	1,12
Abril	1	5,44	19,98	0,12 ^{ns}	10,52	0,14	1,10
Abril	2	6,41	21,9	0,07 ^{ns}	16,77	0,07	1,08

Mayo	1	4,89	24,78	0,11 ^{ns}	20,53	0,09	1,11
Mayo	2	4,16	10,99	0,08 ^{ns}	8,13	0,06	1,13
Junio	1	3,49	9,69	0,10 ^{ns}	7,48	0,11	1,11
Junio	2	2,15	4,48	0,12 ^{ns}	2,71	0,12	1,09
Julio	1	6,39	23,77	0,09 ^{ns}	18,51	0,10	1,06
Julio	2	10,15	278,51	0,14 ^{ns}	176,31	0,13	1,08
Agosto	1	14,33	130,9	0,10 ^{ns}	111,90	0,08	1,14
Agosto	2	11,18	109,14	0,13 ^{ns}	96,42	0,14	1,10
Septiembre	1	5,72	22,76	0,08 ^{ns}	15,06	0,11	1,12
Septiembre	2	4,71	12,31	0,07 ^{ns}	9,59	0,12	1,06
Octubre	1	3,83	8,55	0,11 ^{ns}	6,22	0,08	1,13
Octubre	2	4,54	10,26	0,14 ^{ns}	7,05	0,13	1,11
Noviembre	1	4,83	11,61	0,12 ^{ns}	8,59	0,07	1,14
Noviembre	2	2,11	3,72	0,09 ^{ns}	1,96	0,11	1,10
Diciembre	1	5,19	11,92	0,10 ^{ns}	8,37	0,06	1,08
Diciembre	2	7,76	2,32	0,08 ^{ns}	1,50	0,13	1,12

Tabla 3. Superficie infestada y no infestada (%) obtenida en el muestro de trips en la zona centro de México.

Mes	Muestreo	% Infestado	%No Infestado
Enero	1	84	16
Enero	2	99	1
Febrero	1	81	19
Febrero	2	82	18
Marzo	1	93	7

Marzo	2	91	9
Abril	1	84	16
Abril	2	64	36
Mayo	1	94	6
Mayo	2	86	14
Junio	1	80	20
Junio	2	71	29
Julio	1	56	44
Julio	2	62	38
Agosto	1	77	23
Agosto	2	70	30
Septiembre	1	85	15
Septiembre	2	67	33
Octubre	1	65	35
Octubre	2	68	32
Noviembre	1	97	3
Noviembre	2	99	1
Diciembre	1	99	1
Diciembre	2	99	1

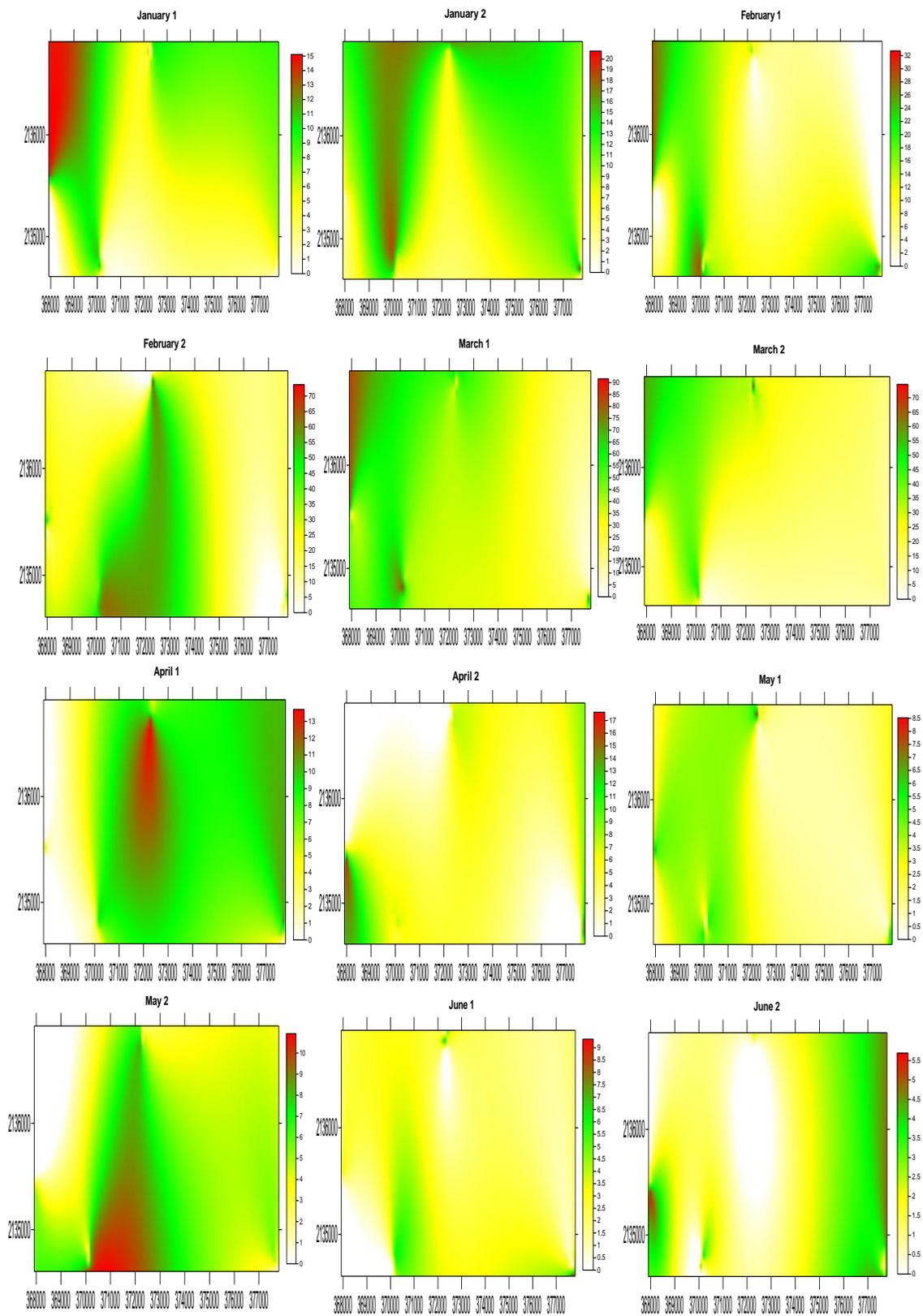
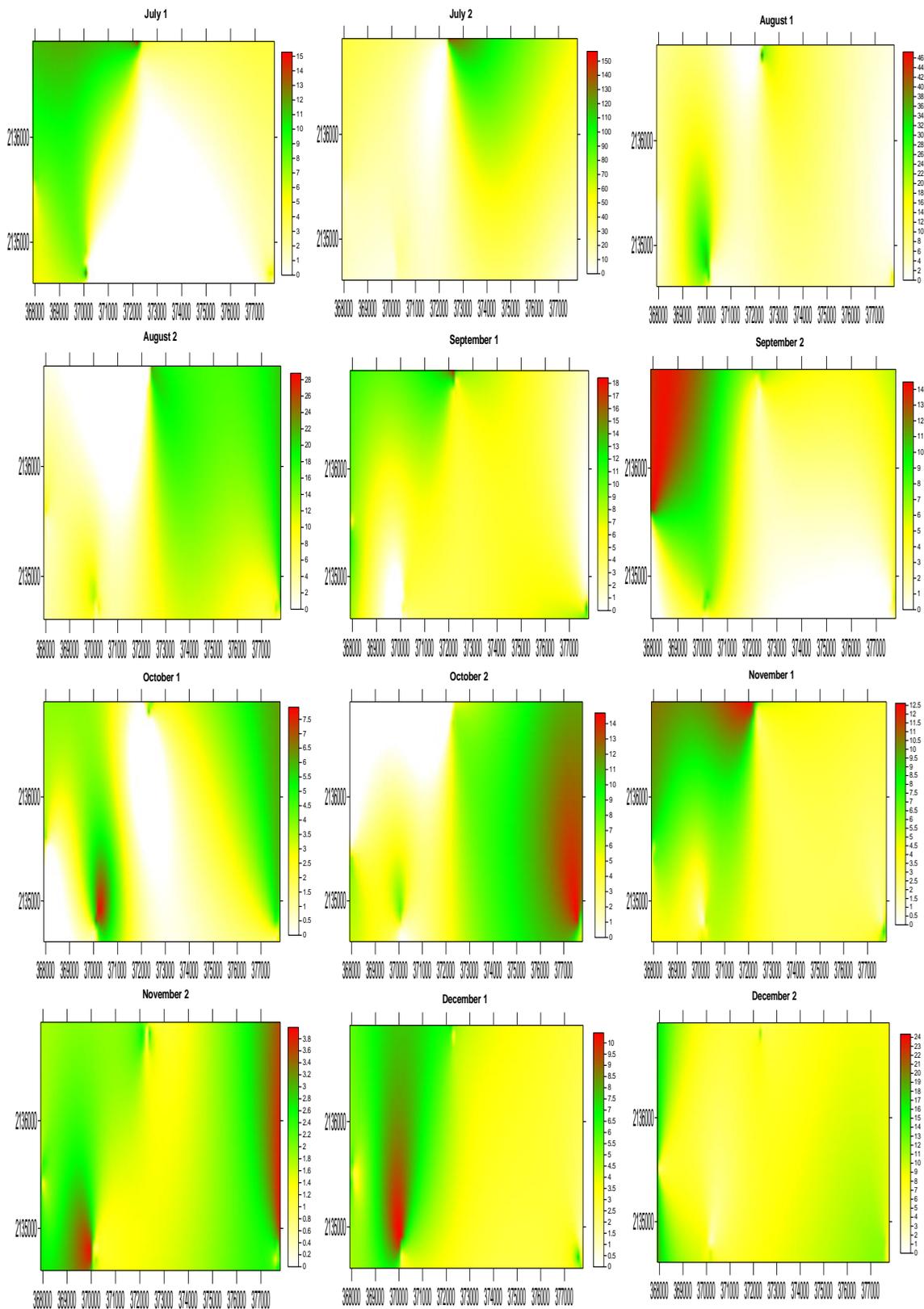


Figura 1. Mapas de densidad de las poblaciones de trips obtenidos en los muestreos.

Figura 2. Mapas de densidad de las poblaciones de trips obtenidos en los muestreos.



DISCUSIÓN

Trabajos como el de Maldonado *et al.* (2016) muestran la distribución espacial de insectos, en su caso distribución espacial de trips, en lo que refiere al ajuste de los modelos a los que se ajustaron los semivariogramas en términos biológicos el que se presentara el modelo esférico representa que el insecto se presentó más en ciertos puntos respecto a los demás, esto nos quiere decir que existen centros de agregación de la plaga como lo muestran trabajos como el de Jiménez *et al.* (2013) quienes estudiaron la distribución espacial de trips en el cultivo de tomate de cascara, con respecto al modelo gaussiano que se encontró en el mes de julio nos indica que la plaga tiene una distribución continua dentro de la parcela lo que implica una expansión dentro de la misma, (Alves *et al.*, 2006).

La elaboración de mapas de densidad es utilizado en estudios de comportamientos de plagas tal como lo reporta Quiñonez *et al.* (2015) los cuales realizaron la distribución espacial y elaboración de mapas de infestaciones de trips en el cultivo de gladiolo, reportado también por Jiménez *et al.* (2013) en el cultivo de tomate de cascara, los cuales encontraron que las plagas se encontraron en centros de agregación. Los mapas de densidad pueden ser de gran utilidad en un programa de manejo integrado de trips, ya que es posible dirigir las medidas de control hacia los puntos específicos de infestación que se presentan en el mapa respectivo tal como lo reporta García (2004). La manera correcta de interpretar los mapas de cada uno de los muestreos es apoyándose del baremo que se encuentra a un lado de cada mapa, ahí se encuentra la escala de colores que corresponden a cierto tipo de densidades dentro del cultivo, aunque pareciera que los mapas presentan la misma coloración es necesario visualizar la escala porque muestran en meses de febrero y marzo las densidades mayores de *Scirtothrips perseae*. (Fig 1) y meses como noviembre y diciembre presentan densidades menores pero las coloraciones son parecidas a los demás meses (Fig 2), al saber interpretar estos mapas de infestación podemos tomar decisiones que incidan directamente en el control y disminución de la plaga que en este caso causa pérdidas considerables en el cultivo. El muestreo de cada uno de los meses nos da un panorama cómo se comporta la plaga a lo largo de todo el año, podríamos tomar decisiones para disminuir los daños que causan los trips en el aguacate y así obtener mayores producciones y por ende mayores ganancias para los productores. Se pueden observar en los mapas centros de agregación pero una particularidad de estos mapas

es que la plaga presenta un comportamiento espacial un poco diferente al de trips en general como lo muestra trabajos como Maldonado (2016), ahí se pueden observar los centros de agregación más delimitados y en el presente trabajo los centros de agregación son más graduales y en ciertos puntos como en líneas a través de toda la parcela, biológicamente se puede interpretar dicho cambio porque en el presente trabajo solo se muestreo *Scirtothrips perseae* y en el artículo mencionado anterior fue trips en general.

La aplicación de la geoestadística en estudios de comportamientos de plagas y enfermedades nos permite conocer las fluctuaciones así como la posición de los agentes dentro de la parcela, esto es de gran ayuda en la utilización de métodos de control dirigidos, que permitan obtener ahorros económicos significativos en la aplicación de productos químicos o métodos alternativos, ya que el control va dirigido a zonas de agregación de la plaga y un menor impacto ambiental (Schotzko y O'keeffe, 1988; Bautista *et al.*, 2013). Uno de los métodos más usados en el control de los trips es un insecticida a base de spinosad comercialmente conocido como Spintor, este producto actúa de manera muy eficaz en el control de trips, al conocer cómo se comporta espacialmente la plaga se pueden hacer aplicaciones dirigidas de este insecticida sobre los nichos de poblaciones y así obtener ahorros económicos. Otra alternativa es el uso de depredadores como lo reporta Rivera *et al.* (2018) quien determino la disminución de trips utilizando el depredador *Orius insidiosus* al igual Acosta *et al.* (2017) quienes utilizaron el depredador *Amblyseius swirskii* en el control de dicha plaga.

Para realizar un mejor análisis espacial de las plagas y enfermedades en cultivos agrícolas es de importancia determinar el nivel de infestación de las áreas de estudio, esto nos permite conocer de forma exacta como se encuentra la infestación en el área y así determinar acciones de control y prevención de plagas. En el presente trabajo se determinó la superficie infestada para los 24 muestreos (Tabla 3), existe infestación mayores al 80% en la mayoría de los muestreos realizados, trabajos como Esquivel y Jasso (2015) muestran también porcentajes de infestación en parcelas estudiadas con plagas, no existe una relación entre el porcentaje de infestación y la densidad de infestación, es cierto que existen niveles de infestación altos pero con densidades bajas que no sobrepasan los umbrales económicos determinados para trips en aguacate. Los meses con mayores infestaciones son los meses de enero en el segundo muestreo, noviembre igual en el segundo y los dos muestres de diciembre con el 99

porcentaje de infestación, por contrario el mes de julio reporta el nivel de infestación más bajo de todo el año con el 56 por ciento de infestación. Esto concuerda con las densidades mayores y menores de fluctuación poblacional de la plaga dentro de la zona de estudio. Cabe señalar que el porcentaje de infestación no va relacionado directamente con la densidad poblacional de la plaga, ya que podemos tener niveles de infestación muy altos pero densidades bajas que no sobrepasan el umbral económico de la plaga.

BIBLIOGRAFÍA

- Alves, M. C., E.A. Pozza, J.C. Machado, D.V. Araújo, V.Talamini, y M.S. Oliveira. 2006. Geoestadística como metodología para estudiar a dinâmica espaço-temporal de doenças associadas a *Colletotrichum* spp. transmitidos por sementes. *Fitopatologia Brasileira* 31:557-563.
- Ascensión B, G., Bravo M, H., González H, H., Johansen N, R., y Becerril R, A. 1999. Fluctuación poblacional y daño de trips en aguacate C.V. Hass. *Rev. Chapingo. Serie Horticultura* 5: 291-296.
- Bautista, L. G., J.A. Cardona, and A. Soto. 2013. SPATIAL DISTRIBUTION OF *Collaria scenica* (HEMIPTERA: MIRIDAE) AND *Hortensia similis* (HEMIPTERA: CICADELLIDAE) IN ANDEAN VALLEYS. *Boletín Científico. Centro de Museos. Museo de Historia Natural*, 17(2), 75-84.
- Blom, E. y Fleisher, S. 2001. Dynamics in the spatial structure of *Leptinotarsa decemlineata* (Coleoptera: Chrysomelidae). *Environ. Entomol.* 30 (2): 350- 364.
- 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. Sci. Soc. Am. J.* 58, 1501-1511.
- Esquivel, V., y Jasso. 2014. Distribución espacial y mapeo de gusano soldado en seis localidades del Estado de México, en el año 2011. *Rev. Mex. Cienc. Agric* 5(6), 923-935.

- Fisher, J. B., y Davenport, T.L. 1989. Structure and development of Surface deformation on avocado fruits. *HortScience* 24:841-844.
- García, F. M. 2004. Aplicación de la geoestadística en las ciencias ambientales. *Revista Ecosistemas*, 13:1.
- González, H. H., R. Johansen, L. Gasca, A. Equihu., A. Salinas, E. Estrada, F. Duran, y A. Valle. 2000. Plagas del aguacate. En: Téliz., D. *El Aguacate y su Manejo Integrado*. Ediciones Mundi Prensa. México, DF. pp: 177-186. ISBN 968-7462-15-9.
- Hernández, H. G., A. M. Ramos, A. V. De la Paz, y M. González. 1999. Selección de trampas de color y fluctuación poblacional de trips del aguacate en Michoacán, México. *Rev. Chapingo Ser. Hort.* 5: 287-290.
- Hoddle, M. S. 2002. Developmental and reproductive biology of *Scirtothrips perseae* (Thysanoptera: Thripidae): a new avocado pest in California. *Bulletin of entomological research*, 92(04), 279-285.
- Isaaks, E. Srivastava, M. 1988. Spatial continuity measures for probabilistic and deterministic geostatistics. *Mathematical Geology*. 20(4): 313 – 341.
- Isaaks, E., and M. Srivastava. 1989. Spatial continuity measures for probabilistic and deterministic geostatistics. *Math Geol*. 20: 313 – 341.
- Jiménez, R. D. L., J. Ramírez, J. R. Sánchez, M. L. Salgado, y A. Laguna. 2013. Modelización espacial de *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) en tomate de cáscara por medio de técnicas geoestadísticas/Spatial modeling of *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) on husk tomato using geostatistical techniques. *Rev. Colomb. Entomol.* 39: 183.
- Johansen, R., Mojica G., y Ascensión, B. 1999. Introducción al conocimiento de los insectos tisanópteros mexicanos, en el aguacatero (*Persea americana* Miller). *Rev. Chapingo Ser. Horticultura* 5 (Núm. Esp.): 279-285.
- Journel, A. y Huijbregts, C. J. 1978. *Mining geostatistics*. Academic Press, London, Reino Unido. 600 Pp.

- López-Granados, F., Jurado-Expósito, M., Atenciano, S., García-Ferrer, A., de la Orden, M. S., & García-Torres, L. (2002). Spatial variability of agricultural soil parameters in southern Spain. *Plant and Soil*, 246(1), 97-105.
- Maldonado Zamora, F. I., Ramírez Dávila, J. F., Rubí Arriaga, M., Némiga, X. A., & Lara Díaz, A. V. (2016). Distribución espacial de trips en aguacate en Coatepec Harinas, Estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(4).
- Quiñones, R., J. Sánchez, A. Pedraza, A. Castañeda, A. 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. *Southwest Entomol*, 40: 397-408.
- 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. Zool. Mex.* 29: 545-562.
- Ramírez, J. F., y E. Porcayo. 2008. Distribución espacial de las ninfas de *Jacobiasca lybica* (Hemíptera: Cicadellidae) en un viñedo de Andalucía, España. *Rev. Colomb. Entomol*, 34: 169-175.
- Ramírez, J., González, J., 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. *Bol. San. Veg. Plagas*.28: 87-95.
- Rosii, R., J. Mulla, G. Journel, y H. Franz. 1992. Geostatistical Tools for Modeling And interpreting Ecological Spatial Dependence. *Ecological Monographs*. 62: 277-314.
- Salgado, S. M. L. 1993. Problemas fitosanitarios del aguacate en Coatepec Harinas. Memorias Centro de Investigaciones científicas y tecnológicas del aguacate en el Estado de México. Pp, 191-212. http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/26/005/26005548.pdf f#page=160

- Samper, F., y J. Carrera. 1996. Geoestadística: Aplicaciones a la Hidrología subterránea. 2ª Ed. Centro Internacional de Métodos en Ingeniería. Barcelona. 484 Pp. ISBN 978-84-404-6045
- Sánchez, P. J., J. F. Ramírez, A. González, and C. De León. 2011. Spatial distribution of head smut (*Sporisorium reilianum*) of corn in Mexico. *Cienc. Investig. Agrar* 38: 5-14.
- Schotzko, D. J., y O'keeffe, L. E. 1989. Geostatistical description of the spatial distribution of *Lygus hesperus* (Heteroptera: Miridae) in lentils. *Journal of Economic Entomology*, 82(5), 1277-1288.
- Sciarretta, A.; Trematerra, P. y Baumgärtner. 2001. Geostatistical análisis of cydiafunebra (Lepidoptera: Tortricidae) Pheromone trap catches at two spatial scales. *American Entomologist*. 47(3): 174-184.
- SE. 2016. Secretaría de Economía. <https://www.gob.mx/se/> (Consulta: 15 de Enero de 2017)
- SIAP. 2015. *Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera*. SIAP. <http://www.siap.gob.mx/> (Consulta: 7 de noviembre 2016).
- Solares Alonso, V. M., Ramírez Dávila, J. F., y Sánchez Pale, J. R. (2012). DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE TRIPS (INSECTA: THYSANOPTERA) EN EL CULTIVO DE AGUACATE (PERSEA AMERICANA MILL.). *Boletín del Museo de Entomología de la Universidad del Valle*, 12(2), 1-12.
- Surfer 9. Surface Mapping System, Golden Software Inc. 809, 14th Street. Golden, Colorado 80401-1866. USA.
- Variowin 2.2. Software for Spatial Data Analysis in 2D. Spring Verlag, New York. USA

VIII. OTROS RESULTADOS

En cada localidad de estudio se registraron datos sobre temperatura y precipitación media mensual durante los dos años de muestreo (CONAGUA, 2016), a continuación las figuras muestran dichos datos.

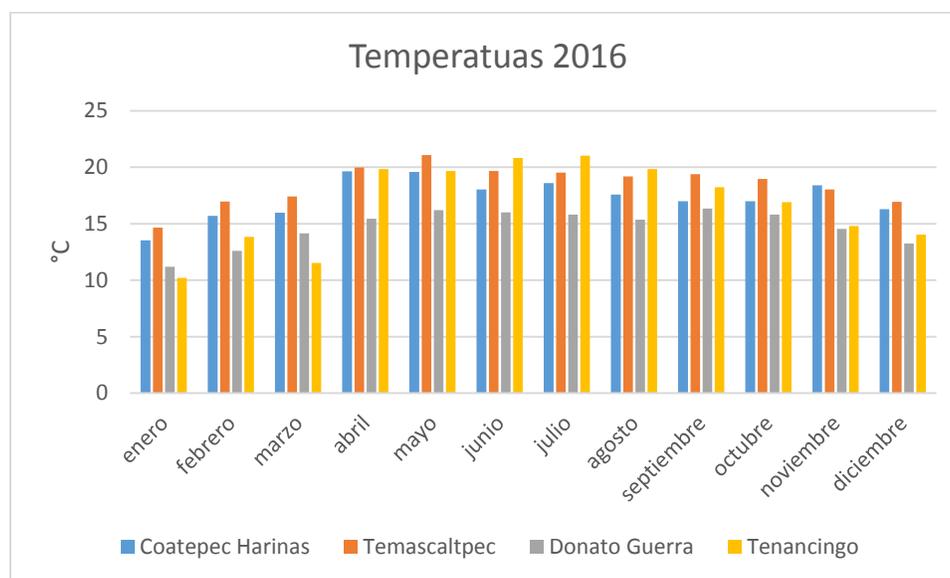


Figura 14. Temperaturas promedio mensuales en 2016 de las cuatro localidades de la zona de estudio.

Las temperaturas más bajas se registraron en el municipio de Donato Guerra (figura 10) mientras que las más altas se registraron en Temascaltepec (figura 10), en los municipios de Coatepec Harinas y Tenancingo (figura 10) 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 fueron de los promedios mensuales pero cabe señalar que los promedios de temperaturas máximas alcanzaron niveles de hasta 30°C, en los picos de temperaturas es donde los trips pueden reproducirse con mayor facilidad. 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.

En las siguientes figuras se muestran las temperaturas del año 2017 para las cuatro localidades donde se realizó la investigación.

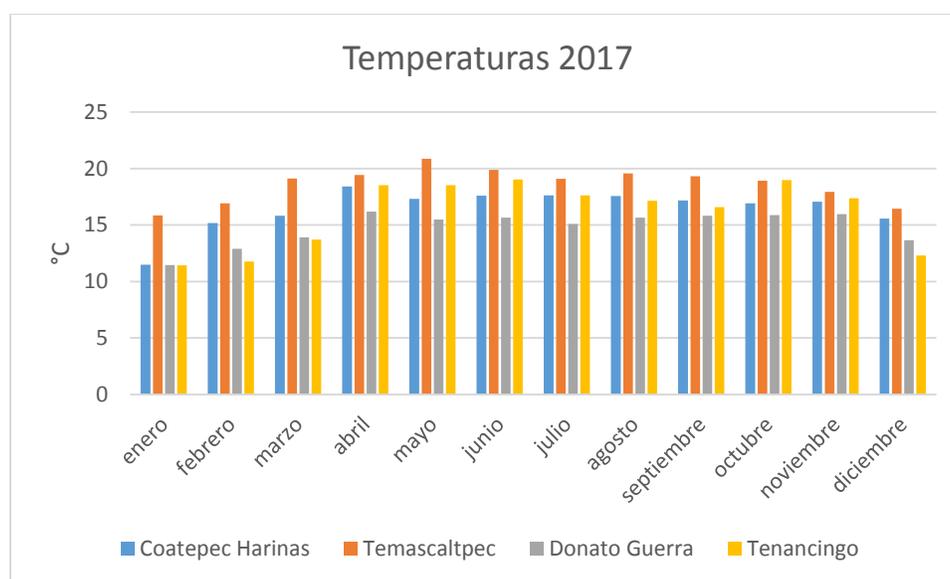


Figura 15. Temperaturas promedio mensuales en 2017 de las cuatro localidades de la zona de estudio.

El municipio de Temascaltepec fue el que presentó las temperaturas más altas para el año 2017 (figura 11) mientras que nuevamente el municipio de Donato Guerra presentó 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 rondaron los 10°C.

Los datos de precipitación son muy importantes para poder relacionar la fluctuación poblacional de trips en las huertas así como la etapa fenológica del árbol, las

fluctuaciones más altas coinciden con la época de floración sin embargo no coinciden con las temperaturas más altas ni con las precipitaciones con mayor valor.

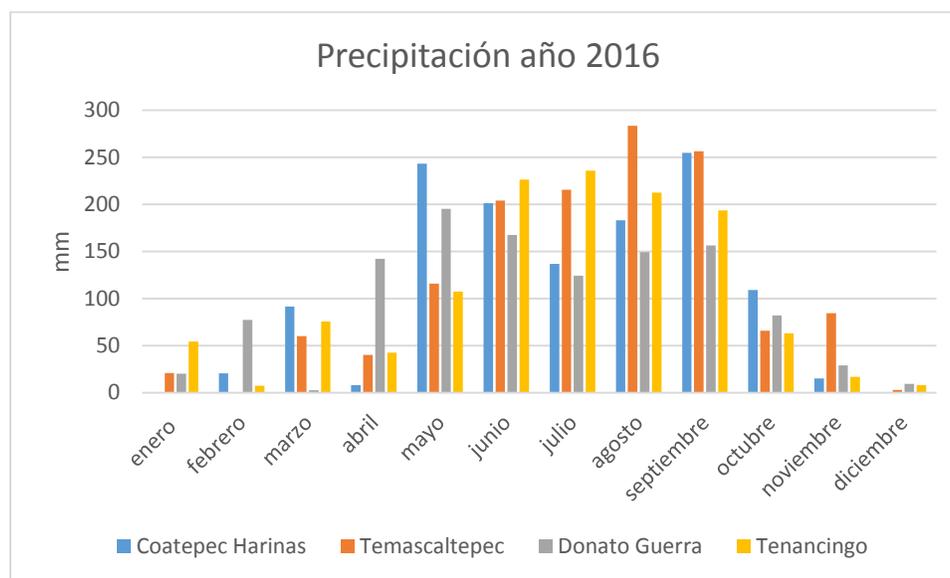


Figura 16. Precipitaciones promedio mensuales en 2016 de las cuatro localidades de la zona de estudio.

El municipio de Temascaltepec 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, esto contradice las fluctuaciones poblacionales de trips ya que Donato Guerra aunque presento la menor precipitación también presento las fluctuaciones mayores, y Temascaltepec presento las mayores precipitaciones con las fluctuaciones más bajas, las fluctuaciones menores pueden ser debido a que la lluvia disminuye las poblaciones de trips. Coatepec y Tenancingo presentaron precipitaciones similares esto debido a que se encuentran en altitudes muy parecidas y se encuentran geográficamente muy cerca.

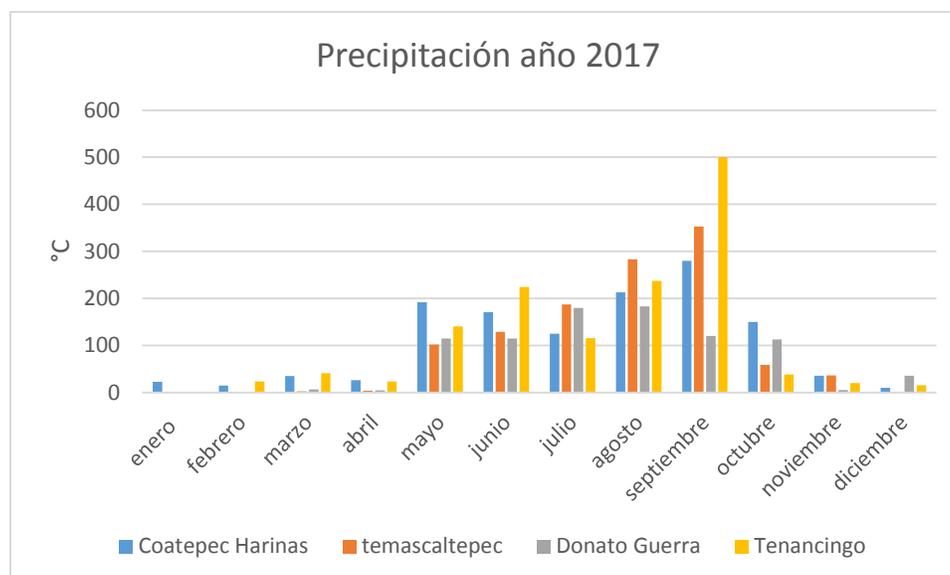


Figura 17. Precipitaciones promedio mensuales en 2017 de las cuatro localidades de la zona de estudio.

En el año 2017 la localidad donde se presentaron las precipitaciones mayores fueron 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 mil mm anuales. Datos de precipitación van directamente relacionados con la presencia de trips ya que al existir mayor lluvia se presentan menor cantidad de trips, esto influye en la fluctuación poblacional de este insecto plaga así como en los daños que pueda causar al aguacate.

En lo que se refiere al análisis geoestadístico se registró presencia de trips en los cuatros municipios muestreados, en los 24 muestreos para el año 2016 se reportó presencia del insecto plaga, en lo que refiere al municipio de Donato Guerra las densidades mayores se obtuvieron en el segundo muestreo del mes de febrero (tabla 1), contrario a esto en el segundo muestreo del mes de noviembre se registró la menor incidencia de este insecto plaga con una fluctuación poblacional media de 2.11 trips por árbol. Todos los muestreos se ajustaron al modelo esférico con excepción del segundo muestreo del mes de julio el cual se ajustó al modelo gaussiano. En lo que refiere a los rangos que se obtuvieron todos sobrepasaron los 25 metros llegando hasta los 57.03 metros, los rangos más pequeños coincidieron

con las fluctuaciones poblacionales más pequeñas, y los rangos con mayor valor fueron en los meses con mayor fluctuación poblacional, el rango es un indicador muy importante ya que nos ayuda a determinar si las distancias de muestreo fueron adecuadas, obteniendo en el presente trabajo datos que sobrepasan la distancia de muestreo, esto quiere decir que la plaga se relaciona entre sí. En todos los muestreos el efecto pepita fue igual a cero lo que nos indica que el error de muestreo fue mínimo, por consiguiente el nivel de dependencia espacial fue alto para los 24 muestreos realizados.

Tabla 7. Parámetros (Efecto Pepita, Meseta y Rango) de los modelos ajustados a los semivariogramas de trips en Donato Guerra 2016.

Mes	Modelo	Media Muestra	Rango	Meseta	Pepita	Nivel de Dependencia Espacial
Enero 1	Esférico	4.57	45.6	17.06	0	Alto
Enero 2	Esférico	6.26	43.1	25.7	0	Alto
Febrero 1	Esférico	15	44.39	139.5	0	Alto
Febrero 2	Esférico	34.28	39.86	649.2	0	Alto
Marzo 1	Esférico	46.7	38.62	728.87	0	Alto
Marzo 2	Esférico	27.94	43.22	311.57	0	Alto
Abril 1	Esférico	5.44	45.32	17.4	0	Alto
Abril 2	Esférico	6.41	45.62	18.67	0	Alto
Mayo 1	Esférico	4.89	41.80	10.75	0	Alto
Mayo 2	Esférico	4.16	49.4	10.6	0	Alto
Junio 1	Esférico	3.49	44.12	9.41	0	Alto
Junio 2	Esférico	2.15	57.03	4.16	0	Alto
Julio 1	Esférico	6.39	53.47	27.77	0	Alto
Julio 2	Gaussiano	10.15	25.19	114.05	0	Alto
Agosto 1	Esférico	14.33	54	108.57	0	Alto
Agosto 2	Esférico	11.18	52.2	85.44	0	Alto
Septiembre 1	Esférico	5.72	55.8	19.48	0	Alto
Septiembre 2	Esférico	4.71	58.9	11.92	0	Alto
Octubre 1	Esférico	3.83	47.5	8.16	0	Alto
Octubre 2	Esférico	4.54	55.1	9.31	0	Alto

Noviembre 1	Esférico	4.83	57	10.52	0	Alto
Noviembre 2	Esférico	2.11	41.8	3.18	0	Alto
Diciembre 1	Esférico	5.19	54.4	11.39	0	Alto
Diciembre 2	Esférico	7.76	45	11.58	0	Alto

Para cada muestreo se realizó la validación cruzada (tabla 2) la cual nos arrojó datos de media de los errores de estimación (MEE), error cuadrático medio (ECM) y error cuadrático medio adimensional (ECMA), la media de los errores de estimación fue no significativa en todos los casos y ligeramente mayor a 0, el ECM fue mayor a 0 para todos los casos pero menor a 1 igual en todos los muestreos, contrario el ECMA el cual fue mayor a 1 en todos los casos. Se presentan también los semivariogramas ajustados a los modelos teóricos para cada fecha de muestreo (figuras 14 y 15)

Tabla 8. Valores de los estadísticos de la validación cruzada de los semivariogramas obtenidos en los muestreos en el municipio de Donato Guerra 2016.

Mes	Muestreo	Media Muestral	Varianza Muestral	MEE	Varianza de los Errores	ECM	ECMA
Enero	1	4.57	18.28	0.14 ^{ns}	11.65	0.13	1.11
Enero	2	6.26	28.91	0.11 ^{ns}	19.03	0.10	1.10
Febrero	1	15	145.62	0.10 ^{ns}	101.29	0.11	1.13
Febrero	2	34.28	668.43	0.09 ^{ns}	388.07	0.08	1.09
Marzo	1	46.7	749.54	0.13 ^{ns}	451.04	0.11	1.06
Marzo	2	27.94	410.85	0.10 ^{ns}	214.98	0.13	1.12
Abril	1	5.44	19.98	0.12 ^{ns}	10.52	0.14	1.10
Abril	2	6.41	21.9	0.07 ^{ns}	16.77	0.07	1.08
Mayo	1	4.89	24.78	0.11 ^{ns}	20.53	0.09	1.11
Mayo	2	4.16	10.99	0.08 ^{ns}	8.13	0.06	1.13
Junio	1	3.49	9.69	0.10 ^{ns}	7.48	0.11	1.11
Junio	2	2.15	4.48	0.12 ^{ns}	2.71	0.12	1.09
Julio	1	6.39	23.77	0.09 ^{ns}	18.51	0.10	1.06
Julio	2	10.15	278.51	0.14 ^{ns}	176.31	0.13	1.08

Agosto	1	14.33	130.9	0.10 ^{ns}	111.90	0.08	1.14
Agosto	2	11.18	109.14	0.13 ^{ns}	96.42	0.14	1.10
Septiembre	1	5.72	22.76	0.08 ^{ns}	15.06	0.11	1.12
Septiembre	2	4.71	12.31	0.07 ^{ns}	9.59	0.12	1.06
Octubre	1	3.83	8.55	0.11 ^{ns}	6.22	0.08	1.13
Octubre	2	4.54	10.26	0.14 ^{ns}	7.05	0.13	1.11
Noviembre	1	4.83	11.61	0.12 ^{ns}	8.59	0.07	1.14
Noviembre	2	2.11	3.72	0.09 ^{ns}	1.96	0.11	1.10
Diciembre	1	5.19	11.92	0.10 ^{ns}	8.37	0.06	1.08
Diciembre	2	7.76	2.32	0.08 ^{ns}	1.50	0.13	1.12

Figura 18. Semivariogramas correspondientes al primer semestre de 2016 en el municipio de Donato Guerra.

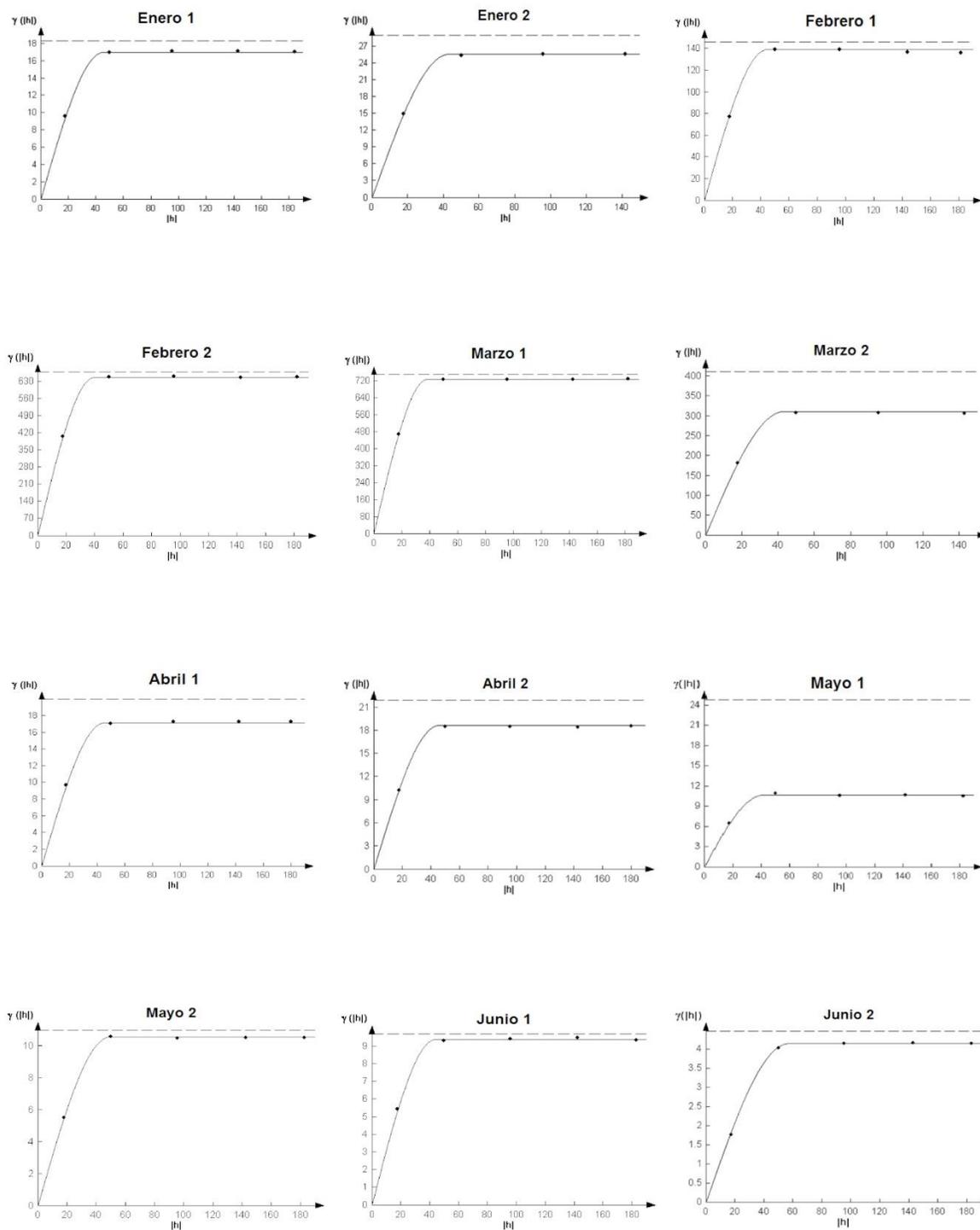
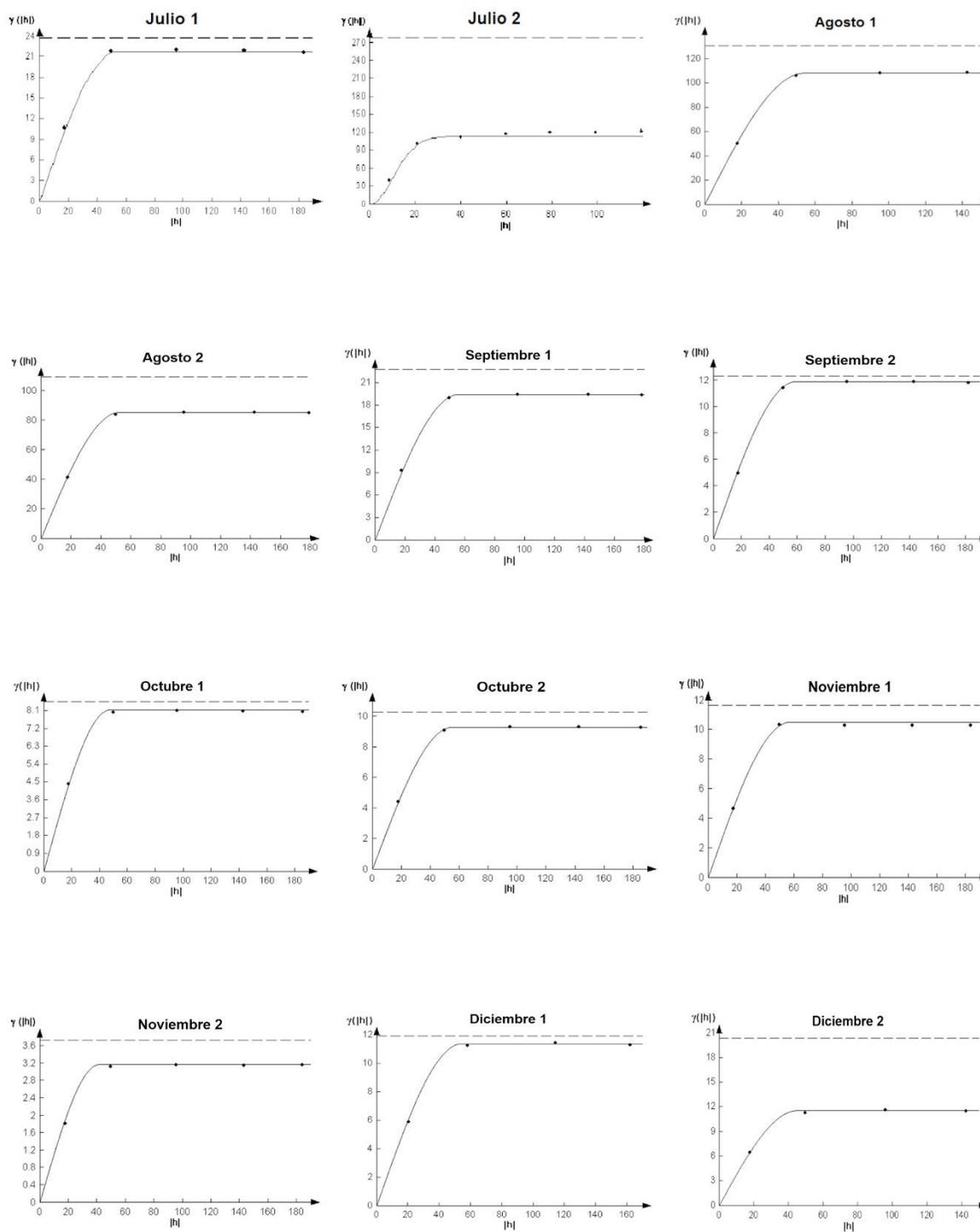


Figura 19. Semivariogramas correspondientes al segundo semestre de 2016 en el municipio de Donato Guerra.



Posterior a la elaboración de los mapas de infestación se realizó el cálculo de la superficie infestada de la zona de estudio (tabla 3), el porcentaje menor de infestación se presentó en el primer muestreo de julio con el 56% de infestación mientras que los meses de noviembre y diciembre presentaron un porcentaje de infestación cercano al 100%. Se debe tener cuidado al interpretar estos resultados ya que en los meses que se presentó la mayor superficie infestada también fueron los meses donde se presentaron las menores poblaciones de trips, esto nos quiere decir que podemos encontrar una superficie en su mayoría infestada pero no necesariamente se puede atacar al insecto plaga ya que las medias muestrales están por debajo del umbral económico permitido para dicho insecto.

Tabla 9. Superficie infestada y no infestada (%) obtenida en el muestro de trips en Donato Guerra para el año 2016.

Mes	Muestreo	% Infestado	%No Infestado
Enero	1	84	16
Enero	2	99	1
Febrero	1	81	19
Febrero	2	82	18
Marzo	1	93	7
Marzo	2	91	9
Abril	1	84	16
Abril	2	64	36
Mayo	1	94	6
Mayo	2	86	14
Junio	1	80	20
Junio	2	71	29
Julio	1	56	44
Julio	2	62	38
Agosto	1	77	23
Agosto	2	70	30
Septiembre	1	85	15
Septiembre	2	67	33
Octubre	1	65	35

Octubre	2	68	32
Noviembre	1	97	3
Noviembre	2	99	1
Diciembre	1	99	1
Diciembre	2	99	1

Como se mencionó el porcentaje de infestación se obtuvo a partir de los mapas que se elaboraron con la técnica del krigeado, en este caso el krigeado ordinario, a continuación se presentan los mapas de agregación de la plaga para el municipio de Donato Guerra en el primer año de muestreo (2016).

Los mapas que se elaboraron (figuras 16 y 17) a partir de los muestreos realizados nos muestran centros de agregación de la plaga así mismo podemos conocer y analizar de manera visual cómo se comporta este insecto plaga dentro de la zona de estudio. Estos mapas de agregación son de suma importancia en el manejo del cultivo así como en la elaboración de programas de manejo integral ya que conocemos de manera gráfica como se puede llegar a mover los trips dentro de cierta parcela y así poder realizar medidas de control dirigidas a zonas específicas de infestación y con esto reducir costos humanos, económicos y medio ambientales.

De manera general los trips se comportaron de cierta manera normal dentro de la zona de estudio en este caso Donato Guerra, encontrando mayores infestaciones cuando el cultivo se encontraba en floración, coincidiendo con trabajos anteriores donde las mayores densidades ocurren en estos meses, un factor importante es el monitoreo de lluvias ya que este puede influir mucho en la disminución de las poblaciones y al igual que en otras cosas en los meses donde se presentaron las mayores precipitaciones también se registró una disminución significativa de individuos por árbol, la temperatura también juega un papel muy importante dentro de la fluctuación poblacional de estos insectos plaga ya que ciertas temperaturas son óptimas para el desarrollo de los trips dentro de las parcelas de estudio. No olvidemos que el ciclo biológico de los trips no sobrepasa los 40 días dependiendo de las temperaturas, es por ello que es un problema latente y que se debe atender en todos los huertos comerciales de aguacate ya que llega a causar pérdidas de

hasta un 30% sobre el total de la producción, a esto se le suma que las heridas que causa al momento de alimentarse son puerta de entrada para ciertas enfermedades que merman aún más el rendimiento.

Figura 20. Mapas de infestación para el primer semestre de 2016 en el municipio de Donato Guerra.

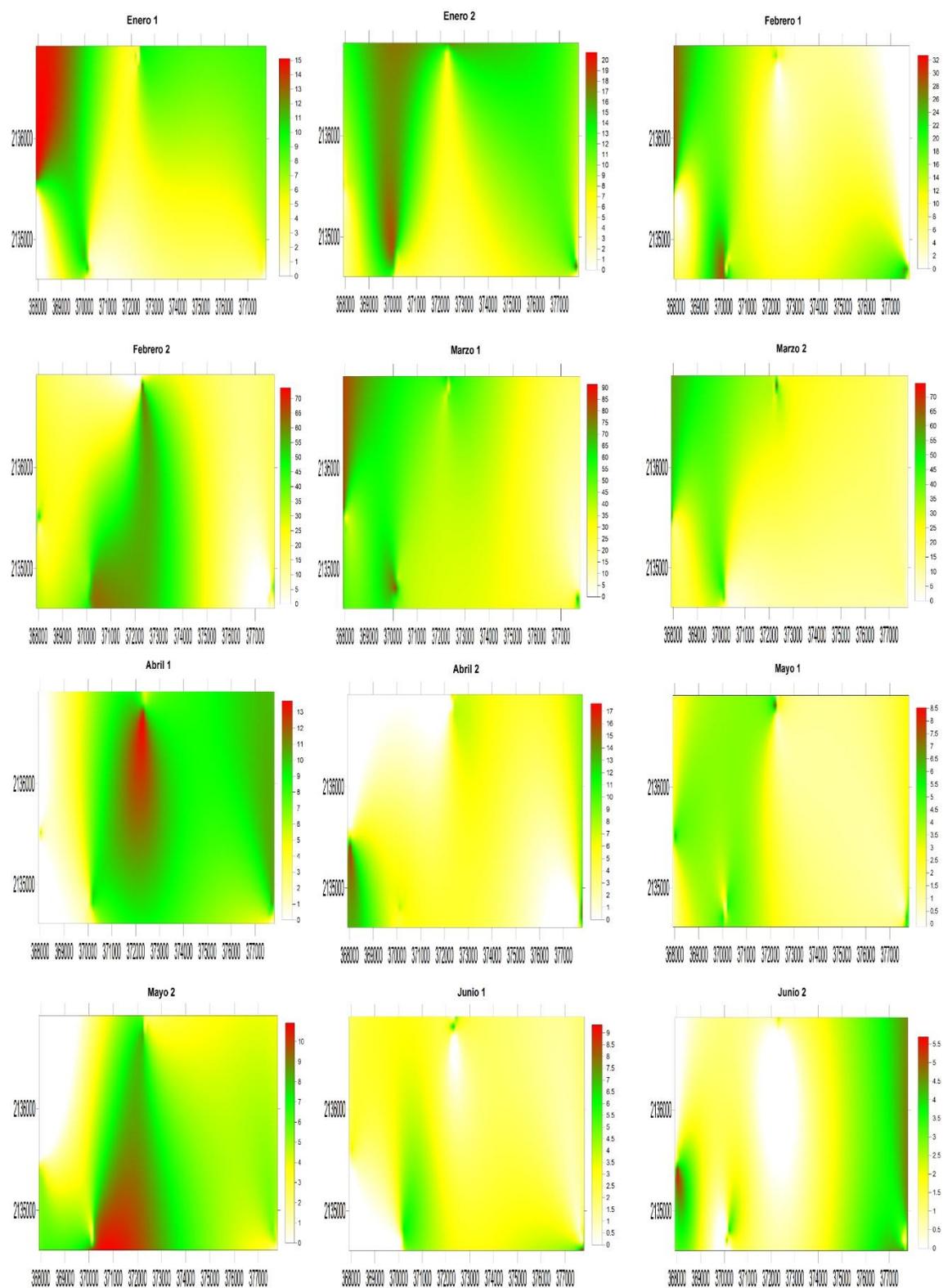
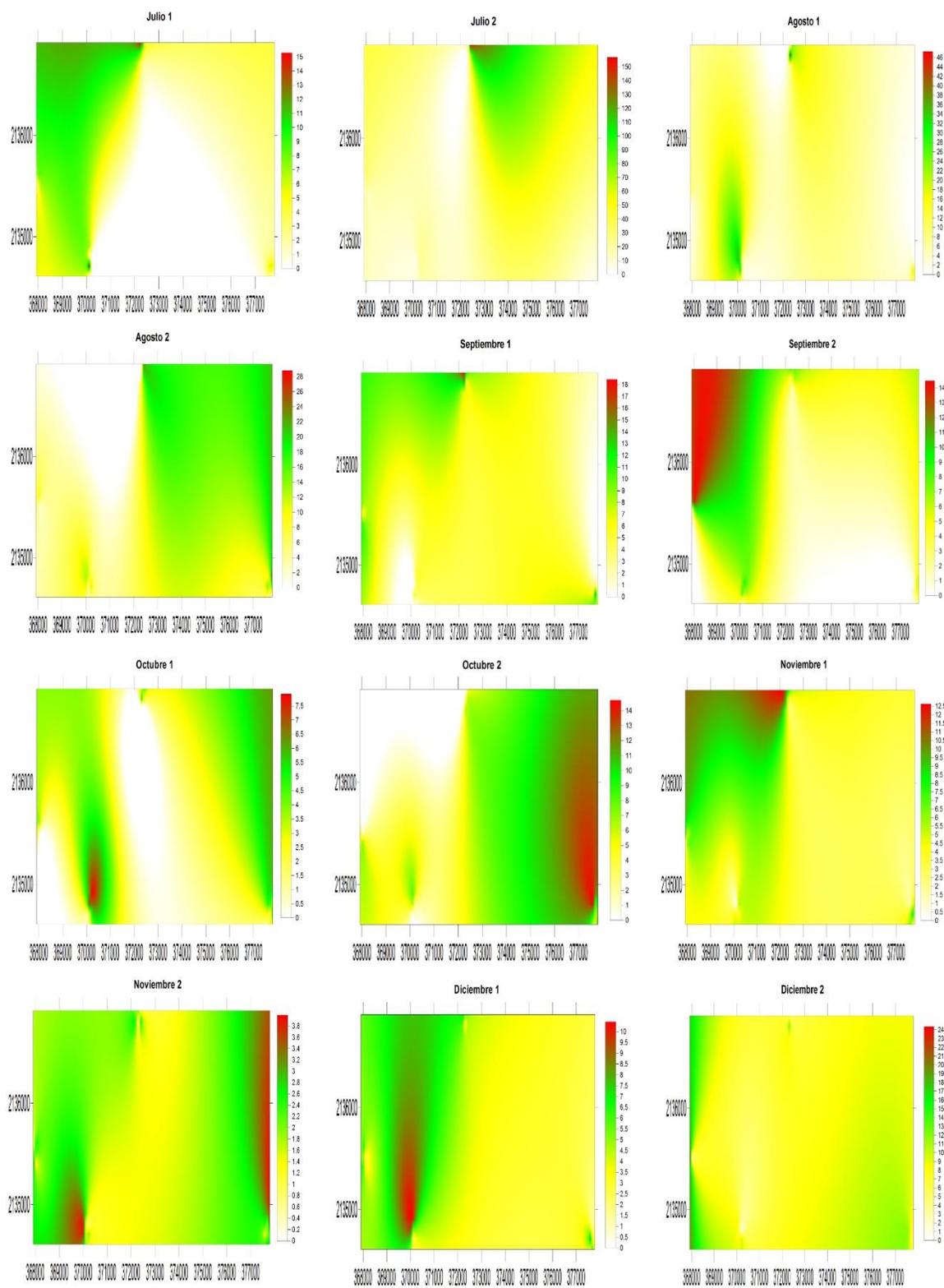


Figura 21. Mapas de infestación para el segundo semestre de 2016 en el municipio de Donato Guerra.



Otro de los municipios seleccionados para la realización del presente trabajo fue Coatepec Harinas, dicho municipio es el principal productor de aguacate del Estado de México y en el cual existen huertos los cuales toda su producción se exporta a diferentes países de Europa y Estados Unidos, el análisis geoestadístico para el año 2016 (tabla 4) arrojó los siguientes resultados: todos los muestreos se ajustaron a modelos esféricos excepto el segundo muestreo del mes de febrero el cual se ajustó al modelo exponencial al igual que el segundo muestreo del mes de diciembre, las medias muestrales se ubicaron entre poco más de 2 trips por árbol hasta los 17 trips, Coatepec Harinas fue el municipio donde se presentaron las menores densidades de trips de los cuatro municipios. Los rangos al igual que Donato Guerra fueron variables entre poco más de 25 hasta los 65 metros, dichos rangos son adecuados para la distancia que existió entre los muestreos ya que existe relación espacial entre la plaga y su movilidad, el efecto pepita fue cero para todos los casos confirmando que el error de muestreo fue mínimo, ya que el efecto pepita fue cero el nivel de dependencia espacial fue alto para todos los casos.

Tabla 10. Parámetros (Efecto Pepita, Meseta y Rango) de los modelos ajustados a los semivariogramas de trips en Coatepec Harinas 2016.

Mes	Modelo	Media Muestral	Rango	Meseta	Pepita	Nivel de Dependencia Espacial
Enero 1	Esférico	3.4	59.13	10.19	0	Alto
Enero 2	Esférico	4.73	52.5	21.16	0	Alto
Febrero 1	Esférico	8.2	48.51	40.33	0	Alto
Febrero 2	Exponencial	10.19	65.77	86.29	0	Alto
Marzo 1	Esférico	16.75	35.48	116.37	0	Alto
Marzo 2	Esférico	17.13	49.08	231.34	0	Alto
Abril 1	Esférico	2.77	54	2.04	0	Alto
Abril 2	Esférico	6.68	37.65	23.77	0	Alto
Mayo 1	Esférico	4.07	41.3	2.59	0	Alto
Mayo 2	Esférico	5.59	31.79	24.36	0	Alto
Junio 1	Esférico	10.35	35.05	119.2	0	Alto
Junio 2	Esférico	6.61	36.22	27.11	0	Alto

Julio 1	Esférico	14.84	33.62	140.47	0	Alto
Julio 2	Esférico	6.71	39.57	63.49	0	Alto
Agosto 1	Esférico	10.06	28.73	84	0	Alto
Agosto 2	Esférico	11.02	43.72	270	0	Alto
Septiembre 1	Esférico	6.13	38.41	24.02	0	Alto
Septiembre 2	Esférico	4.89	40	16.79	0	Alto
Octubre 1	Esférico	5.04	42.5	17.42	0	Alto
Octubre 2	Esférico	4	45	10.53	0	Alto
Noviembre 1	Esférico	3.63	41.125	9.52	0	Alto
Noviembre 2	Esférico	2.1	45.91	4.39	0	Alto
Diciembre 1	Esférico	3.97	36.36	9.03	0	Alto
Diciembre 2	Exponencial	4.17	61.36	11.24	0	Alto

Se realizó el método de validación cruzada (tabla 5) la cual nos confirma que los semivariogramas son correctos y en la cual se calculó la varianza muestral, la media de los errores, la varianza de los errores, el error cuadrático medio y el error cuadrático medio adimensional. La media de los errores fue no significativa en todos los casos mientras que el error cuadrático medio fue ligeramente mayor a cero y el error cuadrático medio adimensional ligeramente mayor a uno en todos los casos lo que confirma en los 24 muestreos que los datos arrojados por los semivariogramas son correctos. Los semivariogramas obtenidos se muestran en las siguientes figuras (figuras 18 y 19).

Tabla 11. Valores de los estadísticos de la validación cruzada de los semivariogramas obtenidos en los muestreos en el municipio de Coatepec Harinas 2016.

Mes	Muestreo	Media Muestral	Varianza Muestral	MEE	Varianza de los Errores	ECM	ECMA
Enero	1	3.4	10.9	0.13ns	7.40	0.11	1.14
Enero	2	4.73	22.4	0.10ns	16.23	0.09	1.09
Febrero	1	8.2	45.52	0.08ns	29.65	0.07	1.04
Febrero	2	10.19	87.56	0.14ns	72.10	0.10	1.11
Marzo	1	16.75	231.99	0.11ns	198.02	0.12	1.13

Marzo	2	17.13	253.25	0.06s	204.15	0.14	1.08
Abril	1	2.77	2.21	0.09ns	1.89	0.11	1.10
Abril	2	6.68	25.51	0.11ns	17.33	0.15	1.06
Mayo	1	4.07	3.59	0.12ns	2.05	0.10	1.05
Mayo	2	5.59	26.47	0.10ns	20.41	0.13	1.11
Junio	1	10.35	138.56	0.07ns	113.27	0.11	1.09
Junio	2	6.61	29.67	0.13ns	20.73	0.06	1.13
Julio	1	14.84	156.54	0.09ns	122.74	0.09	1.11
Julio	2	6.71	70.57	0.11ns	56.29	0.11	1.07
Agosto	1	10.06	234.86	0.14ns	195.38	0.14	1.12
Agosto	2	11.02	354.35	0.10ns	286.21	0.08	1.10
Septiembre	1	6.13	27.28	0.06ns	19.69	0.05	1.06
Septiembre	2	4.89	18.44	0.11ns	11.26	0.10	1.14
Octubre	1	5.04	17.40	0.13ns	13.46	0.06	1.12
Octubre	2	4	12.78	0.09ns	10.61	0.13	1.10
Noviembre	1	3.63	9.84	0.11ns	6.31	0.10	1.08
Noviembre	2	2.1	4.56	0.10ns	3.09	0.07	1.15
Diciembre	1	3.97	12.8	0.12ns	9.59	0.11	1.04
Diciembre	2	4.17	11.21	0.08ns	8.25	0.12	1.11

Figura 22. Semivariogramas correspondientes al primer semestre de 2016 en el municipio de Coatepec Harinas.

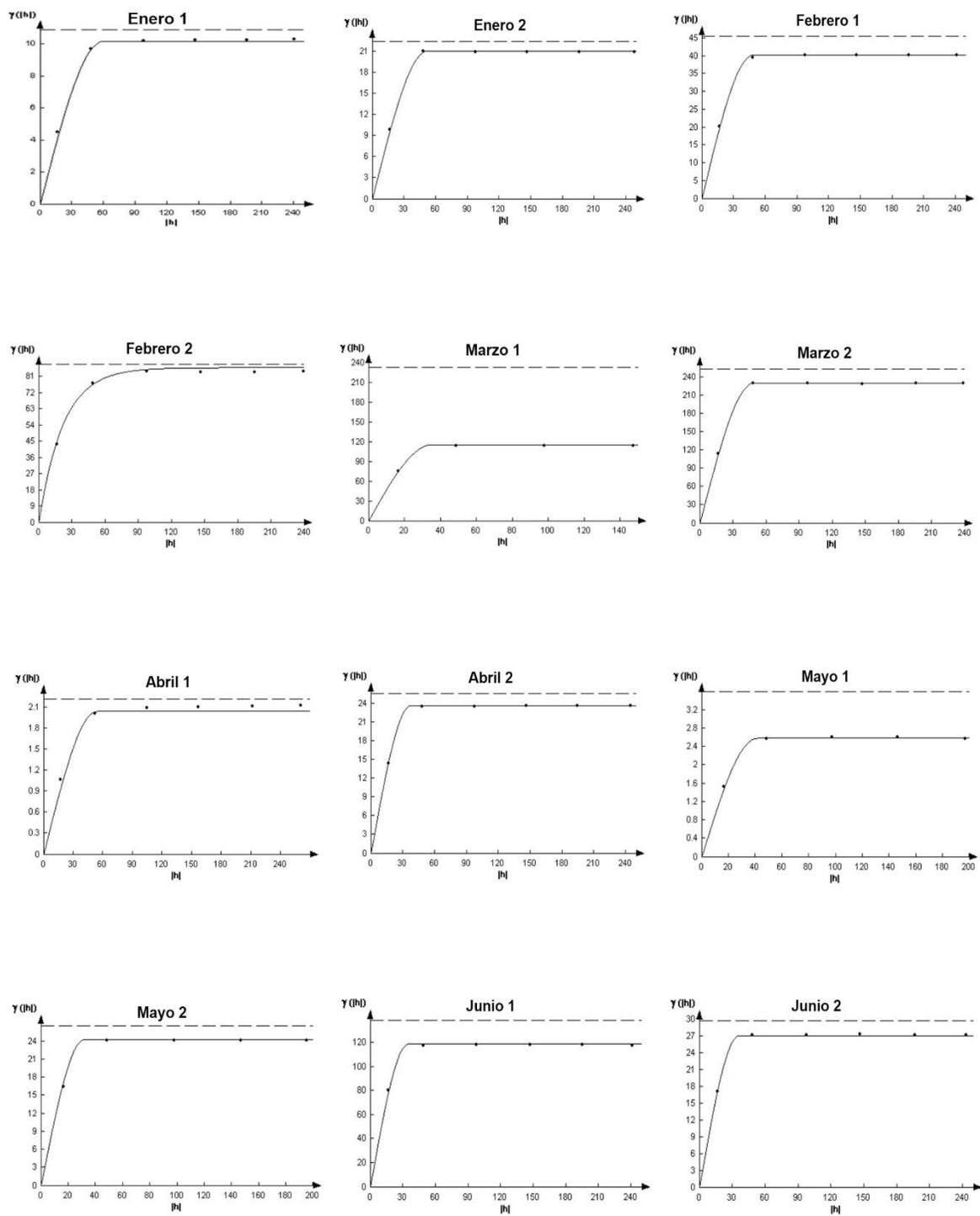
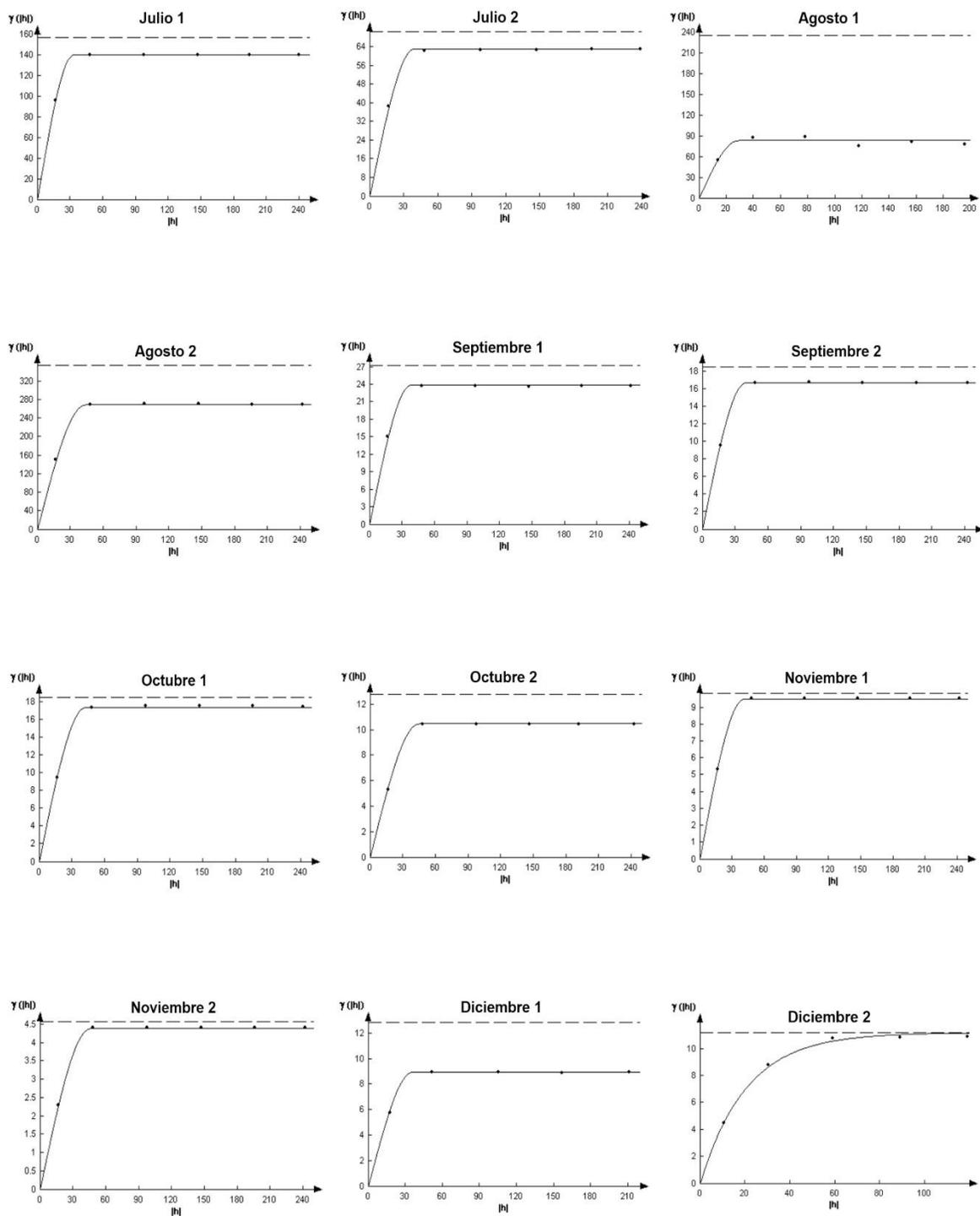


Figura 23. Semivariogramas correspondientes al segundo semestre de 2016 en el municipio de Coatepec Harinas.



El porcentaje de infestación se calculó con los mapas que se elaboraron con la técnica del krigeado, en el municipio de Coatepec Harinas la infestación con menor impacto fue en el mes de marzo con 46% de infestación, aunque el mismo mes fue donde se encontraron las densidades más altas de trips, podemos inferir que los trips formaron centros de agregación y no se extendieron por toda el área de estudio. El segundo muestreo de junio fue el de mayor infestación con 99% pero el de las densidades más bajas, al no tener condiciones adecuadas los trips buscan alimento y mejores condiciones para su reproducción, es por ello que pueden infestar más espacio pero con menores poblaciones, incluso con poblaciones que no sobrepasan el umbral económico recomendado para este tipo de plagas.

Tabla 12. Superficie infestada y no infestada (%) obtenida en el muestro de trips en Coatepec Harinas para el año 2016.

Mes	Muestreo	% Infestado	%No Infestado
Enero	1	97	3
Enero	2	78	22
Febrero	1	76	24
Febrero	2	70	30
Marzo	1	46	54
Marzo	2	85	15
Abril	1	80	20
Abril	2	89	11
Mayo	1	78	22
Mayo	2	75	25
Junio	1	82	18
Junio	2	99	1
Julio	1	78	12
Julio	2	38	62
Agosto	1	81	19
Agosto	2	87	13
Septiembre	1	72	28
Septiembre	2	70	30

Octubre	1	90	10
Octubre	2	89	11
Noviembre	1	99	1
Noviembre	2	86	14
Diciembre	1	80	20
Diciembre	2	68	32

A continuación se muestran los 24 mapas (figuras 20 y 21) de infestación que se calcularon para el municipio de Coatepec Harinas, podemos observar como la plaga se distribuye en toda la zona de estudio, y en algunos casos forma claros centros de agregación que servirán al productor para establecer medidas dirigidas a las zonas con mayor presencia de trips, acciones de control biológico, control químico, control cultural estas son algunas de las alternativas que tienen los productores para contrarrestar la presencia de estos insectos plaga.

Figura 24. Mapas de infestación para el primer semestre de 2016 en el municipio de Coatepec Harinas.

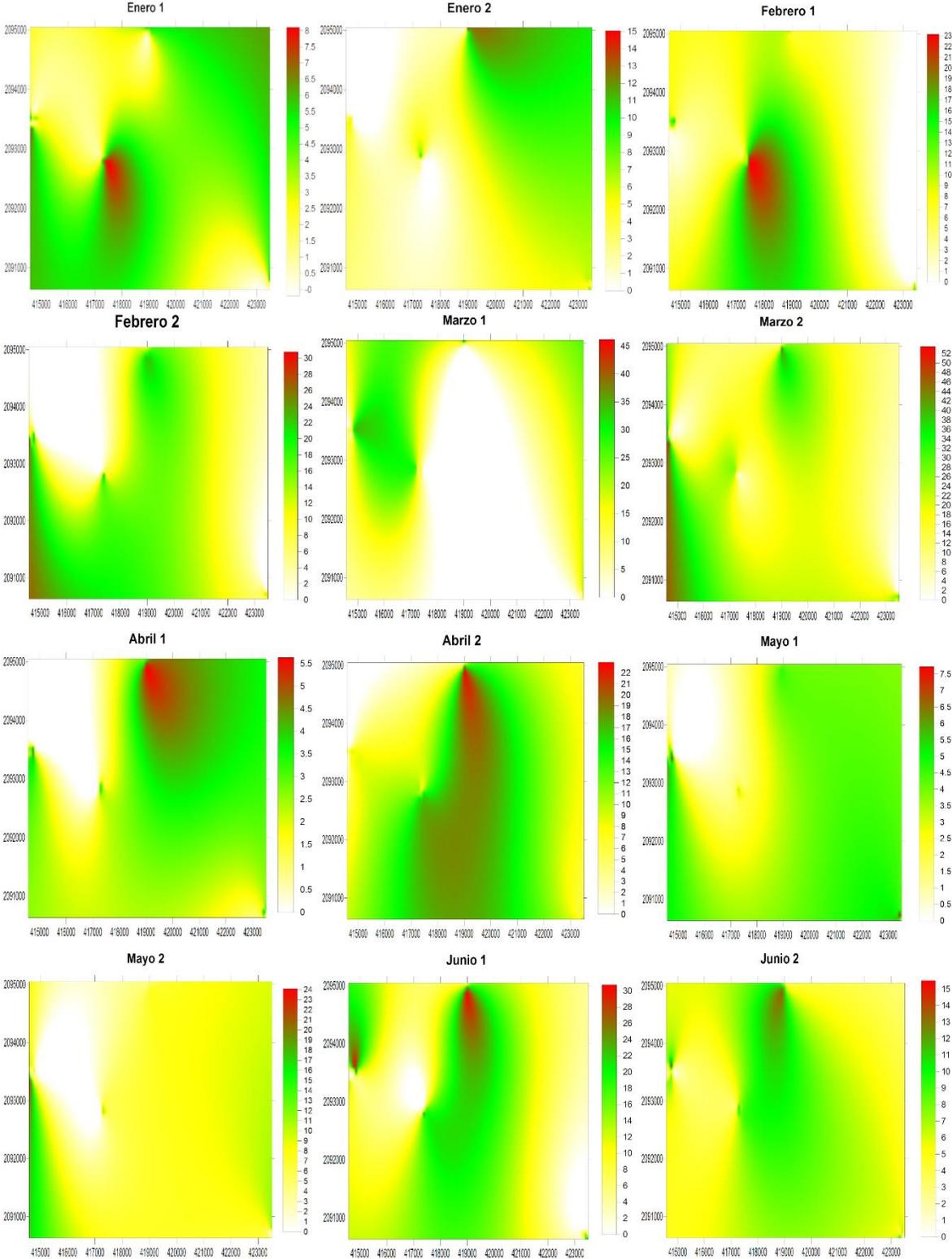
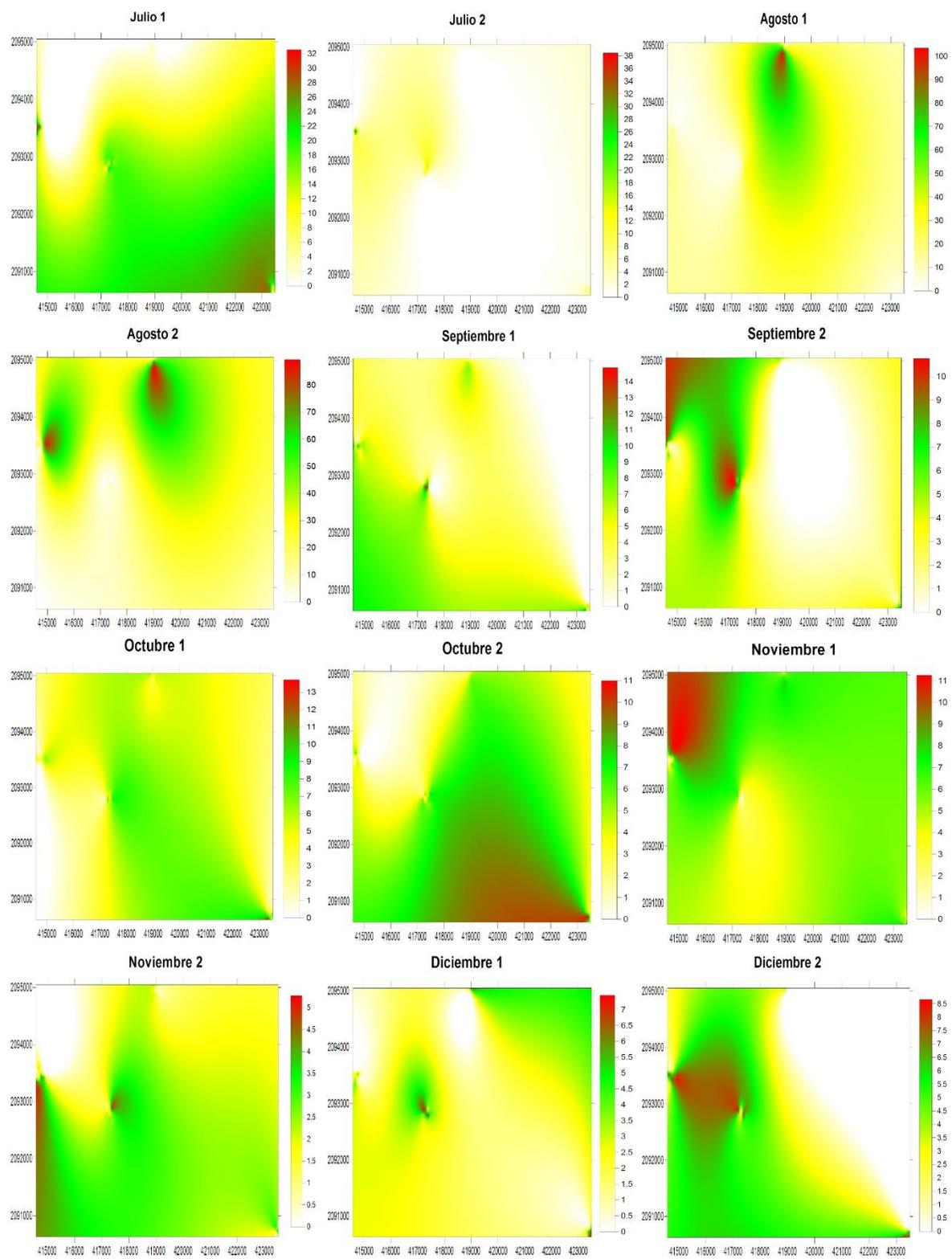


Figura 25. Mapas de infestación para el segundo semestre de 2016 en el municipio de Coatepec Harinas.



Otra de las zonas con mayor crecimiento en la producción de aguacate es el municipio de Temascaltepec que junto con Coatepec Harinas son los principales productores de aguacate en el Estado de México, en los 24 muestreos los semivariogramas se ajustaron a modelos esféricos, las medias muestrales por árbol fueron de las más bajas de todos los muestreos en los demás municipios. El segundo muestreo del mes de marzo fue donde se presentaron las mayores densidades de trips superando los 32.22 trips por árbol, contrario a esto el primer muestreo del mes de noviembre presento los niveles más bajos con 2.37 trips por árbol, los rango se ajustaron alrededor de 50 metros lo que indica que la plaga tiene relación a más menos 50 metros de distancia. El efecto pepita fue igual a cero en todos los casos, y por ende un nivel dependencia espacial alto para todos los muestreos.

Tabla 13. Parámetros (Efecto Pepita, Meseta y Rango) de los modelos ajustados a los semivariogramas de trips en Temascaltepec 2016.

Mes	Modelo	Media Muestral	Rango	Meseta	Pepita	Nivel de Dependencia Espacial
Enero 1	Esférico	5.68	18.67	14.94	0	Alto
Enero 2	Esférico	6.79	45.01	15.42	0	Alto
Febrero 1	Esférico	8	47.15	30.98	0	Alto
Febrero 2	Esférico	18.55	48.43	147.2	0	Alto
Marzo 1	Esférico	24.65	49.2	208.45	0	Alto
Marzo 2	Esférico	32.22	47.5	397.97	0	Alto
Abril 1	Esférico	7.28	50.33	16.66	0	Alto
Abril 2	Esférico	6.96	46.16	18.39	0	Alto
Mayo 1	Esférico	6.2	50.79	16.84	0	Alto
Mayo 2	Esférico	7.2	50.79	18.57	0	Alto
Junio 1	Esférico	9.9	46.76	29.55	0	Alto
Junio 2	Esférico	4.99	46.39	8.37	0	Alto
Julio 1	Esférico	9.95	46.53	33.49	0	Alto
Julio 2	Esférico	6.74	51.42	14.72	0	Alto
Agosto 1	Esférico	9.62	48.43	36.65	0	Alto

Agosto 2	Esférico	6.91	46.99	17.16	0	Alto
Septiembre 1	Esférico	9.7	48.89	37.53	0	Alto
Septiembre 2	Esférico	7.08	57.79	23.4	0	Alto
Octubre 1	Esférico	4.94	36.13	6.1	0	Alto
Octubre 2	Esférico	6.07	37.18	12.83	0	Alto
Noviembre 1	Esférico	2.37	18.61	2.62	0	Alto
Noviembre 2	Esférico	4.8	35.22	9.55	0	Alto
Diciembre 1	Esférico	2.41	26.35	2.8	0	Alto
Diciembre 2	Esférico	2.77	22.28	4.11	0	Alto

La validación cruzada nos da la certidumbre que los datos son correctos y que los semivariogramas son confiables es por ello que se aplicó dicha prueba a todos los muestreos realizados, en el caso del municipio de Temascaltepec en el cálculo de la media de los errores de estimación fue no significativo 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. La representación gráfica de los modelos a los que se ajustaron los semivariogramas se muestran en las figuras 22 y 23 en las cuales podemos observar gráficamente el efecto pepita, rango y la meseta.

Tabla 14. Valores de los estadísticos de la validación cruzada de los semivariogramas obtenidos en los muestreos en el municipio de Temascaltepec 2016.

Mes	Muestreo	Media Muestral	Varianza Muestral	MEE	Varianza de los Errores	ECM	ECMA
Enero	1	5.68	16.76	0.09ns	12.76	0.12	1.12
Enero	2	6.79	17.22	0.12ns	12.09	0.09	1.08
Febrero	1	8	35.54	0.10ns	29.66	0.10	1.11
1.Febrero	2	18.55	162.49	0.06ns	141.04	0.06	1.06
Marzo	1	24.65	228.22	0.09ns	196.52	0.11	1.12
Marzo	2	32.22	418.92	0.11ns	308.17	0.14	1.09
Abril	1	7.28	18.06	0.13ns	13.28	0.10	1.05
Abril	2	6.96	21.24	0.07ns	16.47	0.11	1.11

Mayo	1	6.2	17.98	0.11ns	12.90	0.15	1.12
Mayo	2	7.2	19.44	0.12ns	11.36	0.07	1.06
Junio	1	9.9	34.85	0.08ns	27.51	0.05	1.10
Junio	2	4.99	9.91	0.06ns	7.42	0.11	1.14
Julio	1	9.95	38.32	0.11ns	29.52	0.04	1.05
Julio	2	6.74	16.5	0.13ns	11.97	0.12	1.09
Agosto	1	9.62	37.91	0.14ns	28.51	0.07	1.11
Agosto	2	6.91	20.48	0.07ns	15.29	0.13	1.13
Septiembre	1	9.7	39.47	0.06ns	30.27	0.15	1.10
Septiembre	2	7.08	25.09	0.12ns	21.56	0.10	1.07
Octubre	1	4.94	9.35	0.09ns	7.11	0.09	1.11
Octubre	2	6.07	13.13	0.11ns	11.73	0.06	1.13
Noviembre	1	2.37	2.76	0.10ns	1.31	0.11	1.10
Noviembre	2	4.8	10.24	0.06ns	8.46	0.13	1.12
Diciembre	1	2.41	2.89	0.12ns	1.36	0.07	1.06
Diciembre	2	2.77	4.21	0.10ns	3.07	0.10	1.13

Figura 26. Semivariogramas correspondientes al primer semestre de 2016 en el municipio de Temascaltepec.

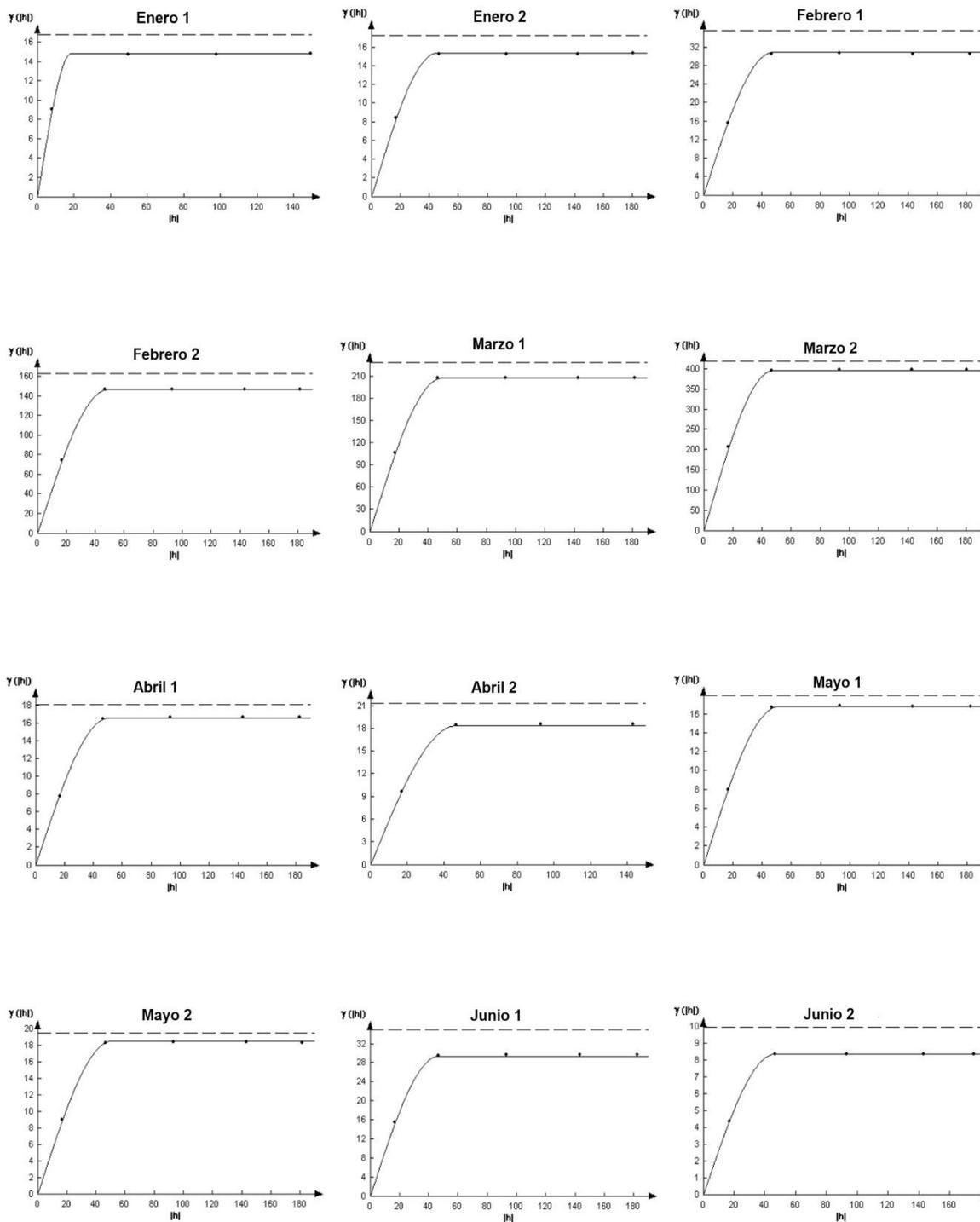
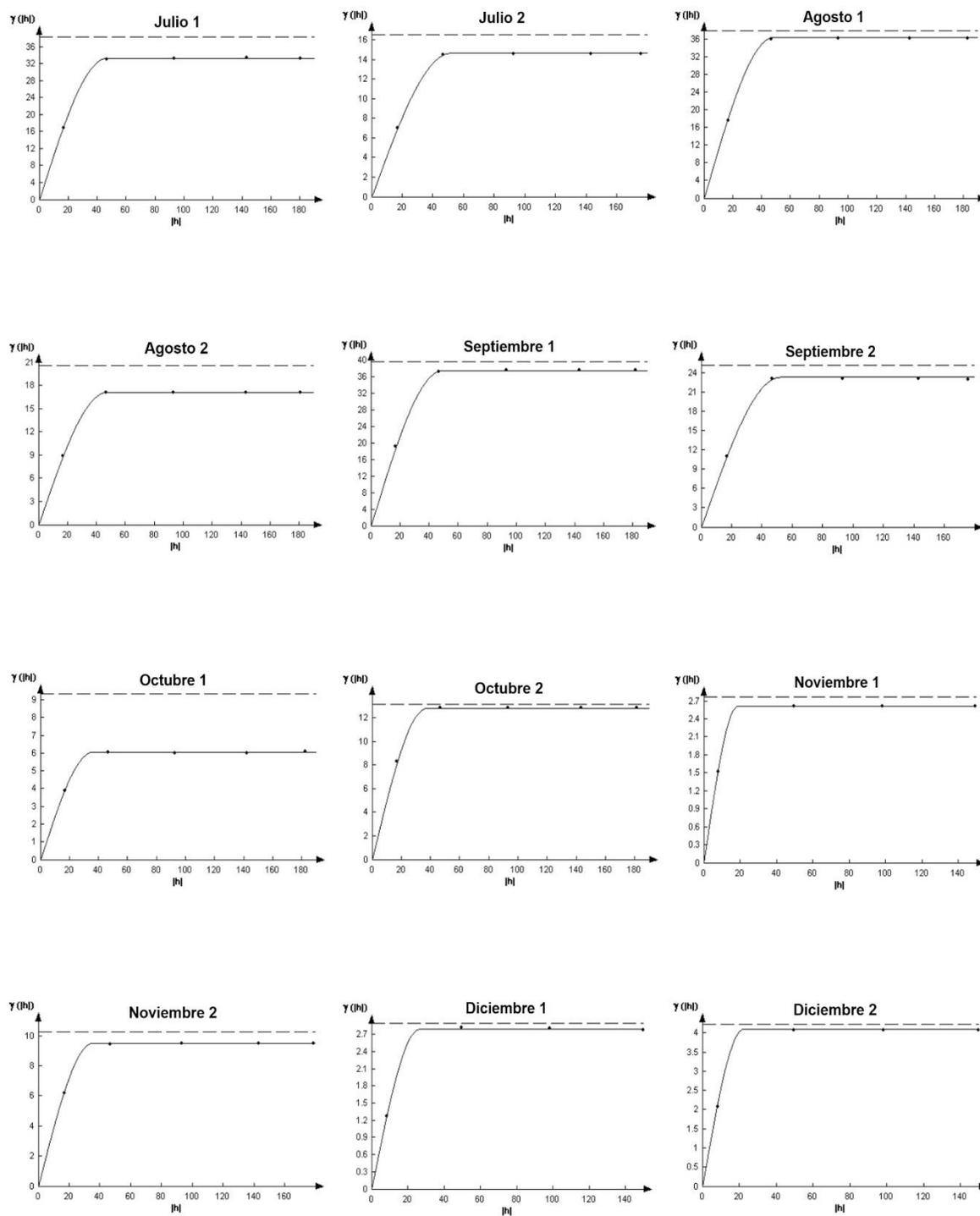


Figura 27. Semivariogramas correspondientes al segundo semestre de 2016 en el municipio de Temascaltepec.



En este municipio fue donde se encontraron las mayores infestaciones de trips principalmente de febrero a abril, puede deberse a la baja fluctuación poblacional y que la plaga busca comida y supervivencia en otras partes de la huerta y no le deja formar centros de agregación. Cabe señalar que la superficie infestada es muy diferente a la fluctuación poblacional de los trips, podemos encontrar una superficie muy infestada pero con poca incidencia de plagas.

Tabla 15. Superficie infestada y no infestada (%) obtenida en el muestro de trips en Temascaltepec para el año 2016.

Mes	Muestreo	% Infestado	%No Infestado
Enero	1	84	16
Enero	2	75	25
Febrero	1	79	21
Febrero	2	100	0
Marzo	1	100	0
Marzo	2	100	0
Abril	1	100	0
Abril	2	100	0
Mayo	1	58	42
Mayo	2	86	14
Junio	1	76	24
Junio	2	87	13
Julio	1	90	10
Julio	2	76	24
Agosto	1	100	0
Agosto	2	89	11
Septiembre	1	95	5
Septiembre	2	61	39
Octubre	1	91	9
Octubre	2	83	17
Noviembre	1	88	12
Noviembre	2	77	23
Diciembre	1	99	1

Diciembre	2	100	0
-----------	---	-----	---

Los mapas obtenidos para el municipio de Temascaltepec en el año 2016 se muestran en las figuras 24 y 25 en los cuales podemos observar cómo se comportó la plaga a lo largo de todo el año de muestreos, su movilidad espacial fue similar en la mayoría de los casos, con esto podemos inferir que los trips pueden establecer nichos ecológicos en los cuales no necesitan tener mucha movilidad para sobrevivir, en meses donde no existe floración emigran a la maleza aledaña o a otros árboles cercanos es por eso que no llegan a infestar toda la parcela.

Figura 28. Mapas de infestación para el primer semestre de 2016 en el municipio de Temascaltepec.

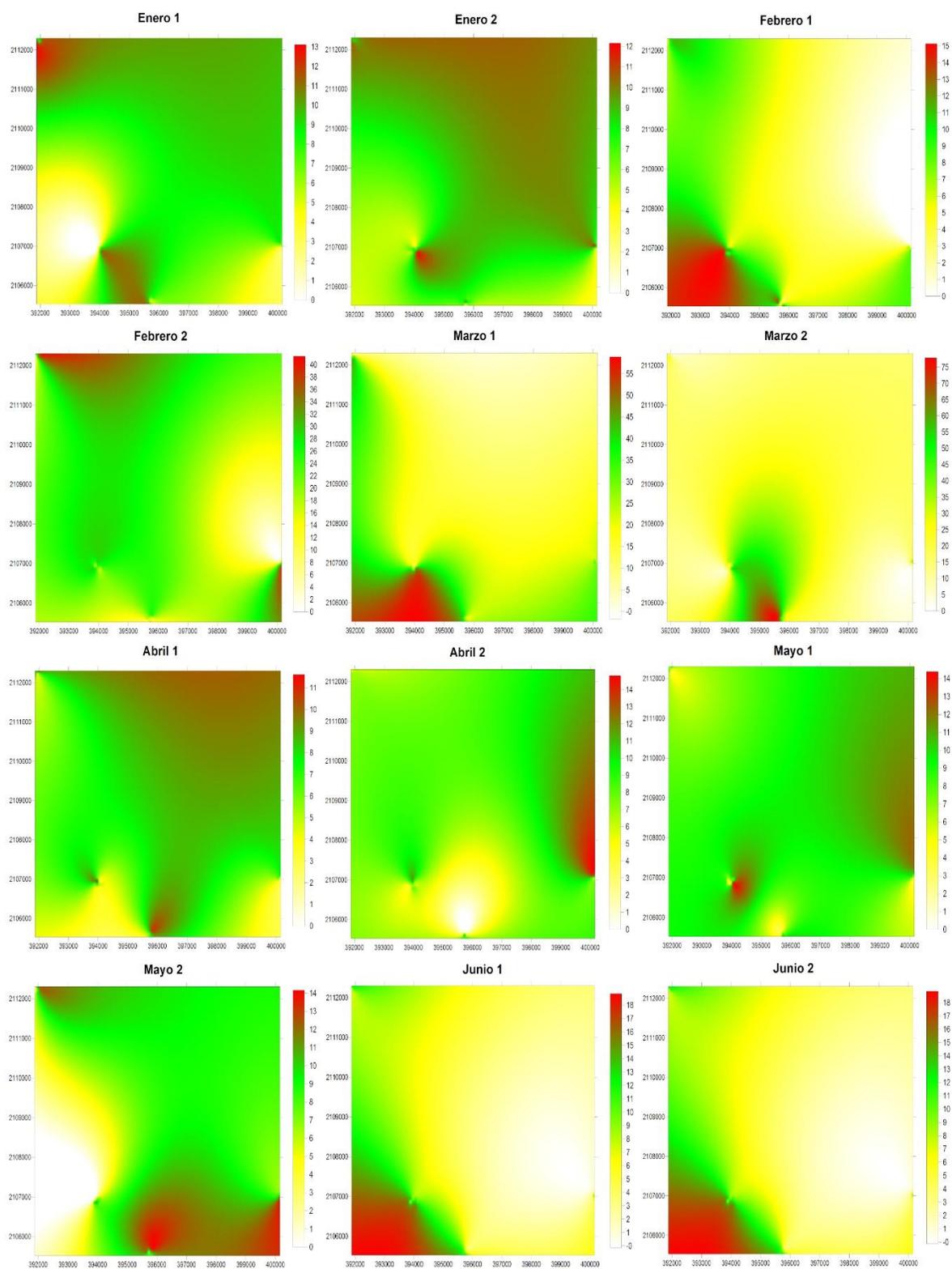
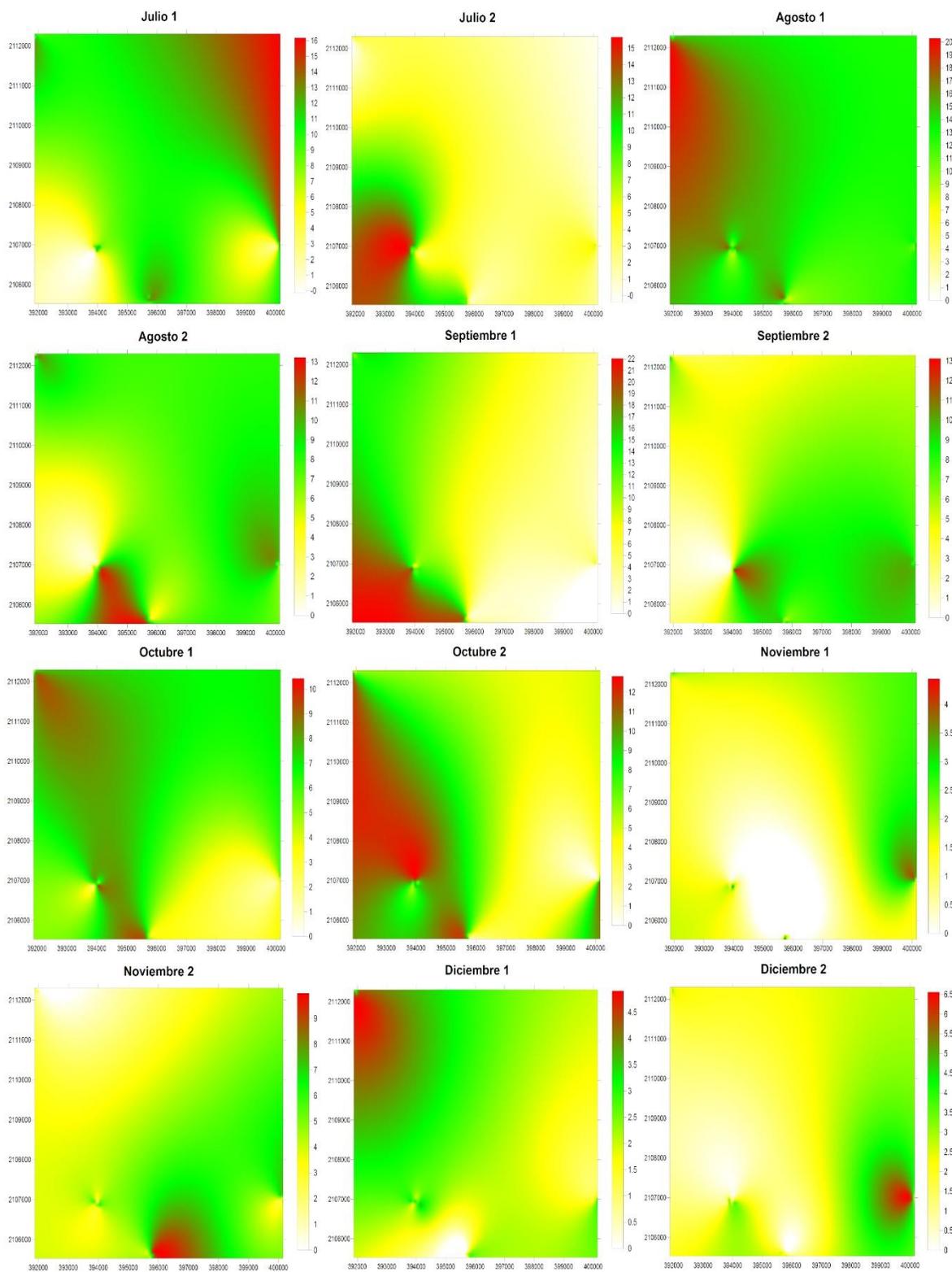


Figura 29. Mapas de infestación para el segundo semestre de 2016 en el municipio de Temascaltepec.



Por ultimo encontramos el municipio de Tenancingo el cual en los últimos años ha tenido un gran crecimiento de superficie plantada de huertos de aguacate, zonas que antes eran florícolas han cambiado su producción por plantaciones de aguacate es por ello que este municipio se seleccionó como uno de los principales productores de aguacate. Para el año 2016 los modelos a los que se ajustaron los semivariogramas fueron en su mayoría esféricos (tabla 10) siendo el primer muestreo de junio el único que se ajustó a otro modelo en este caso modelo gaussiano. La densidad mayor se encontró en el mes de marzo con 30.92 trips por árbol mientras que la densidad más baja fue en el mes de noviembre con 3.31 trips por árbol. El rango fue igual a 50 metros en la mayoría de los casos y el efecto pepita igual a cero, corroborando que el error de muestreo fue mínimo, al tener efecto pepita igual a cero el nivel de dependencia espacial fue alto igual para todos los casos.

Tabla 16. Parámetros (Efecto Pepita, Meseta y Rango) de los modelos ajustados a los semivariogramas de trips en Tenancingo 2016.

Mes	Modelo	Media Muestral	Rango	Meseta	Pepita	Nivel de Dependencia Espacial
Enero 1	Esférico	6.37	54.73	22.72	0	Alto
Enero 2	Esférico	7.6	52.2	29.56	0	Alto
Febrero 1	Esférico	9.91	47.38	38.04	0	Alto
Febrero 2	Esférico	13.97	49.38	100.88	0	Alto
Marzo 1	Esférico	30.92	49.79	271.53	0	Alto
Marzo 2	Esférico	18.39	53.22	120.58	0	Alto
Abril 1	Esférico	7.87	46.9	21.35	0	Alto
Abril 2	Esférico	6.37	50.73	21.93	0	Alto
Mayo 1	Esférico	4.32	56.26	7.69	0	Alto
Mayo 2	Esférico	5.91	51.55	12.11	0	Alto
Junio 1	Gaussiano	7.12	40.8	16.33	0	Alto
Junio 2	Esférico	7.05	45.55	24.24	0	Alto
Julio 1	Esférico	10.31	51.22	33.82	0	Alto

Julio 2	Esférico	12.72	49.3	51.35	0	Alto
Agosto 1	Esférico	8.92	49.71	40.73	0	Alto
Agosto 2	Esférico	11.35	51.46	37.62	0	Alto
Septiembre 1	Esférico	13.93	46.81	80.72	0	Alto
Septiembre 2	Esférico	8.72	49.79	24.76	0	Alto
Octubre 1	Esférico	6.87	53.06	21.01	0	Alto
Octubre 2	Esférico	4.97	53.06	12.57	0	Alto
Noviembre 1	Esférico	5.88	59.46	13.16	0	Alto
Noviembre 2	Esférico	3.31	54.36	4.77	0	Alto
Diciembre 1	Esférico	5.29	61.79	14.03	0	Alto
Diciembre 2	Esférico	4.48	56.9	10.32	0	Alto

Los estadísticos de la validación cruzada para el municipio de Tenancingo se comportaron de manera general parecidos a los otros tres municipios en la media de los errores de estimación fue no significativo en todos los casos y la varianza de los errores tuvo una variación entre 3.11 y 208.11, el error cuadrático medio fue ligeramente mayor a cero en todos los casos y el error cuadrático medio adimensional fue ligeramente mayor a uno en todos los casos. Los semivariogramas se ajustaron a modelos esféricos y solo uno a un modelo gaussiano en las figuras 26 y 27 podemos observar de manera gráfica como se mostraron los semivariogramas.

Tabla 17. Valores de los estadísticos de la validación cruzada de los semivariogramas obtenidos en los muestreos en el municipio de Tenancingo 2016.

Mes	Muestreo	Media Muestral	Varianza Muestral	MEE	Varianza de los Errores	ECM	ECMA
Enero	1	6.37	23.93	0.08ns	18.46	0.13	1.15
Enero	2	7.6	30.87	0.12ns	22.16	0.15	1.13
Febrero	1	9.91	40.19	0.10ns	31.79	0.11	1.11
Febrero	2	13.97	108.15	0.07ns	88.23	0.10	1.07
Marzo	1	30.92	305.06	0.10ns	208.11	0.07	1.05
Marzo	2	18.39	128.91	0.12ns	101.44	0.09	1.08

Abril	1	7.87	22.7	0.10ns	16.39	0.05	1.12
Abril	2	6.37	23.09	0.08ns	18.68	0.07	1.10
Mayo	1	4.32	8.12	0.11ns	5.22	0.11	1.14
Mayo	2	5.91	13.52	0.14ns	10.27	0.14	1.08
Junio	1	7.12	19.03	0.10ns	12.95	0.12	1.13
Junio	2	7.05	27.41	0.09ns	21.84	0.10	1.06
Julio	1	10.31	39.28	0.06ns	31.06	0.11	1.10
Julio	2	12.72	57.73	0.08ns	44.29	0.06	1.15
Agosto	1	8.92	46.13	0.10ns	38.13	0.08	1.12
Agosto	2	11.35	42.3	0.12ns	30.57	0.11	1.06
Septiembre	1	13.93	87.58	0.11ns	73.20	0.13	1.09
Septiembre	2	8.72	26.34	0.13ns	21.66	0.11	1.11
Octubre	1	6.87	21.45	0.08ns	17.92	0.14	1.13
Octubre	2	4.97	13.62	0.05ns	10.78	0.12	1.10
Noviembre	1	5.88	14.88	0.10ns	11.03	0.10	1.12
Noviembre	2	3.31	4.91	0.15ns	3.11	0.06	1.09
Diciembre	1	5.29	14.75	0.13ns	12.83	0.10	1.12
Diciembre	2	4.48	10.92	0.11ns	8.24	0.11	1.10

Figura 30. Semivariogramas correspondientes al primer semestre de 2016 en el municipio de Tenancingo.

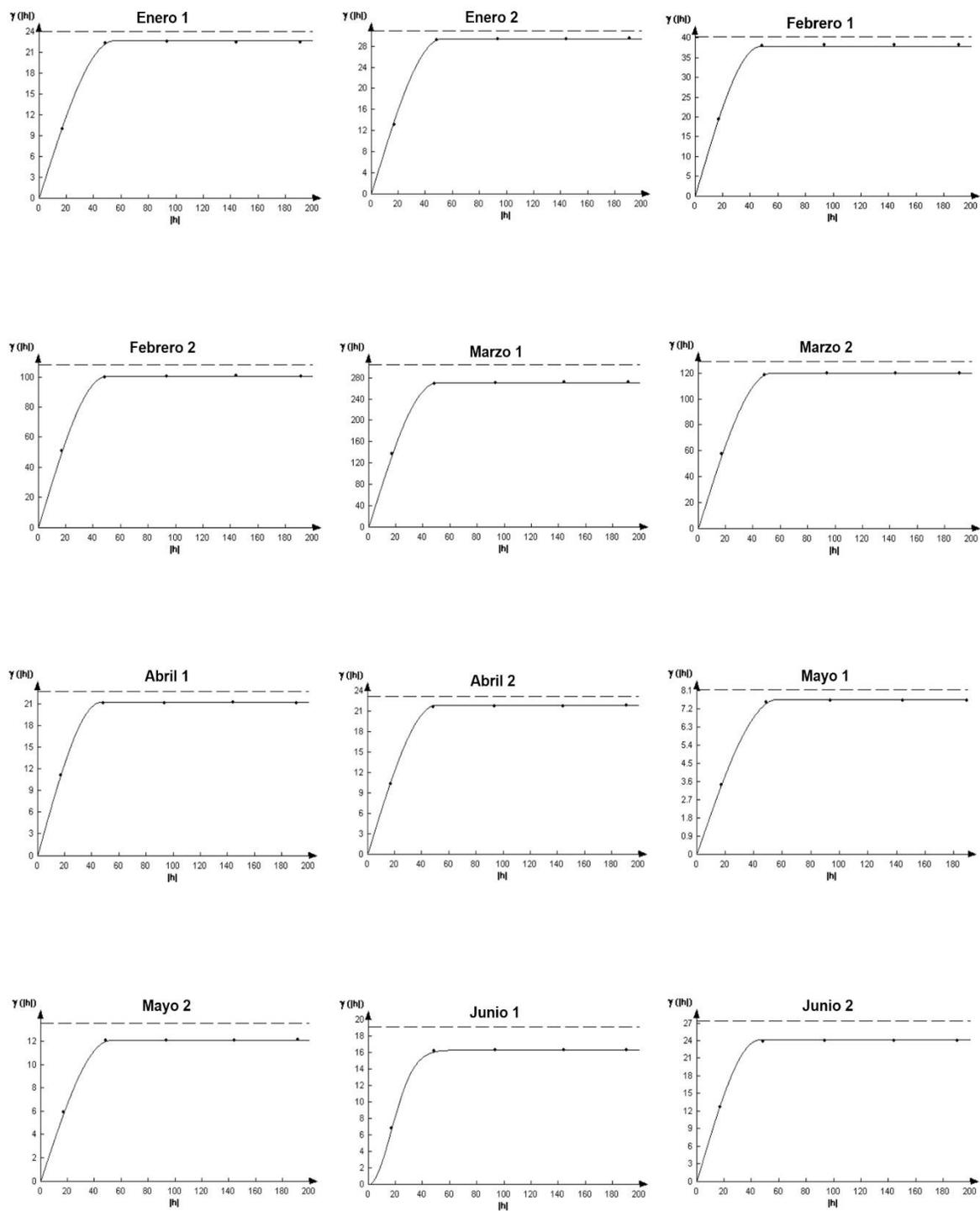
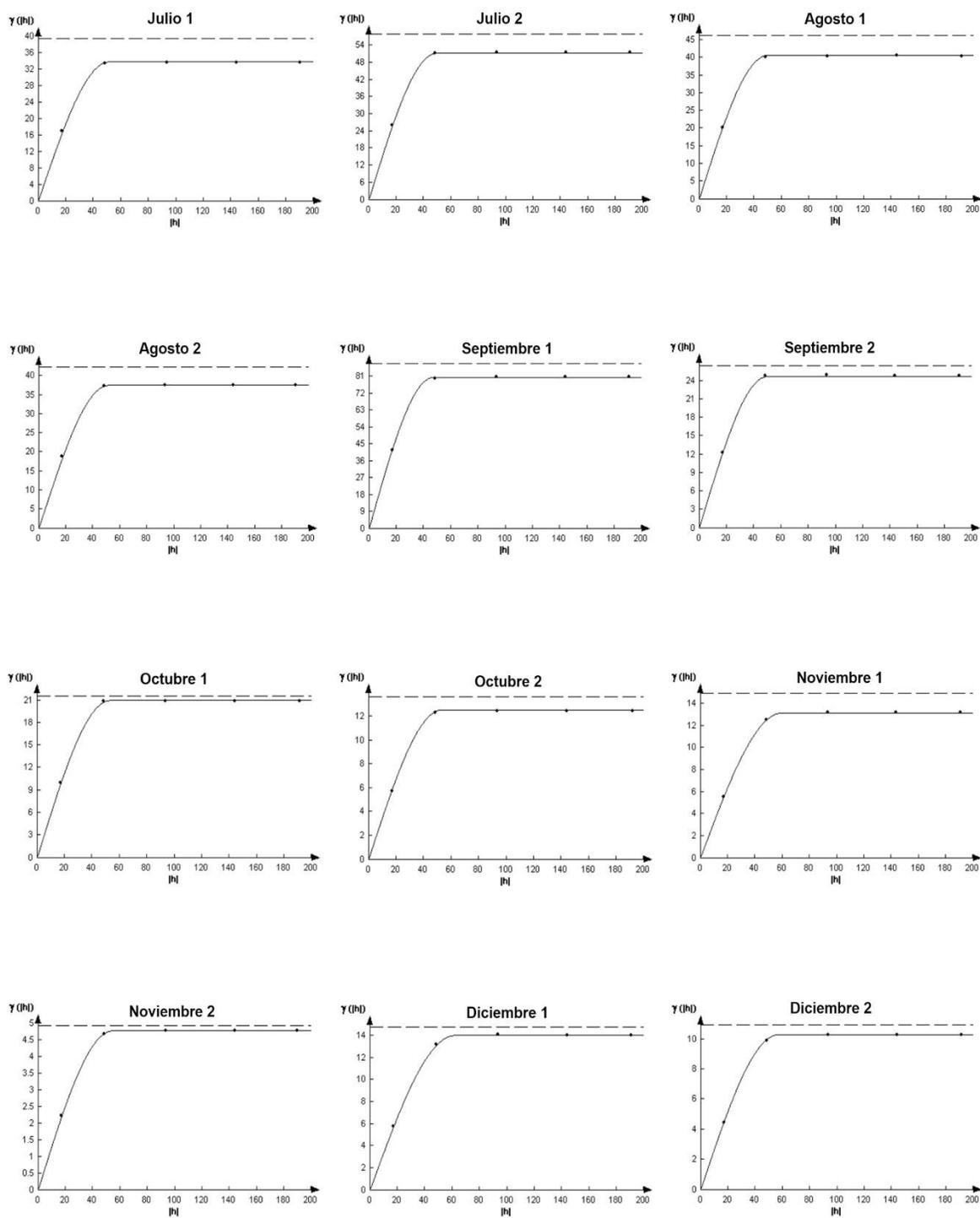


Figura 31. Semivariogramas correspondientes al segundo semestre de 2016 en el municipio de Tenancingo.



El porcentaje de infestación para el municipio de Tenancingo (tabla 12) fue el que presento valores más altos de los cuatro municipios, la menor infestación de trips se dio en el segundo muestreo del mes de abril con 64% mientras que los demás meses sobrepasaron el 80% llegando incluso algunos muestreos al 100% de infestación de trips. Se realizaron los mapas de infestación que se pueden ver a continuación (figura 28 y 29), los cuales muestran como toda la superficie de muestreo tiene presencia de trips y como en algunos casos presenta centros de agregación del insecto plaga.

Tabla 18. Superficie infestada y no infestada (%) obtenida en el muestro de trips en Tenancingo para el año 2016.

Mes	Muestreo	% Infestado	%No Infestado
Enero	1	100	0
Enero	2	100	0
Febrero	1	88	12
Febrero	2	97	3
Marzo	1	94	6
Marzo	2	89	11
Abril	1	87	13
Abril	2	64	36
Mayo	1	80	20
Mayo	2	86	14
Junio	1	70	30
Junio	2	83	17
Julio	1	80	20
Julio	2	78	22
Agosto	1	85	15
Agosto	2	50	50
Septiembre	1	61	39
Septiembre	2	58	42
Octubre	1	95	5
Octubre	2	88	12
Noviembre	1	87	13

Noviembre	2	90	10
Diciembre	1	100	0
Diciembre	2	89	11

Figura 32. Mapas de infestación para el primer semestre de 2016 en el municipio de Tenancingo.

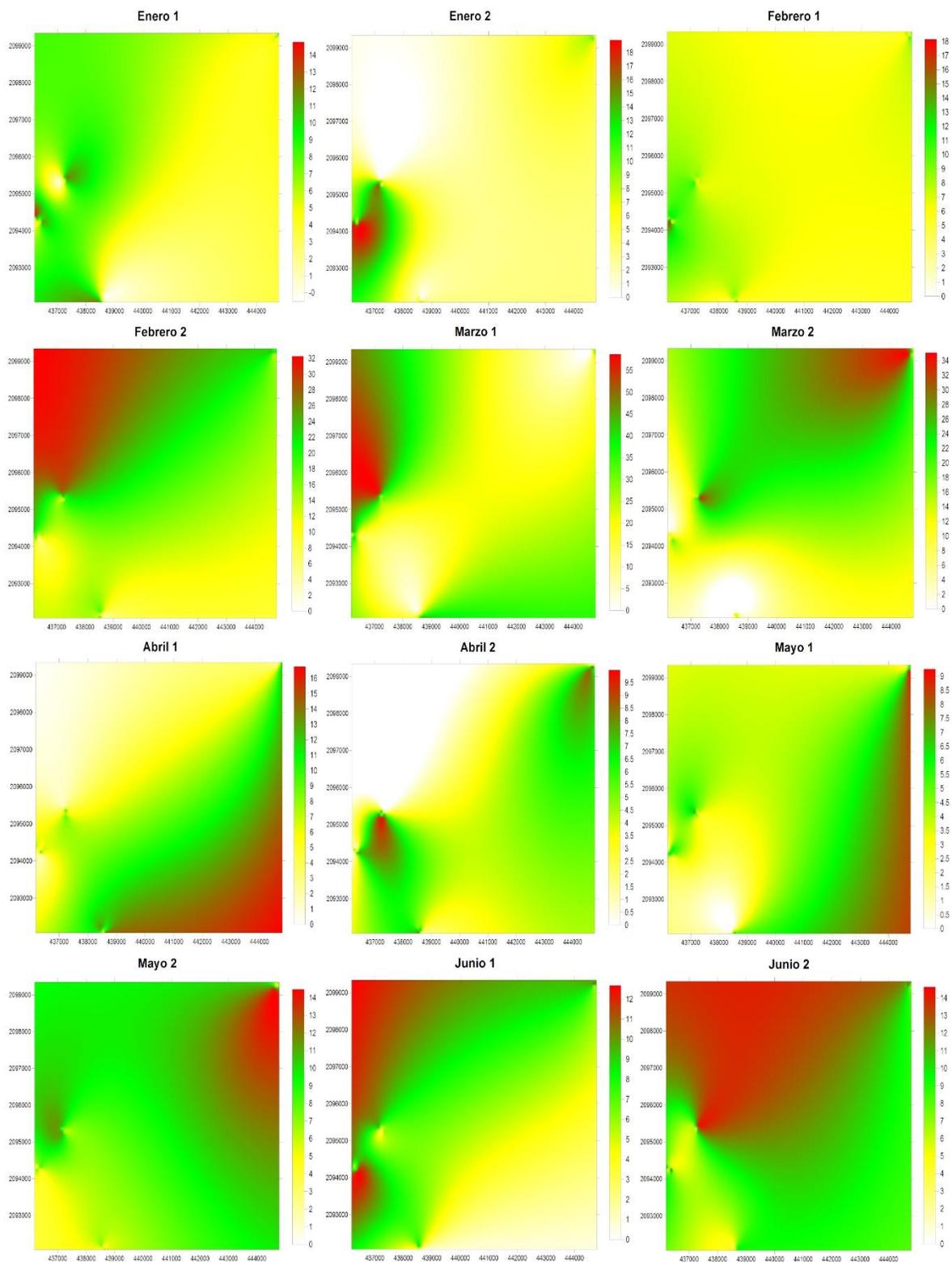
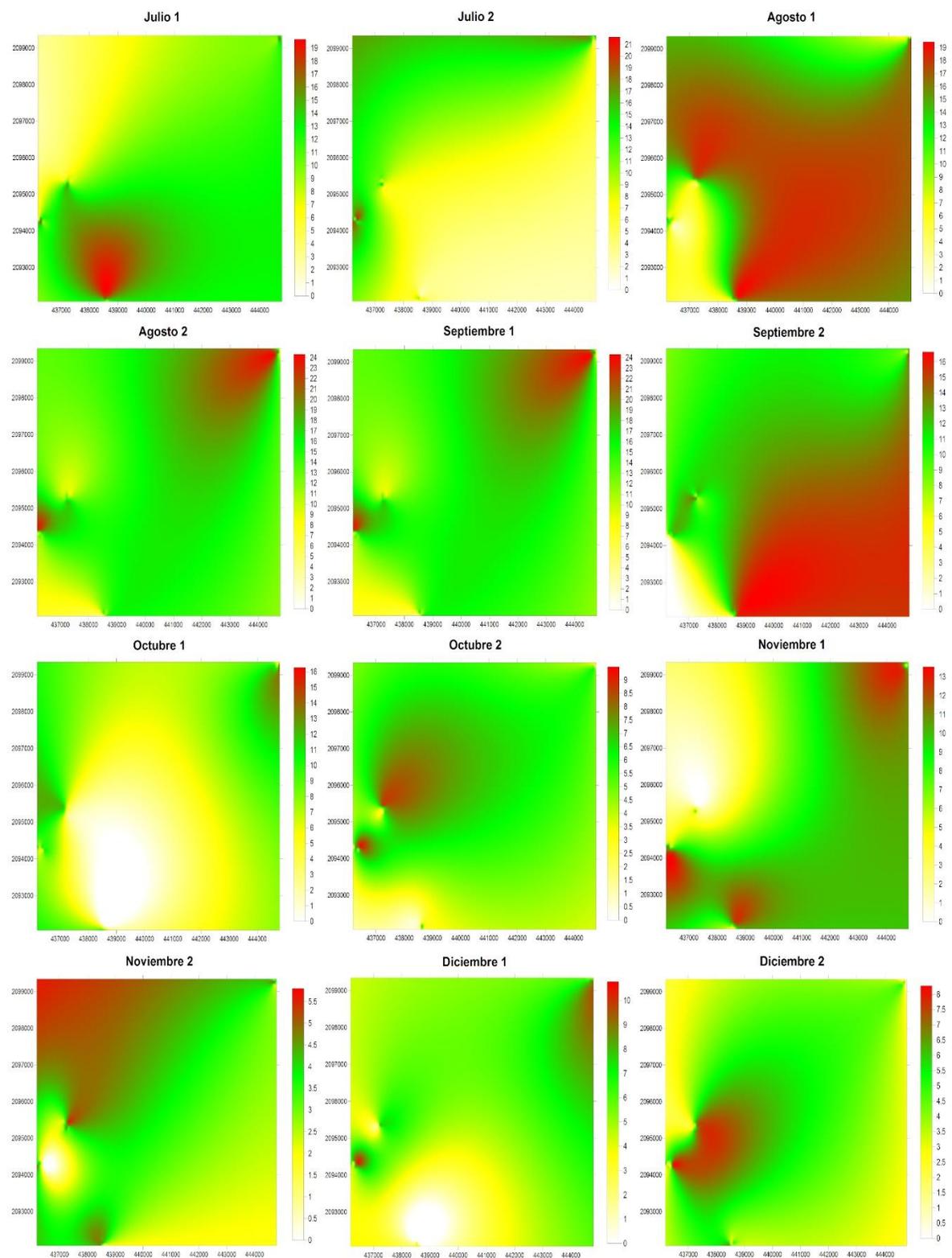


Figura 33. Mapas de infestación para el segundo semestre de 2016 en el municipio de Tenancingo.



Como se mencionó en el método se realizaron los muestreos 2016 y 2017 teniendo como resultado 48 muestreos por municipio, en el caso de Donato Guerra a continuación se presentan los resultados para el año 2017 (tabla 13), los modelos a los que se ajustaron los muestreos fueron en su mayoría modelos esféricos, solo el primer muestreo del mes de diciembre se ajustó a un modelo gaussiano, en lo que se refiere a la media muestral el valor más pequeño se registró en el segundo muestreo del mes de mayo con 3.38 trips por árbol mientras que el valor más alto se encontró en el mes de septiembre con 38.76 trips por árbol, los rangos oscilaron entre 41.8 y 57.85 metros, la pepita fue igual a cero en todos los muestreos indicando que el error de muestreo fue mínimo, el nivel de dependencia espacial de la plaga fue alto para todos los casos.

Tabla 19. Parámetros (Efecto Pepita, Meseta y Rango) de los modelos ajustados a los semivariogramas de trips en Donato Guerra 2017.

Mes	Modelo	Media Muestral	Rango	Meseta	Pepita	Nivel de Dependencia Espacial
Enero 1	Esférico	7.54	41.8	20.93	0	Alto
Enero 2	Esférico	9.27	42.96	40.65	0	Alto
Febrero 1	Esférico	13.83	44.63	57.85	0	Alto
Febrero 2	Esférico	14.28	43.7	93.5	0	Alto
Marzo 1	Esférico	22.14	45.6	235	0	Alto
Marzo 2	Esférico	30.35	43.5	304.87	0	Alto
Abril 1	Esférico	7.92	43.7	31.82	0	Alto
Abril 2	Esférico	8.81	54.82	36.83	0	Alto
Mayo 1	Esférico	10.34	47.5	31.5	0	Alto
Mayo 2	Esférico	3.38	51.64	5.96	0	Alto
Junio 1	Esférico	8.09	55.1	22.56	0	Alto
Junio 2	Esférico	12.54	49.4	47.52	0	Alto
Julio 1	Esférico	15.97	50.4	108.95	0	Alto
Julio 2	Esférico	16.57	45.6	123	0	Alto
Agosto 1	Esférico	20.04	53.2	225.67	0	Alto
Agosto 2	Esférico	27.72	50.48	243.03	0	Alto

Septiembre 1	Esférico	26.16	52.61	453.56	0	Alto
Septiembre 2	Esférico	38.76	54.51	502.97	0	Alto
Octubre 1	Esférico	6.21	57.85	14.23	0	Alto
Octubre 2	Esférico	7.33	54.51	21.26	0	Alto
Noviembre 1	Esférico	4.38	55.29	12.25	0	Alto
Noviembre 2	Esférico	6.8	58.08	14.05	0	Alto
Diciembre 1	Gaussiano	3.53	42.8	4.72	0	Alto
Diciembre 2	Esférico	4.02	26.6	8.46	0	Alto

Los estadísticos de validación cruzada que se muestran a continuación (tabla 14) muestran que se apegaron a valores similares a los demás muestreos, la media de los errores de estimación fue no significativo en todos los casos la varianza de los errores fue pequeña respecto a la varianza muestral y el error cuadrático medio fue ligeramente mayor a uno y en ninguna caso mayor a uno, mientras que el error cuadrático adimensional fue mayor a uno en todos los casos. Para cada muestreo se realizó un semivariograma el cual se ajustó a diferentes modelos lo cual se muestra en la tabla 13, estos modelos tienen una representación gráfica que se muestran en las figuras 30 y 31, donde podemos observar gráficamente los valores de pepita, meseta y rango así como el modelo al que se ajustó dicho semivariograma.

Tabla 20. Valores de los estadísticos de la validación cruzada de los semivariogramas obtenidos en los muestreos en el municipio de Donato Guerra 2017.

Mes	Muestreo	Media Muestral	Varianza Muestral	MEE	Varianza de los Errores	ECM	ECMA
Enero	1	7.54	22.28	0.11ns	18.34	0.10	1.11
Enero	2	9.27	43.25	0.13ns	29.12	0.05	1.05
Febrero	1	13.83	62.27	0.10ns	44.71	0.12	1.12
Febrero	2	14.28	105.21	0.11ns	62.02	0.09	1.09
Marzo	1	22.14	243.12	0.14ns	114.25	0.13	1.10
Marzo	2	30.35	321.9	0.09ns	207.11	0.07	1.13
Abril	1	7.92	42.87	0.10ns	29.03	0.05	1.07

Abril	2	8.81	40.54	0.13ns	31.72	0.08	1.11
Mayo	1	10.34	34.42	0.07ns	26.84	0.11	1.13
Mayo	2	3.38	7.24	0.11ns	5.16	0.13	1.10
Junio	1	8.09	23.22	0.12ns	19.35	0.11	1.14
Junio	2	12.54	53.11	0.09ns	39.88	0.08	1.09
Julio	1	15.97	115.67	0.12ns	99.52	0.12	1.11
Julio	2	16.57	144.49	0.10ns	103.51	0.07	1.08
Agosto	1	20.04	251.48	0.07ns	188.62	0.11	1.12
Agosto	2	27.72	279.16	0.08ns	154.29	0.10	1.11
Septiembre	1	26.16	495.44	0.11ns	307.23	0.08	1.06
Septiembre	2	38.76	552.62	0.07n	366.90	0.13	1.12
Octubre	1	6.21	16.14	0.12ns	9.19	0.07	1.14
Octubre	2	7.33	22.26	0.10ns	17.01	0.11	1.09
Noviembre	1	4.38	14.17	0.07ns	10.26	0.05	1.11
Noviembre	2	6.8	14.9	0.11ns	11.89	0.08	1.13
Diciembre	1	3.53	5.16	0.13ns	3.25	0.10	1.09
Diciembre	2	4.02	9.25	0.11ns	7.75	0.12	1.10

Figura 34. Semivariogramas correspondientes al primer semestre de 2017 en el municipio de Donato Guerra.

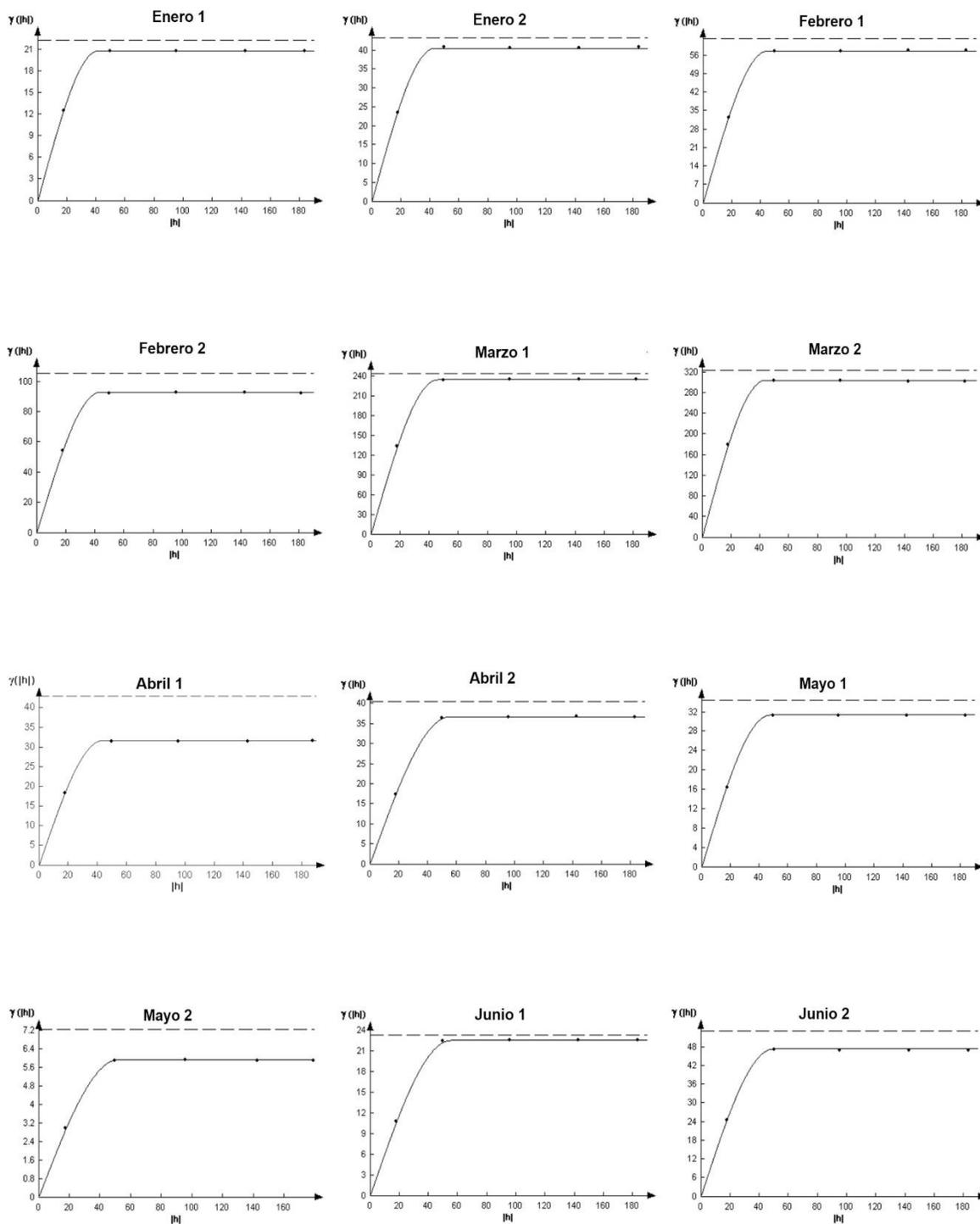
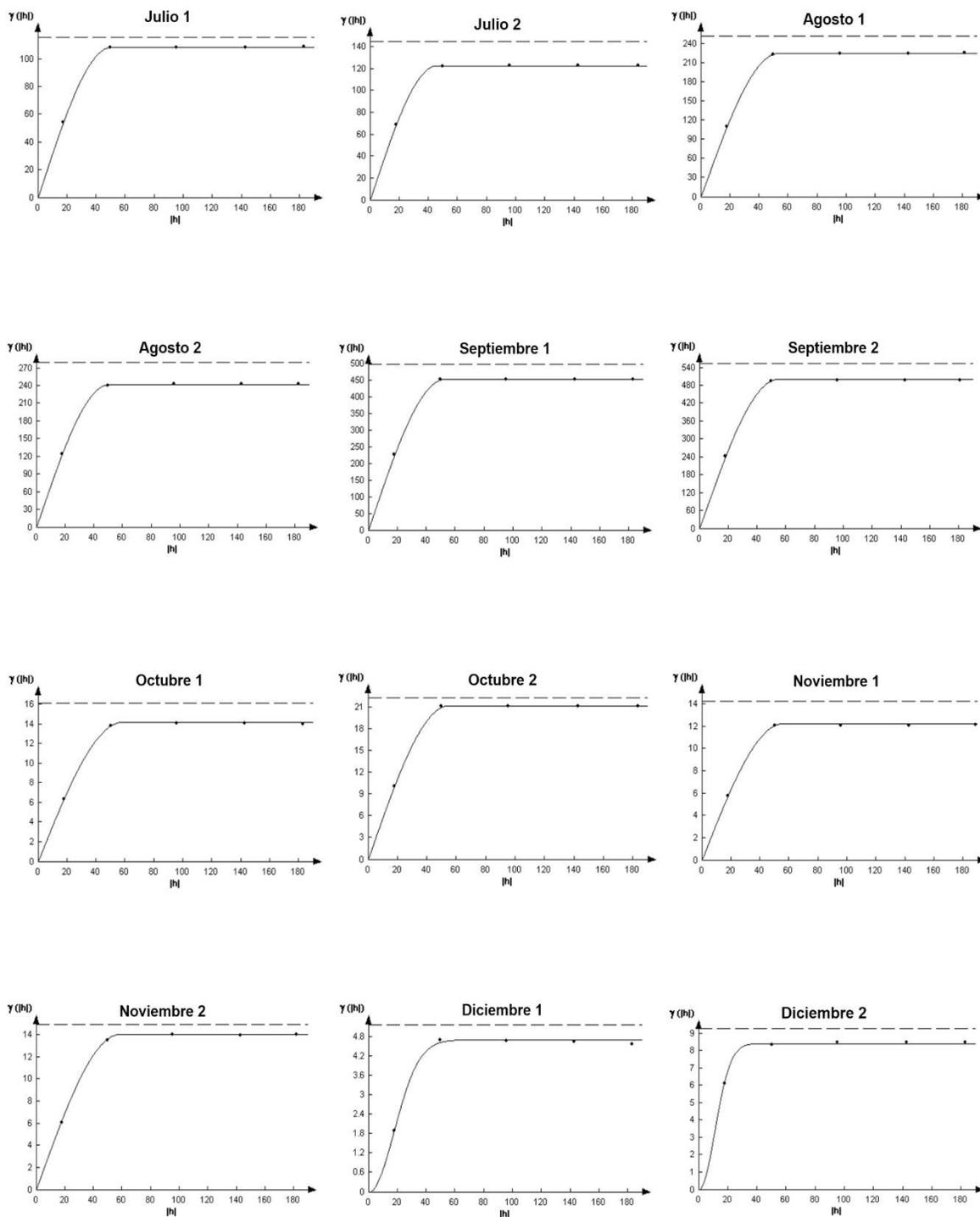


Figura 35. Semivariogramas correspondientes al segundo semestre de 2017 en el municipio de Donato Guerra.



El porcentaje de infestación (tabla 15) se calculó con la ayuda de los mapas de infestación que se realizaron con la técnica del krigeado ordinario, el muestreo que presento la menor infestación fue el primer muestreo de septiembre con apenas el 54% de infestación en la zona de estudio, contrario a esto en el siguiente muestreo en el mismo mes la infestación ocupó un lugar del 99% esto debido a las condiciones óptimas que se presentaron dentro de la zona de estudio para que el insecto plaga pudiera establecerse en prácticamente toda el área, los demás muestreos mostraron niveles altos de infestación rebasando el 80% incluso algunos llegando al 100% de infestación, dichos porcentajes son de importancia ya que nos permite elaborar planes de acción para el control de trips dentro de las parcelas. Se presentan los mapas de infestación de Donato Guerra para el año 2017 (figuras 32 y 33) en los cuales podemos visualizar cómo se comporta el trips a lo largo de todo el año y nos permite realizar acciones de control sobre centros de agregación específicos que conlleven a disminuir los niveles de infestación y mejorar la calidad de la producción de aguacate en la zona de estudio. Dichos mapas son de gran ayuda para los productores ya que con ellos pueden elegir la mejor alternativa para el control de dichos insectos plaga.

Tabla 21. Superficie infestada y no infestada (%) obtenida en el muestro de trips en Donato Guerra para el año 2017.

Mes	Muestreo	% Infestado	%No Infestado
Enero	1	84	16
Enero	2	91	9
Febrero	1	92	8
Febrero	2	83	17
Marzo	1	80	20
Marzo	2	98	2
Abril	1	81	19
Abril	2	82	18
Mayo	1	100	0
Mayo	2	99	1
Junio	1	100	0

Junio	2	99	1
Julio	1	70	30
Julio	2	86	14
Agosto	1	81	19
Agosto	2	90	10
Septiembre	1	54	46
Septiembre	2	99	1
Octubre	1	86	14
Octubre	2	100	0
Noviembre	1	95	5
Noviembre	2	96	4
Diciembre	1	85	15
Diciembre	2	99	1

Figura 36. Mapas de infestación para el primer semestre de 2017 en el municipio de Donato Guerra.

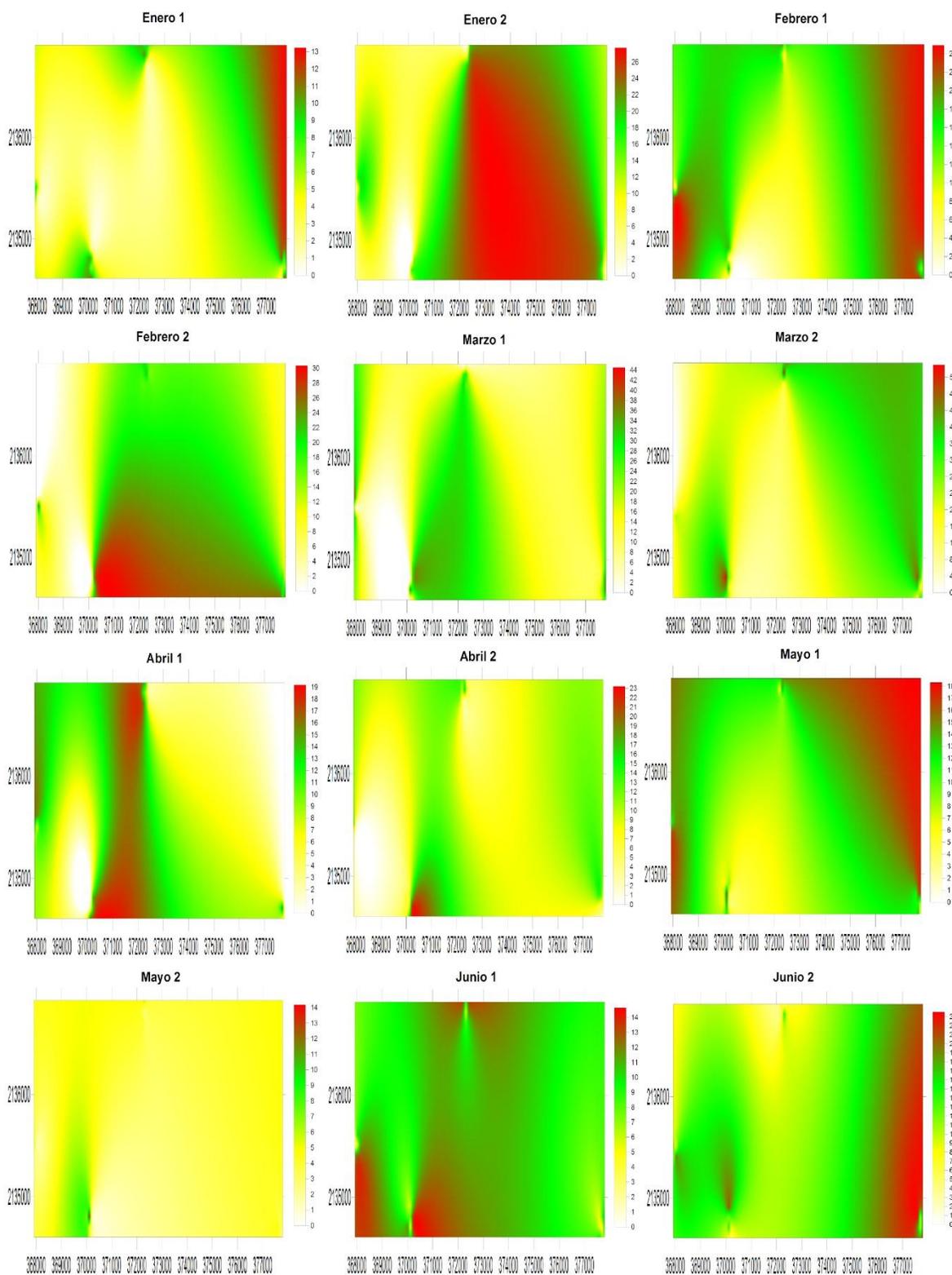
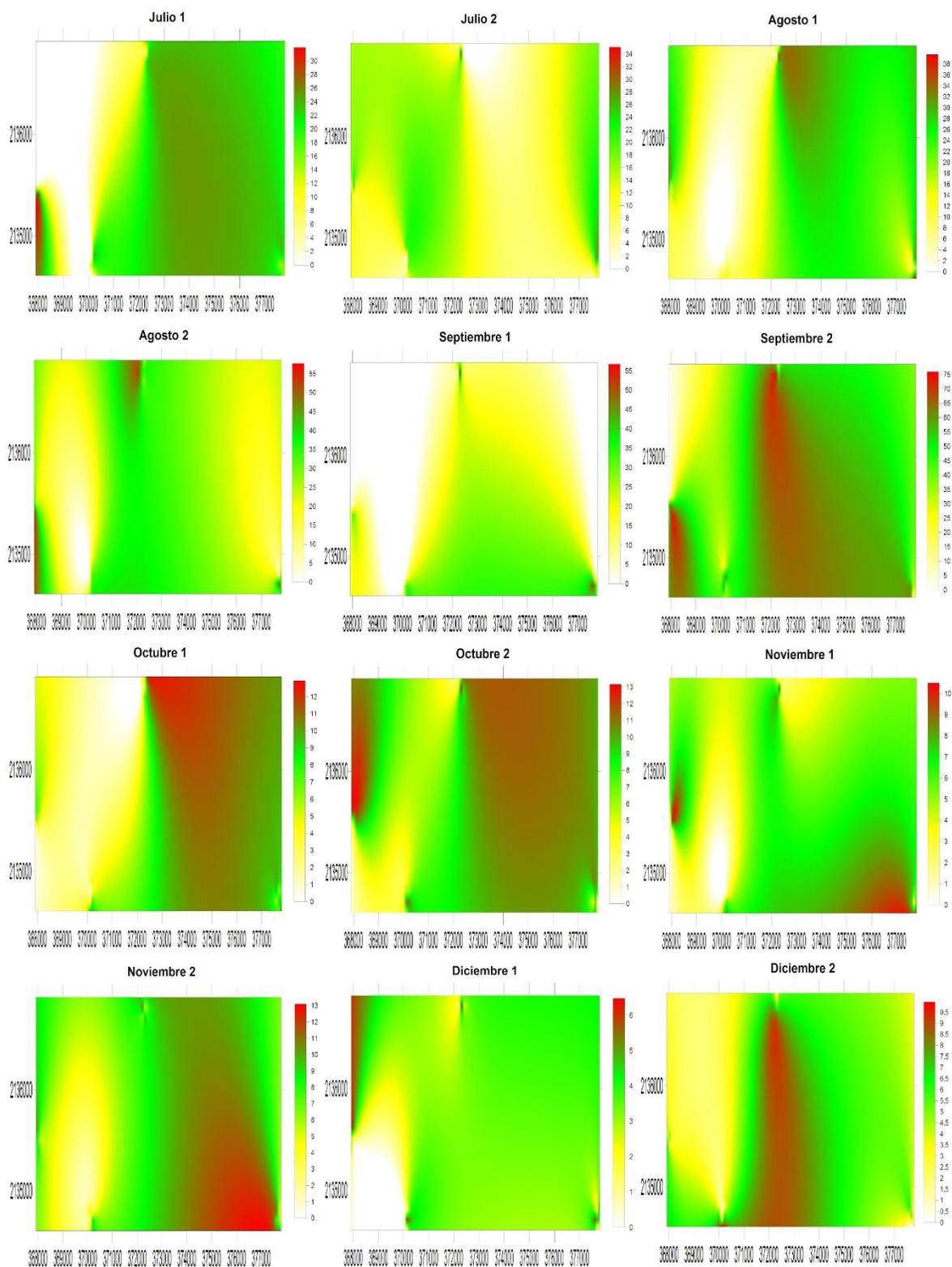


Figura 37. Mapas de infestación para el segundo semestre de 2017 en el municipio de Donato Guerra.



En el municipio de Coatepec Harinas para el año 2017 los modelos a los que se ajustaron los semivariogramas fueron esféricos en todos los casos (tabla 16), la media muestral mostro su valor más alto en el segundo muestreo del mes de septiembre mientras que el valor más bajo se presentó en el primer muestreo del mes de diciembre, el rango se ubicó en la mayoría de los casos por encima de los 40 metros, buen indicador para explicar y reconocer que el muestreo y la distancia a la cual se realizó este fue correcta, el nivel de dependencia espacial fue alto para todos los casos ya que el efecto pepita fue igual a cero en los 24 muestreos.

Tabla 22. Parámetros (Efecto Pepita, Meseta y Rango) de los modelos ajustados a los semivariogramas de trips en Coatepec Harinas 2017.

Mes	Modelo	Media Muestral	Rango	Meseta	Pepita	Nivel de Dependencia Espacial
Enero 1	Esférico	10.75	36.53	114.22	0	Alto
Enero 2	Esférico	14.82	41.12	201.46	0	Alto
Febrero 1	Esférico	11.35	48.51	59.41	0	Alto
Febrero 2	Esférico	15.32	43.62	82.57	0	Alto
Marzo 1	Esférico	20.23	42.35	121.8	0	Alto
Marzo 2	Esférico	25.74	44.23	194.91	0	Alto
Abril 1	Esférico	5.97	37.5	12.53	0	Alto
Abril 2	Esférico	7.23	43.31	14.71	0	Alto
Mayo 1	Esférico	6.83	38.51	21.93	0	Alto
Mayo 2	Esférico	9.75	33.51	33.03	0	Alto
Junio 1	Esférico	6.75	41.01	19.53	0	Alto
Junio 2	Esférico	10.03	43.62	33.73	0	Alto
Julio 1	Esférico	12.83	48.51	52.68	0	Alto
Julio 2	Esférico	12.24	46.83	80.27	0	Alto
Agosto 1	Esférico	19.81	43.41	115.17	0	Alto
Agosto 2	Esférico	22.85	40.91	266.56	0	Alto
Septiembre 1	Esférico	28.1	40.25	348.05	0	Alto
Septiembre 2	Esférico	30.16	40	493.66	0	Alto
Octubre 1	Esférico	7.61	38.72	20.43	0	Alto

Octubre 2	Esférico	4.45	38.57	8.1	0	Alto
Noviembre 1	Esférico	5.5	39.33	20.81	0	Alto
Noviembre 2	Esférico	4.25	43.05	11.02	0	Alto
Diciembre 1	Esférico	3.68	49.38	4.68	0	Alto
Diciembre 2	Esférico	5.01	44.44	8.95	0	Alto

Los valores de validación cruzada para el municipio de Coatepec Harinas para el año 2017 se muestran en la siguiente tabla (tabla 17), podemos observar que la media de los errores de estimación fue no significativo en todos los casos, la varianza de los errores fue menos a la varianza muestral en todos los casos y el valor del error cuadrático medio fue ligeramente mayor a cero así como el error cuadrático medio adimensional fue mayor a uno en todos los casos.

Tabla 23. Valores de los estadísticos de la validación cruzada de los semivariogramas obtenidos en los muestreos en el municipio de Coatepec Harinas 2017.

Mes	Muestreo	Media Muestral	Varianza Muestral	MEE	Varianza de los Errores	ECM	ECMA
Enero	1	10.75	136.57	0.05ns	120.58	0.10	1.05
Enero	2	14.82	221.5	0.12ns	174.21	0.14	1.13
Febrero	1	11.35	61.47	0.08ns	50.18	0.11	1.10
Febrero	2	15.32	87.28	0.15ns	78.65	0.08	1.12
Marzo	1	20.23	129.15	0.11ns	110.37	0.06	1.06
Marzo	2	25.74	205.75	0.08ns	197.45	0.09	1.09
Abril	1	5.97	13.48	0.10ns	10.36	0.11	1.12
Abril	2	7.23	15.46	0.13ns	12.04	0.15	1.14
Mayo	1	6.83	24.13	0.07ns	19.26	0.12	1.11
Mayo	2	9.75	35.34	0.10ns	30.71	0.10	1.07
Junio	1	6.75	21.06	0.13ns	18.82	0.07	1.05
Junio	2	10.03	36.65	0.15ns	28.72	0.12	1.10
Julio	1	12.83	54.61	0.11ns	49.82	0.14	1.13
Julio	2	12.24	85.46	0.07ns	80.03	0.11	1.11
Agosto	1	19.81	123.98	0.10ns	108.27	0.15	1.04
Agosto	2	22.85	280.72	0.06ns	213.88	0.10	1.11

Septiembre	1	28.1	375.19	0.11ns	280.52	0.06	1.08
Septiembre	2	30.16	501.83	0.13ns	374.29	0.09	1.05
Octubre	1	7.61	21.52	0.11ns	18.74	0.11	1.12
Octubre	2	4.45	8.35	0.14ns	6.29	0.14	1.09
Noviembre	1	5.5	22.46	0.05ns	17.20	0.05	1.13
Noviembre	2	4.25	12.03	0.07ns	9.77	0.11	1.11
Diciembre	1	3.68	4.93	0.10ns	2.93	0.13	1.08
Diciembre	2	5.01	9.62	0.12ns	7.02	0.06	1.10

Para cada muestreo se elaboró un semivariograma el cual se ajustó a los modelos más comunes (esférico, gaussiano y exponencial) en dichos semivariogramas podemos observar de manera gráfica el efecto pepita a cual modelo se ajustó cada muestreo, también podemos observar la meseta y rango de cada uno de los semivariogramas, los cuales se muestran a continuación (figuras 34 y 35).

Figura 38. Semivariogramas correspondientes al primer semestre de 2017 en el municipio de Coatepec Harinas.

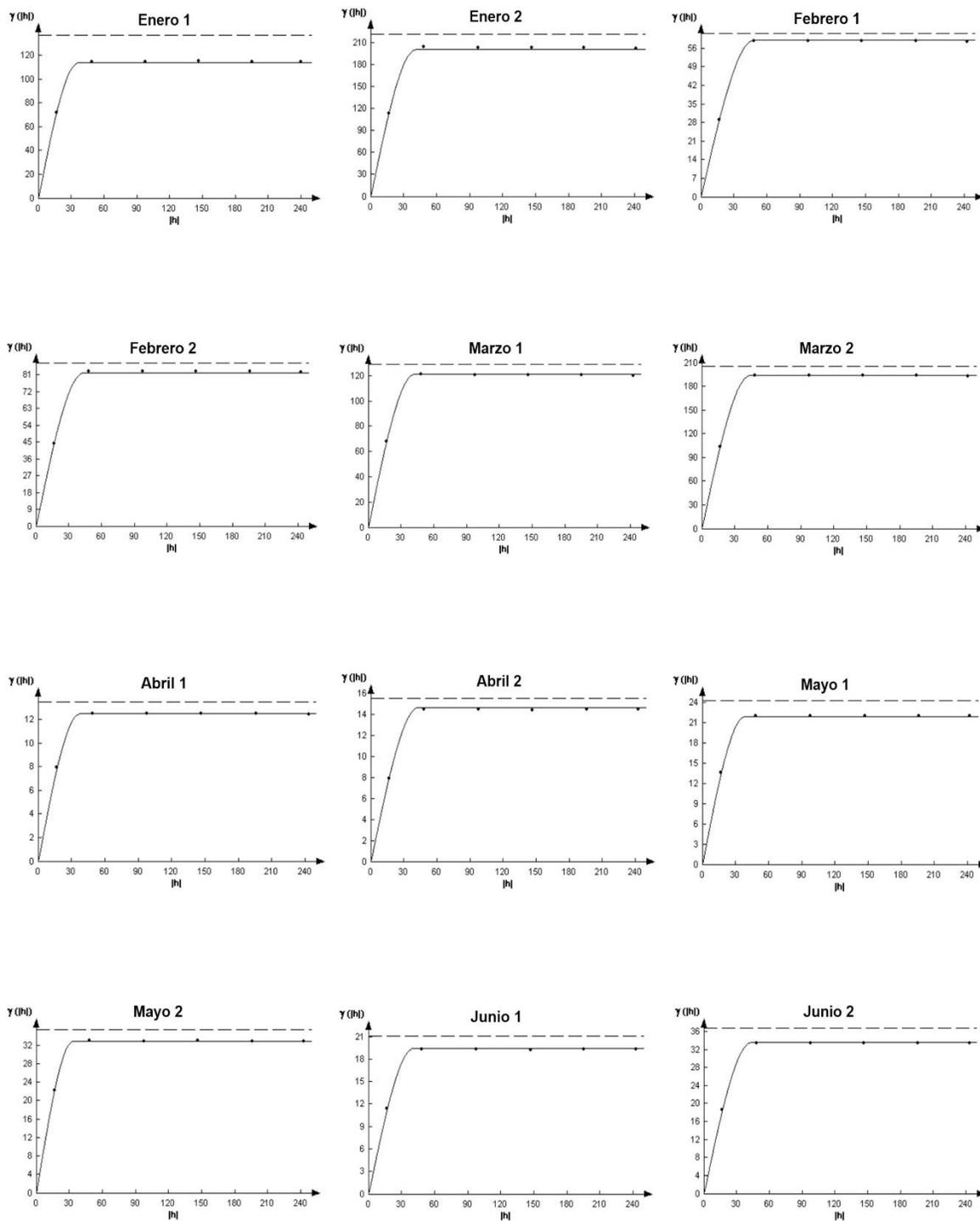
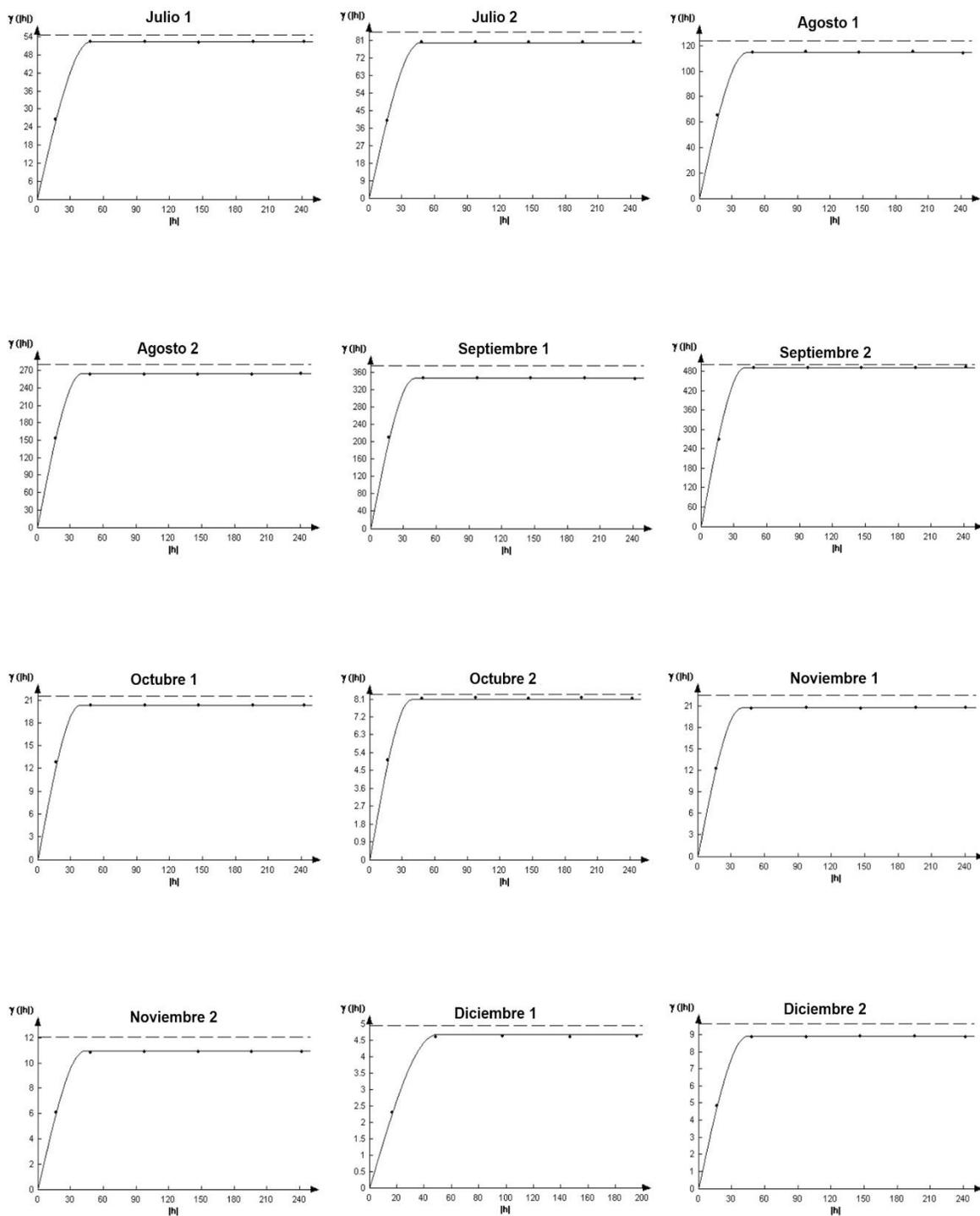


Figura 39. Semivariogramas correspondientes al segundo semestre de 2017 en el municipio de Coatepec Harinas.



La superficie infestada para el municipio de Coatepec Harinas en el año 2017 fue mayor al 70% (tabla 18) en la mayoría de los casos, en este municipio se presentó el menor valor de superficie infestada con un 35% para el segundo muestreo del mes de julio, contrario a esto el segundo muestreo del mes de junio y el primer muestreo del mes de noviembre mostraron los valores más altos de infestación con un 98%. Todo esto se realizó con ayuda de los mapas de infestación los cuales se muestran en las figuras 36 y 37, en los cuales podemos observar cómo se comporta la plaga espacialmente en todo el año, muestran centros de agregación de la plaga así como donde se encuentran estos.

Tabla 24. Superficie infestada y no infestada (%) obtenida en el muestro de trips en Coatepec Harinas para el año 2017.

Mes	Muestreo	% Infestado	%No Infestado
Enero	1	93	7
Enero	2	75	25
Febrero	1	73	27
Febrero	2	70	30
Marzo	1	61	39
Marzo	2	85	15
Abril	1	78	22
Abril	2	84	16
Mayo	1	82	18
Mayo	2	80	20
Junio	1	83	17
Junio	2	98	2
Julio	1	72	28
Julio	2	35	65
Agosto	1	76	24
Agosto	2	81	19
Septiembre	1	71	29
Septiembre	2	69	31
Octubre	1	85	15

Octubre	2	83	17
Noviembre	1	98	2
Noviembre	2	82	18
Diciembre	1	76	24
Diciembre	2	65	35

Figura 40. Mapas de infestación para el primer semestre de 2017 en el municipio de Coatepec Harinas.

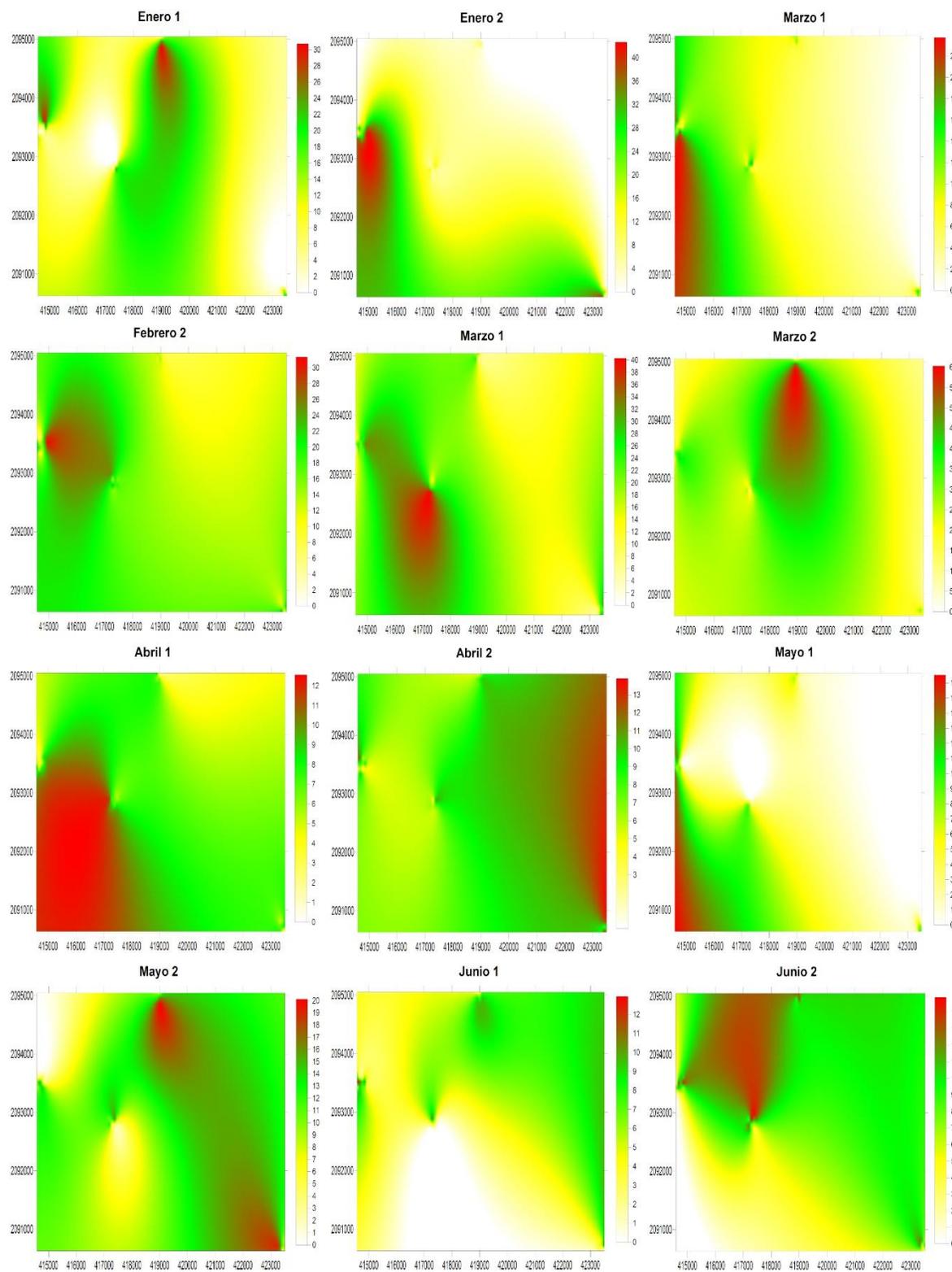
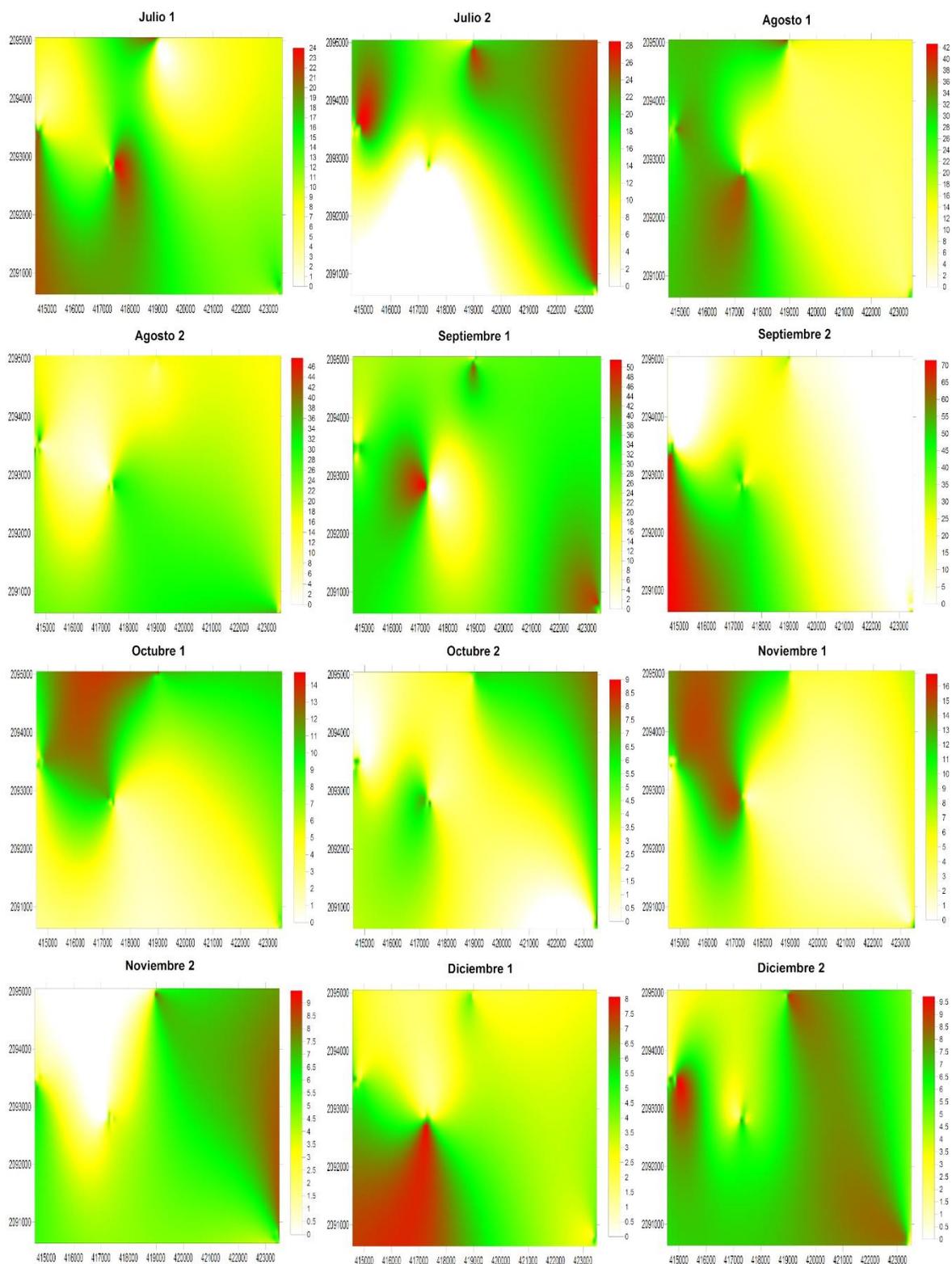


Figura 41. Mapas de infestación para el segundo semestre de 2017 en el municipio de Coatepec Harinas.



Los parámetros de los modelos ajustados a los semivariogramas de Temascaltepec para el año 2017 fueron los siguientes (tabla 19): los semivariogramas se ajustaron a modelos esféricos en su mayoría solo en el segundo muestreo de abril y el primero de agosto se ajustaron a modelos gaussianos, la media muestral obtuvo su mayor valor en el segundo muestreo de septiembre con 37.51 trips por árbol, sobrepasando el umbral económico de la plaga, el nivel más bajo se reportó en el segundo muestreo de diciembre con 5.84 trips estando un poco por debajo del umbral económico de trips permitidos por árbol, el rango en su mayoría sobre paso los 40 metros, encontrando también buena relación entre el rango obtenido y la escala de muestreo que se utilizó, el valor de pepita fue cero para todos los casos dando paso a obtener un nivel de dependencia espacial alto igual para todos los casos.

Tabla 25. Parámetros (Efecto Pepita, Meseta y Rango) de los modelos ajustados a los semivariogramas de trips en Temascaltepec 2017.

Mes	Modelo	Media Muestral	Rango	Meseta	Pepita	Nivel de Dependencia Espacial
Enero 1	Esférico	7.43	45.32	19.27	0	Alto
Enero 2	Esférico	9.32	41.54	36.82	0	Alto
Febrero 1	Esférico	11.56	38.82	45.1	0	Alto
Febrero 2	Esférico	13.96	39.08	73.93	0	Alto
Marzo 1	Esférico	21.21	50.64	125.43	0	Alto
Marzo 2	Esférico	34.82	40.75	512.82	0	Alto
Abril 1	Esférico	10.27	46.84	58.01	0	Alto
Abril 2	Gaussiano	13.31	30.34	82.33	0	Alto
Mayo 1	Esférico	7.01	25.59	31.88	0	Alto
Mayo 2	Esférico	9.74	33.61	47.06	0	Alto
Junio 1	Esférico	7.36	20.84	25.49	0	Alto
Junio 2	Esférico	6.31	44.94	21.32	0	Alto
Julio 1	Esférico	10.16	47.5	81.84	0	Alto
Julio 2	Esférico	22.49	20.48	379.62	0	Alto
Agosto 1	Gaussiano	13.66	30.43	111.21	0	Alto

Agosto 2	Esférico	25.96	20.84	436.33	0	Alto
Septiembre 1	Esférico	33.98	39.08	612.29	0	Alto
Septiembre 2	Esférico	37.51	39.9	1046.2	0	Alto
Octubre 1	Esférico	11.7	46.53	59.24	0	Alto
Octubre 2	Esférico	10.66	42.06	54.2	0	Alto
Noviembre 1	Esférico	10.25	33.38	70.19	0	Alto
Noviembre 2	Esférico	6.39	23.91	18.59	0	Alto
Diciembre 1	Esférico	7.35	33.46	19.08	0	Alto
Diciembre 2	Esférico	5.84	41.06	20.03	0	Alto

Los estadísticos de validación cruzada se muestran en la siguiente tabla (tabla 20) en la cual podemos observar que la media de los errores de estimación fue cero en todos los casos, la varianza de los errores se mantuvo por debajo de la varianza muestral, el error cuadrático medio fue mayor a cero pero menor de uno en todos los casos mientras que el error cuadrático medio adimensional fue mayor a uno en todos los muestreos.

Tabla 26. Valores de los estadísticos de la validación cruzada de los semivariogramas obtenidos en los muestreos en el municipio de Temascaltepec 2017.

Mes	Muestreo	Media Muestral	Varianza Muestral	MEE	Varianza de los Errores	ECM	ECMA
Enero	1	7.43	21.51	0.06ns	17.45	0.06	1.12
Enero	2	9.32	38.3	0.11ns	27.93	0.10	1.10
Febrero	1	11.56	63.38	0.14ns	54,19	0.12	1.07
Febrero	2	13.96	87.72	0.10ns	67.03	0.09	1.05
Marzo	1	21.21	133.3	0.14ns	105.22	0.05	1.11
Marzo	2	34.82	596.79	0.06ns	389.2	0.08	1.14
Abril	1	10.27	66.61	0.08ns	42.81	0.12	1.10
Abril	2	13.31	93.94	0.12ns	80.15	0.15	1.07
Mayo	1	7.01	32.73	0.15ns	27.46	0.11	1.05
Mayo	2	9.74	65.8	0.12ns	52.97	0.06	1.15
Junio	1	7.36	41.96	0.07ns	36.25	0.10	1.10
Junio	2	6.31	22.38	0.09ns	19.36	0.08	1.12

Julio	1	10.16	87.97	0.11ns	76.53	0.11	1.13
Julio	2	22.49	415.34	0.04ns	292.16	0.09	1.11
Agosto	1	13.66	149.07	0.08ns	124.11	0.11	1.08
Agosto	2	25.96	566.36	0.12ns	428.17	0.14	1.06
Septiembre	1	33.98	691.62	0.15ns	501.26	0.07	1.09
Septiembre	2	37.51	1185.67	0.09ns	1042.77	0.11	1.11
Octubre	1	11.7	64.29	0.13ns	51.36	0.13	1.14
Octubre	2	10.66	59.57	0.10ns	48.25	0.05	1.12
Noviembre	1	10.25	93.39	0.12ns	82.35	0.14	1.10
Noviembre	2	6.39	20.35	0.07ns	15.25	0.11	1.06
Diciembre	1	7.35	27.51	0.06ns	18.90	0.10	1.11
Diciembre	2	5.84	20.82	0.14ns	15.26	0.12	1.08

Los semivariogramas obtenidos para los muestreos del municipio de Temascaltepec en el año 2017 se muestran en las figuras 38 y 39, donde podemos observar los valores gráficamente del efecto pepita, la meseta, el rango y el modelo a los que se ajustaron.

Figura 42. Semivariogramas correspondientes al primer semestre de 2017 en el municipio de Temascaltepec.

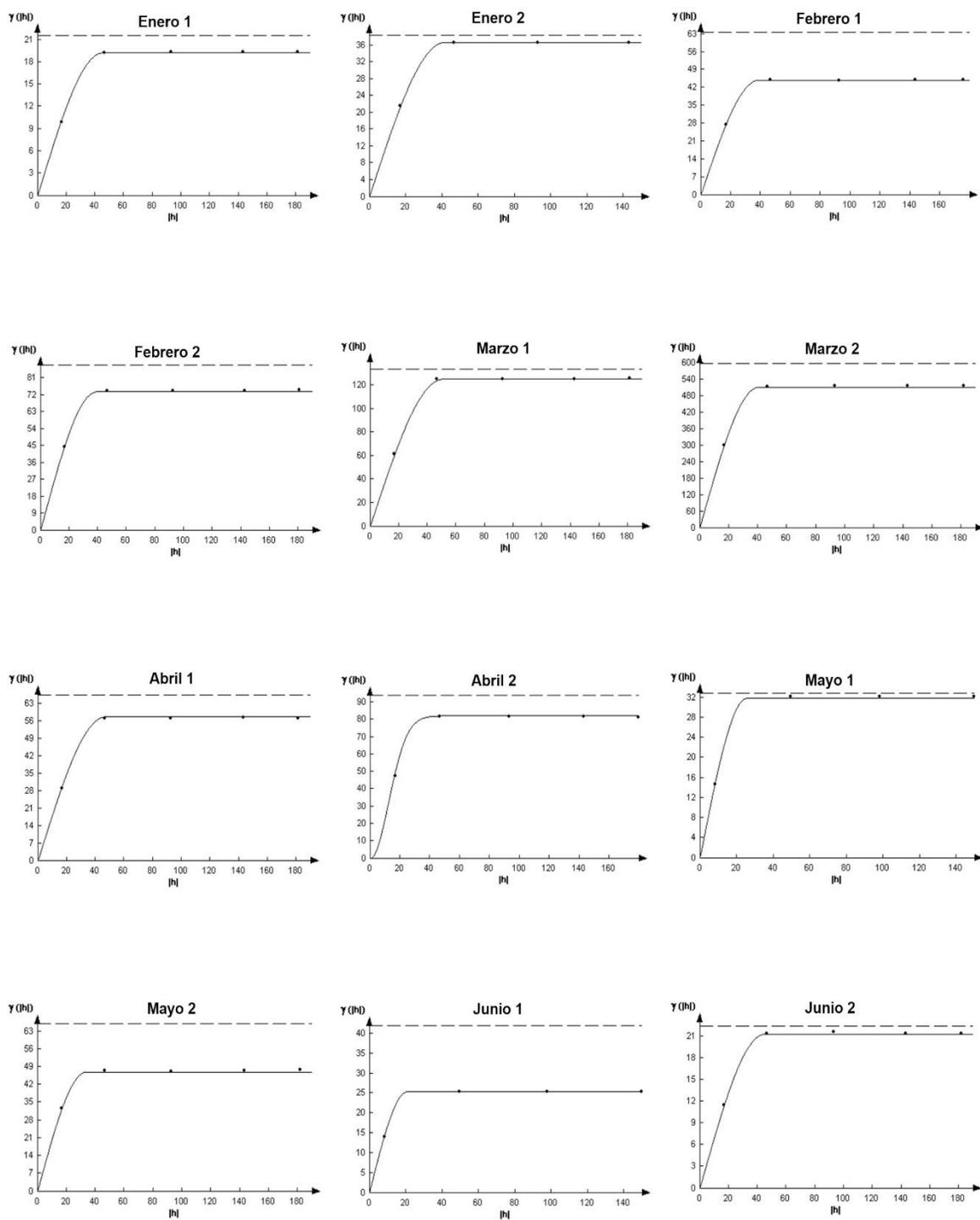
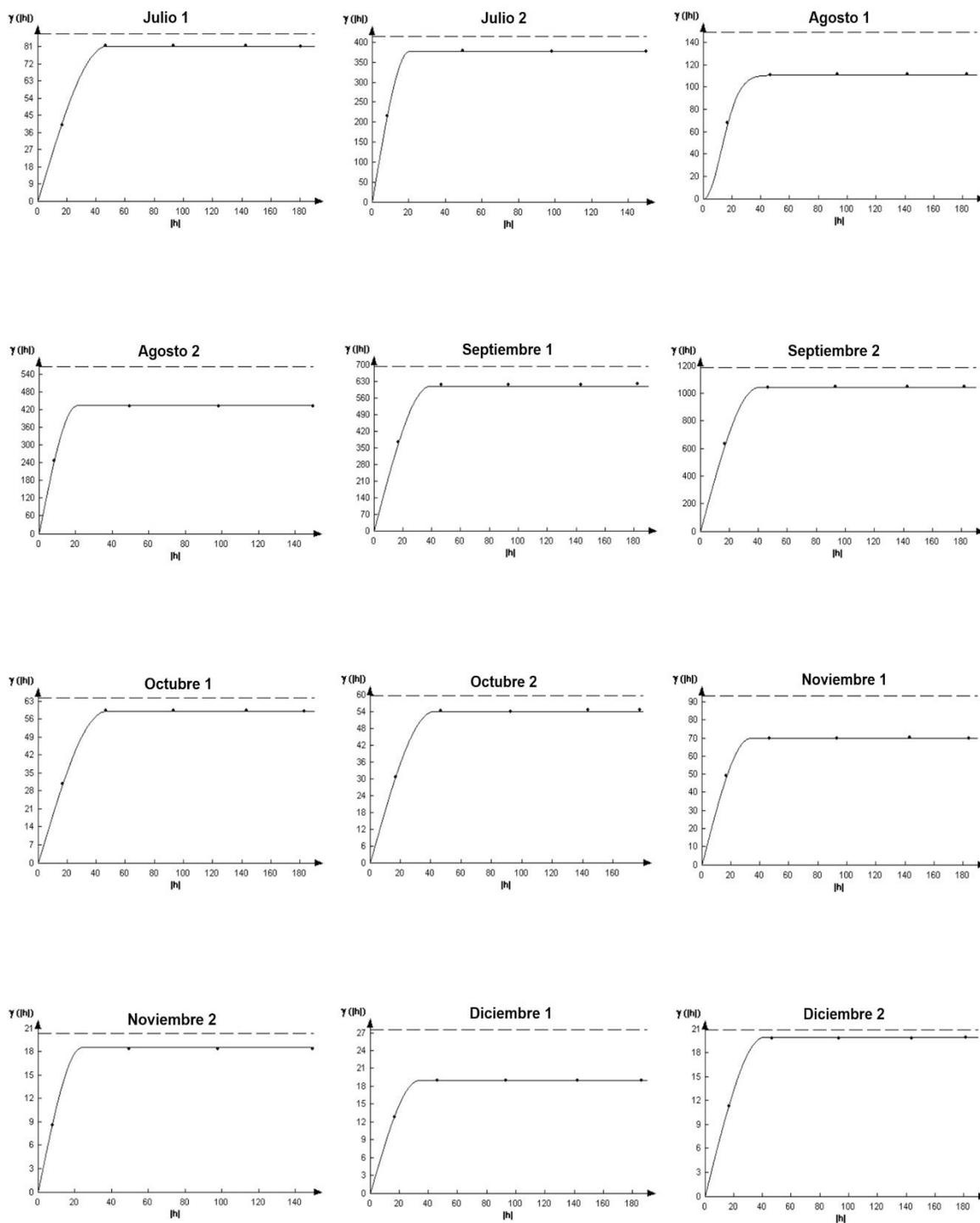


Figura 43. Semivariogramas correspondientes al segundo semestre de 2017 en el municipio de Temascaltepec.



En el municipio de Temascaltepec se presentó la mayor infestación de los cuatro municipios, en todos los muestreos se obtuvo un porcentaje mayor al 77%, los niveles de infestación son muy altos respecto a los demás municipios teniendo en cuenta también que las medias muestrales mostraron valores altos en todas las fechas de muestreos. Los mapas de infestación que se muestran en las figuras 40 y 41 son de gran utilidad en la toma de decisiones para el manejo integrado de enfermedades, una de las alternativas que pueden usar los productores es el control biológico de trips, existen investigaciones que recomiendan el uso de depredadores de trips para el control de estos insectos plaga con resultados favorables, obteniendo ahorros económicos y medio ambientales.

Tabla 27. Superficie infestada y no infestada (%) obtenida en el muestro de trips en Temascaltepec para el año 2017.

Mes	Muestreo	% Infestado	%No Infestado
Enero	1	95	5
Enero	2	100	0
Febrero	1	80	20
Febrero	2	96	4
Marzo	1	100	0
Marzo	2	90	10
Abril	1	100	0
Abril	2	97	3
Mayo	1	100	0
Mayo	2	88	12
Junio	1	79	21
Junio	2	77	23
Julio	1	90	10
Julio	2	86	14
Agosto	1	100	0
Agosto	2	91	9
Septiembre	1	87	13
Septiembre	2	89	11

Octubre	1	99	1
Octubre	2	94	6
Noviembre	1	80	20
Noviembre	2	92	8
Diciembre	1	97	3
Diciembre	2	88	12

A continuación se muestran los mapas de infestación correspondientes al año 2017, donde podemos observar los centros de agregación de la plaga, podemos inferir como se puede comportar a corto plazo y si existe una estabilidad espacial y temporal de los trips.

Figura 44. Mapas de infestación para el primer semestre de 2017 en el municipio de Temascaltepec.

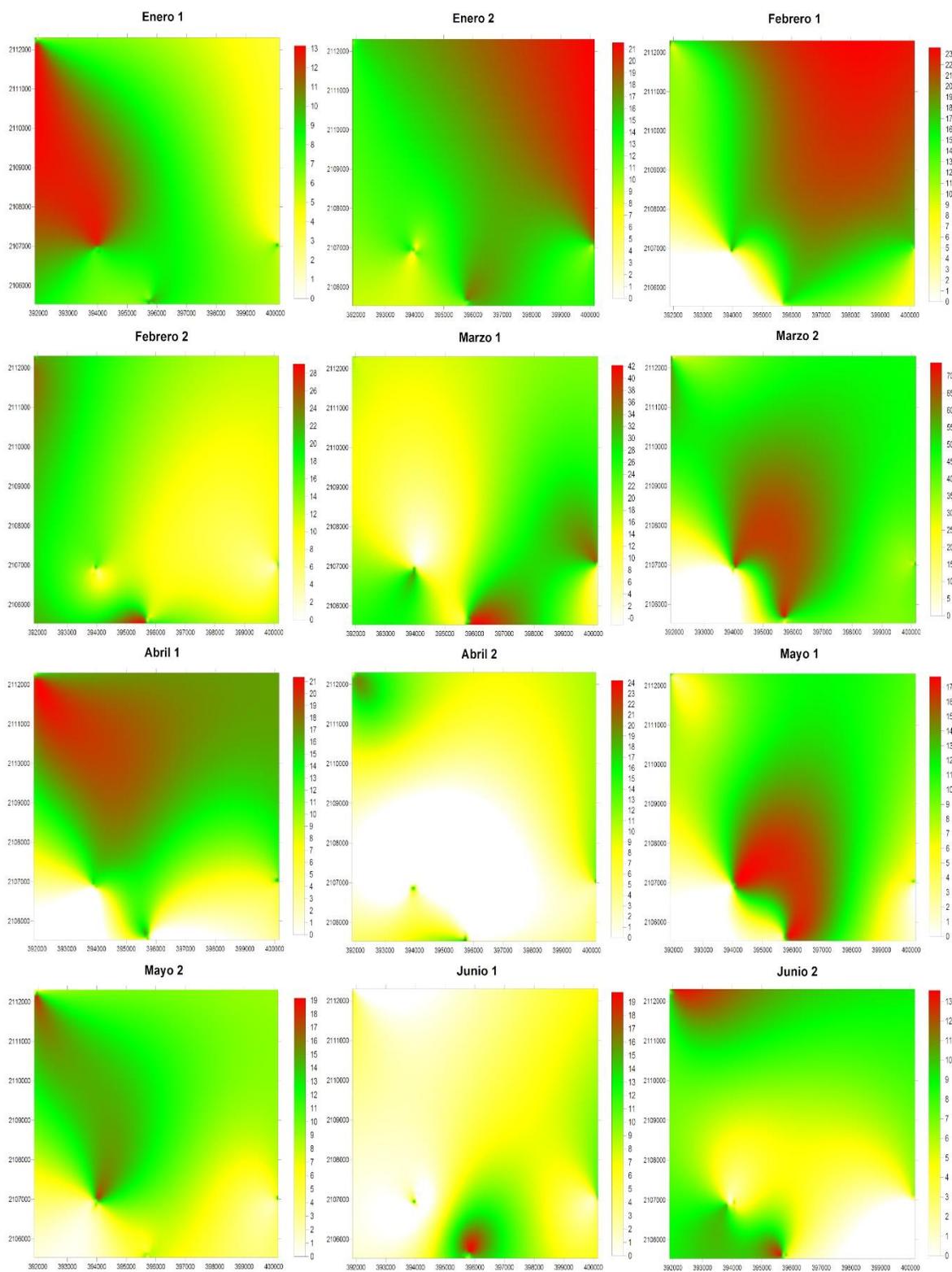
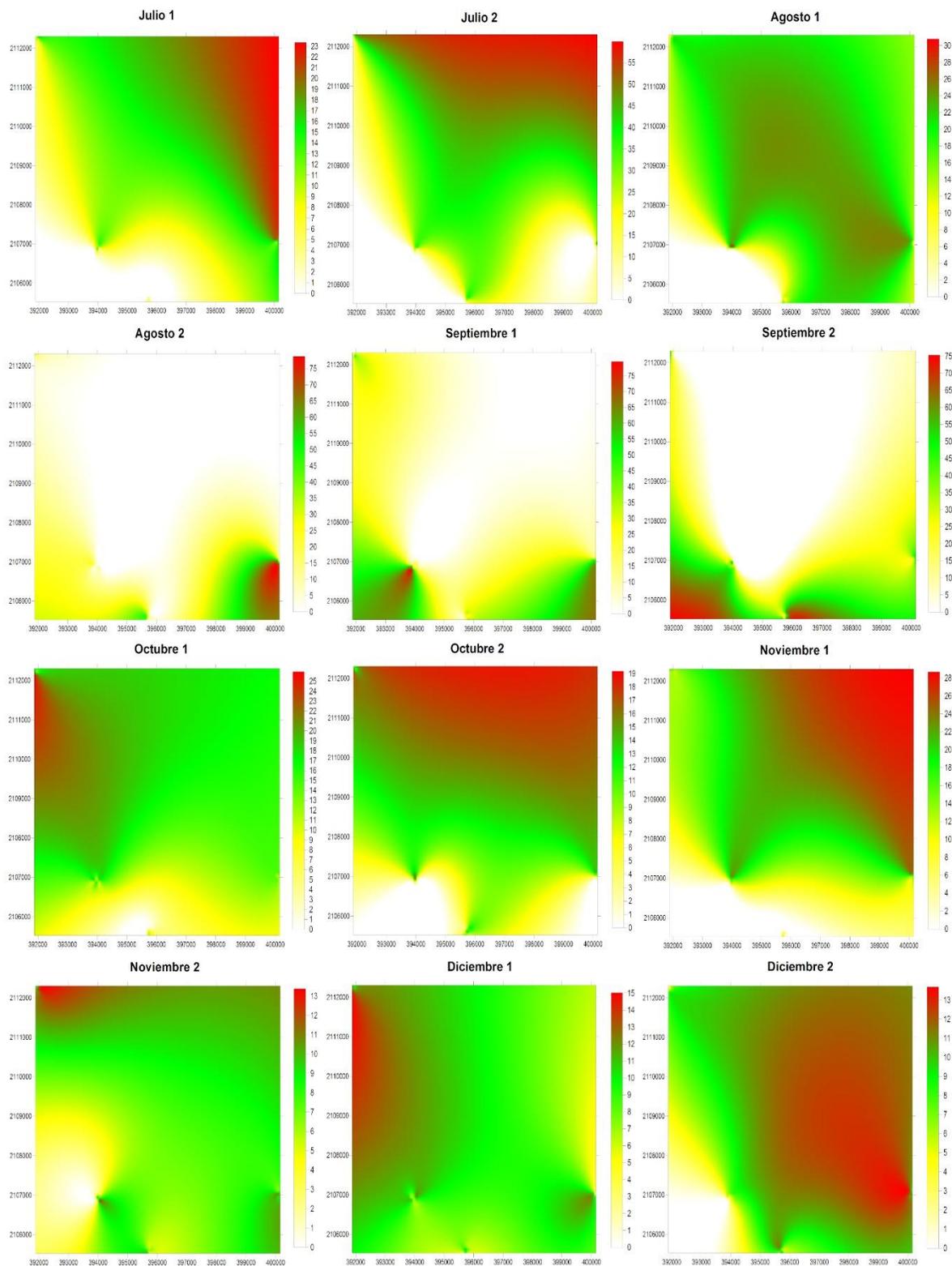


Figura 45. Mapas de infestación para el segundo semestre de 2017 en el municipio de Temascaltepec.



En el municipio de Tenancingo para el año 2017 (tabla 22) los modelos a los que se ajustaron los semivariogramas fueron esféricos en la mayoría de los casos, podemos observar que los modelos gaussianos se ajustaron a varias fechas de muestreo siendo este modelo que el que se ajustó con mayor frecuencia después del esférico, la media muestran mostro su mayor valor en el segundo muestreo de marzo con 38.78 trips mientras que la media más baja fue primer muestreo de diciembre con 5.88 trips, el rango fue mayor a 40 metros en la mayoría de los casos mientras que el efecto pepita fue igual a cero en todos los muestreos y por ende el nivel de dependencia espacial es alto en todos los casos.

Tabla 28. Parámetros (Efecto Pepita, Meseta y Rango) de los modelos ajustados a los semivariogramas de trips en Tenancingo 2017.

Mes	Modelo	Media Muestral	Rango	Meseta	Pepita	Nivel de Dependencia Espacial
Enero 1	Esférico	10.07	38.97	35.46	0	Alto
Enero 2	Esférico	12	47.88	49.69	0	Alto
Febrero 1	Esférico	11.56	45.38	59.64	0	Alto
Febrero 2	Esférico	14.92	40.9	126.94	0	Alto
Marzo 1	Gaussiano	25.55	33.79	338.5	0	Alto
Marzo 2	Esférico	38.78	48.9	986.4	0	Alto
Abril 1	Esférico	17.93	46.81	194.01	0	Alto
Abril 2	Esférico	13.27	51.14	74.85	0	Alto
Mayo 1	Esférico	7.35	51.14	22.21	0	Alto
Mayo 2	Esférico	8.68	46.73	43.51	0	Alto
Junio 1	Esférico	6.89	53.14	18.69	0	Alto
Junio 2	Esférico	15.69	46.65	74.12	0	Alto
Julio 1	Esférico	17.5	57.3	108.9	0	Alto
Julio 2	Esférico	11.94	41.22	51.08	0	Alto
Agosto 1	Gaussiano	18.56	40.69	172.12	0	Alto
Agosto 2	Gaussiano	23.77	32.73	325.71	0	Alto
Septiembre 1	Esférico	18.71	44.81	265.73	0	Alto
Septiembre 2	Gaussiano	32.36	31.06	530.35	0	Alto

Octubre 1	Esférico	9.09	51.06	59.33	0	Alto
Octubre 2	Gaussiano	8.59	29.06	39.45	0	Alto
Noviembre 1	Esférico	7.82	49.46	36.48	0	Alto
Noviembre 2	Gaussiano	7.48	28.57	30.5	0	Alto
Diciembre 1	Esférico	5.88	46.76	19.05	0	Alto
Diciembre 2	Esférico	7.51	45.55	29.76	0	Alto

Los valores de la validación cruzada se muestran a continuación (tabla 23) donde podemos observar que la varianza de los errores fue menor que la varianza muestral en todos los casos y la media de los errores de estimación fue no significativa para todos los muestreos, el error cuadrático medio fue mayor a cero pero menor a uno en los 24 casos y el error cuadrático medio adimensional fue mayor a uno igual para todos los muestreos.

Tabla 29. Valores de los estadísticos de la validación cruzada de los semivariogramas obtenidos en los muestreos en el municipio de Tenancingo 2017.

Mes	Muestreo	Media Muestral	Varianza Muestral	MEE	Varianza de los Errores	ECM	ECMA
Enero	1	10.07	39.2	0.12ns	22.81	0.05	1.11
Enero	2	12	57.31	0.13ns	44.22	0.11	1.15
Febrero	1	11.56	62.82	0.11ns	53.27	0.13	1.13
Febrero	2	14.92	135.37	0.14ns	125.26	0.07	1.09
Marzo	1	25.55	380.05	0.08ns	277.15	0.10	1.05
Marzo	2	38.78	1015.36	0.06ns	943.27	0.09	1.07
Abril	1	17.93	208.52	0.11ns	179.02	0.05	1.06
Abril	2	13.27	78.19	0.13ns	68.26	0.08	1.11
Mayo	1	7.35	23	0.05ns	19	0.15	1.14
Mayo	2	8.68	45.81	0.08ns	38.20	0.11	1.12
Junio	1	6.89	19.84	0.10ns	16.92	0.12	1.15
Junio	2	15.69	80.41	0.13ns	62.97	0.13	1.09
Julio	1	17.5	112.64	0.10ns	102.74	0.09	1.11
Julio	2	11.94	54.71	0.12ns	47.66	0.06	1.13

Agosto	1	18.56	184.2	0.11ns	125.94	0.08	1.06
Agosto	2	23.77	370.98	0.15ns	289.61	0.13	1.10
Septiembre	1	18.71	280.05	0.11ns	261.92	0.11	1.12
Septiembre	2	32.36	642.3	0.14ns	533.28	0.10	1.06
Octubre	1	9.09	63.02	0.07ns	59.22	0.15	1.08
Octubre	2	8.59	42.34	0.05ns	39.21	0.10	1.11
Noviembre	1	7.82	38.85	0.12ns	28.81	0.08	1.14
Noviembre	2	7.48	33.25	0.10ns	25.52	0.05	1.12
Diciembre	1	5.88	20.09	0.13ns	15.07	0.12	1.15
Diciembre	2	7.51	33.66	0.11ns	22.54	0.11	1.07

Para cada muestreo se elaboró un semivariograma el cual se ajustó a algún modelo teórico, en las figuras 42 y 43 podemos observar de manera gráfica lo que se muestra en la tabla 22 donde nos muestran a que modelo se ajustó cada semivariograma, el valor del rango, pepita, meseta y nivel de dependencia espacial.

Figura 46. Semivariogramas correspondientes al primer semestre de 2017 en el municipio de Tenancingo.

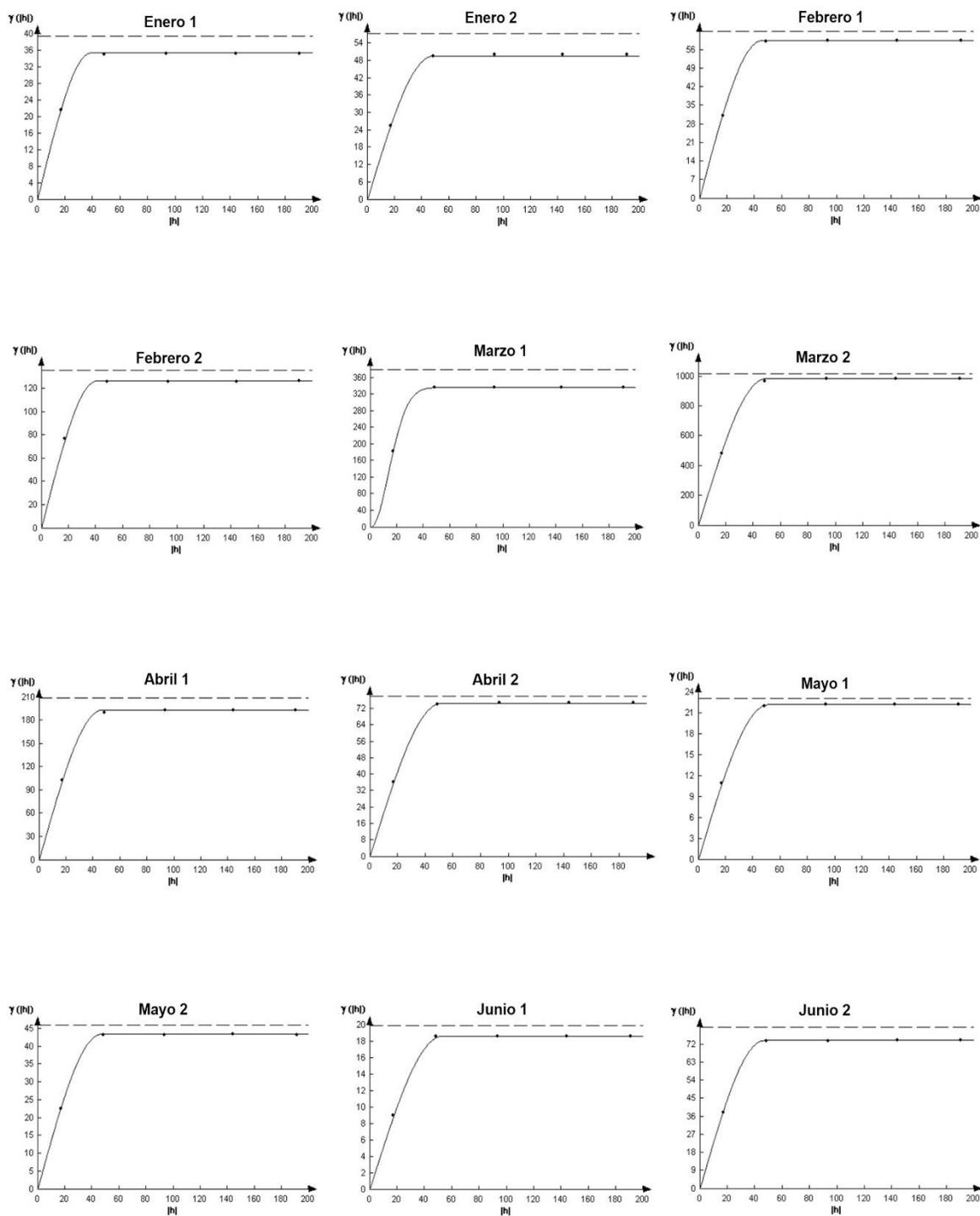
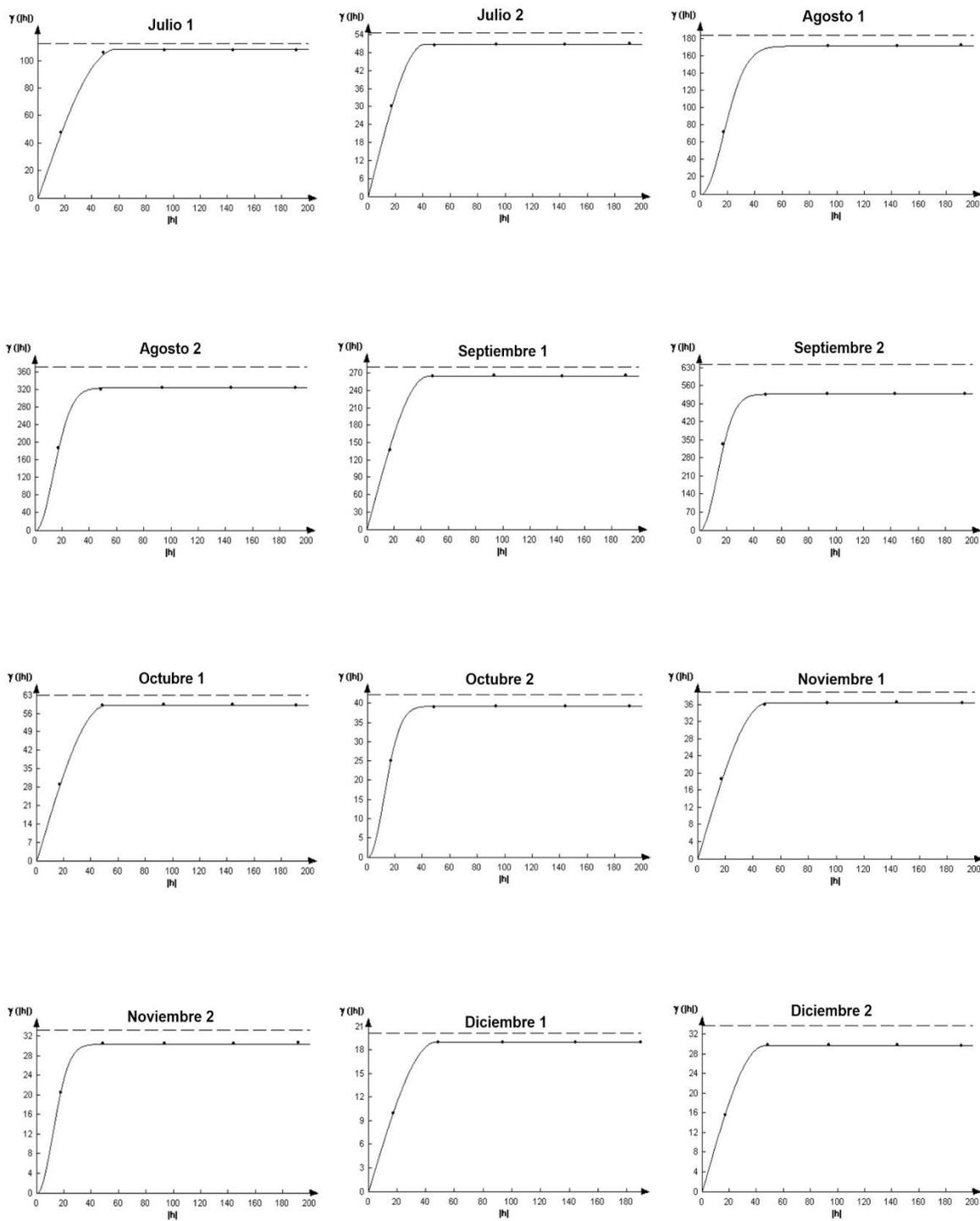


Figura 47. Semivariogramas correspondientes al segundo semestre de 2017 en el municipio de Tenancingo.



Se calculó la superficie infestada para todos los nuestros los cuales muestran valores por encima del 80% de infestación, en algunos casos como el mes de enero en sus dos muestreos la infestación fue del 100%, todo esto se puede corroborar con los mapas de infestación que también se muestran más adelante, debemos recordar que el porcentaje de infestación es un valor independiente a la fluctuación poblacional de trips dentro del área de estudio, aunque tengamos infestaciones de 100% podemos tener poblaciones bajas que no afecten el rendimiento, es por ello que es muy importante saber interpretar los mapas de infestación ya que serán de mucha ayuda en la realización de proyectos de manejo integrado de trips.

Tabla 30. Superficie infestada y no infestada (%) obtenida en el muestro de trips en Tenancingo para el año 2017.

Mes	Muestreo	% Infestado	%No Infestado
Enero	1	100	0
Enero	2	100	0
Febrero	1	90	10
Febrero	2	95	5
Marzo	1	92	7
Marzo	2	84	16
Abril	1	65	35
Abril	2	98	2
Mayo	1	89	11
Mayo	2	93	7
Junio	1	91	9
Junio	2	100	0
Julio	1	82	18
Julio	2	100	0
Agosto	1	82	18
Agosto	2	86	14
Septiembre	1	88	12
Septiembre	2	95	5
Octubre	1	90	10
Octubre	2	88	12

Noviembre	1	40	60
Noviembre	2	91	9
Diciembre	1	81	19
Diciembre	2	75	25

Figura 48. Mapas de infestación para el primer semestre de 2017 en el municipio de Tenancingo.

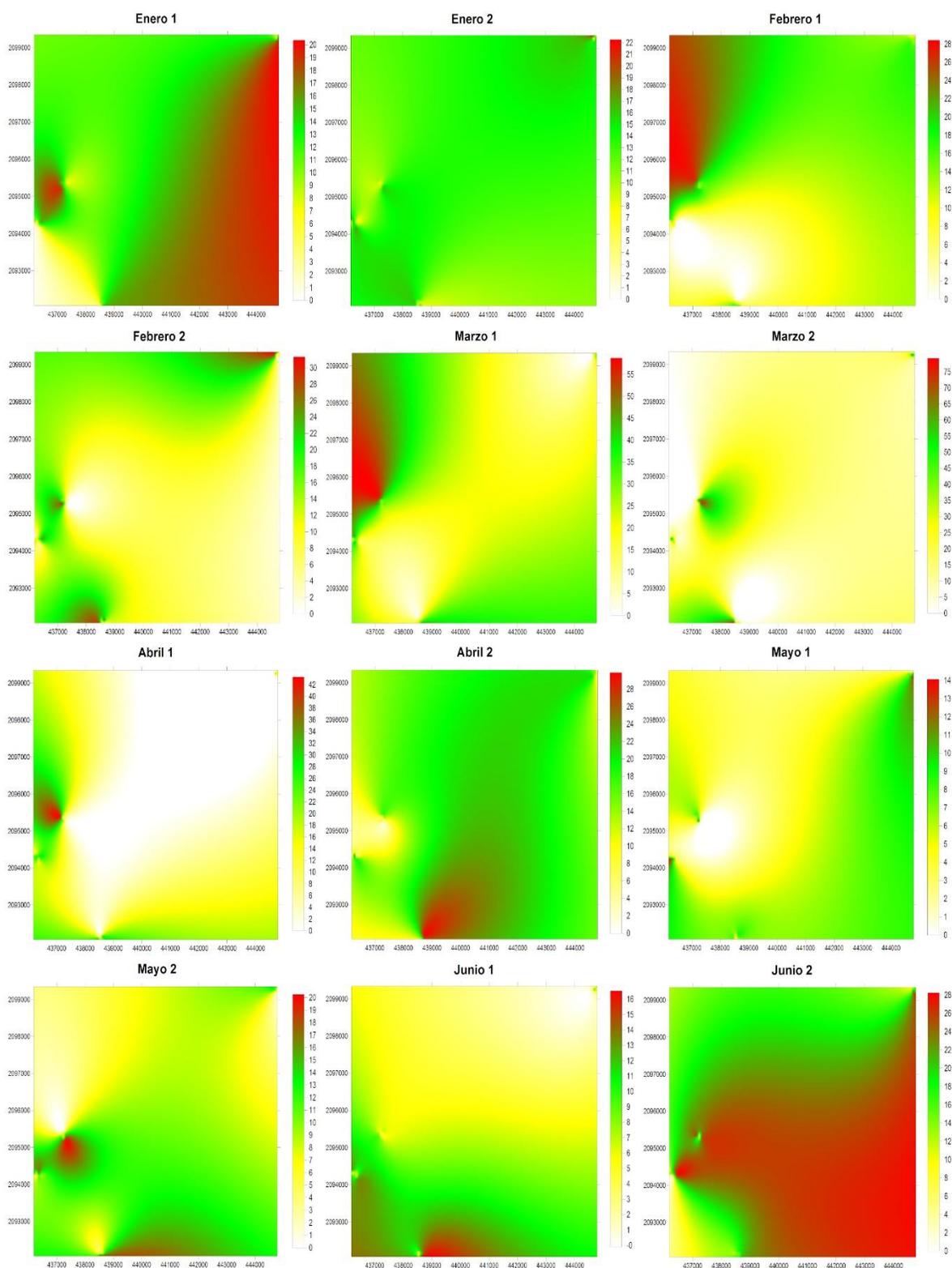
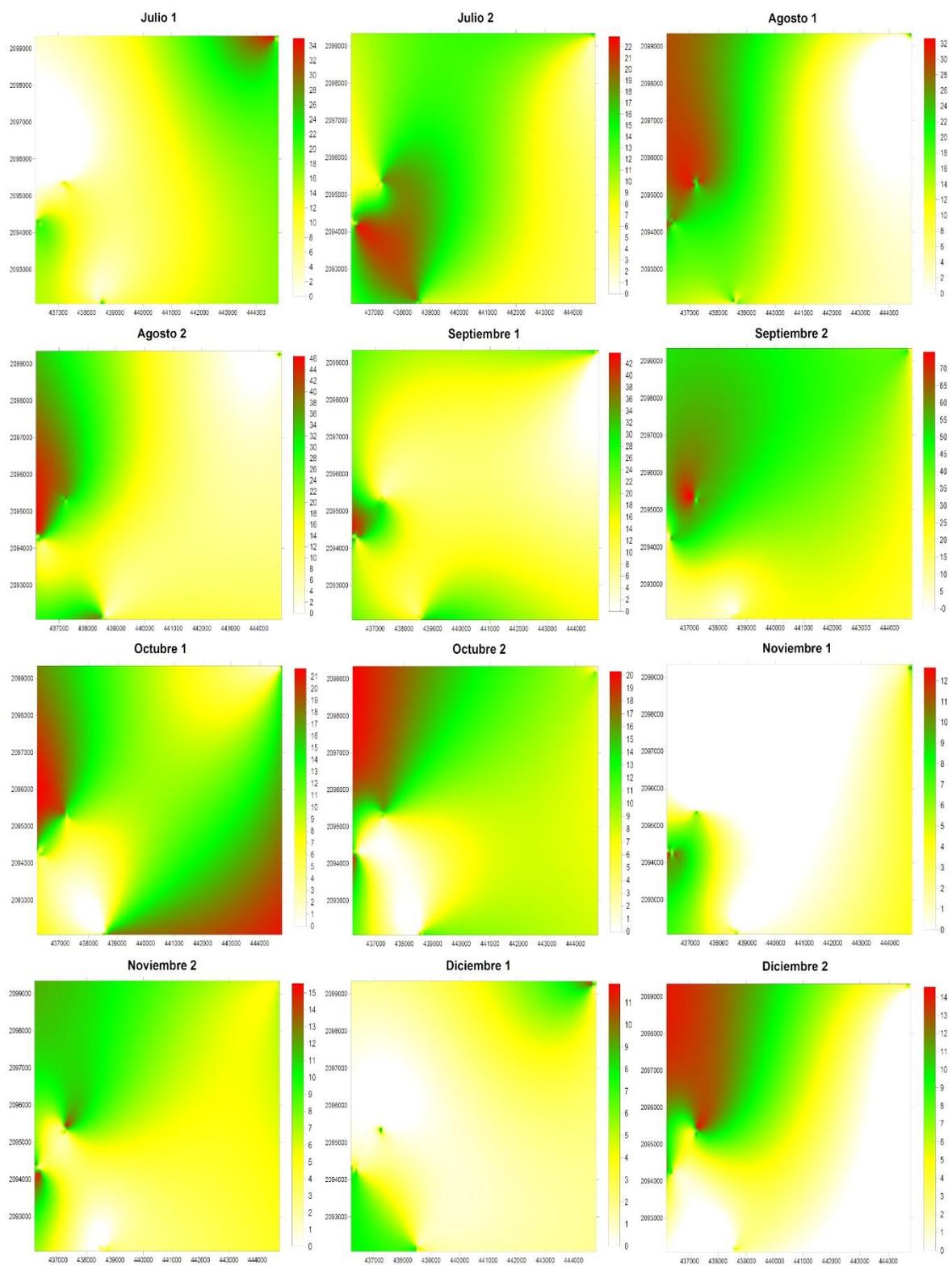


Figura 49. Mapas de infestación para el segundo semestre de 2017 en el municipio de Tenancingo.



IX. DISCUSION GENERAL

Conocer el comportamiento espacial de plagas que se presentan en unidades productoras de aguacate es muy importante ya que a partir de dicha información se pueden realizar programas de manejo integrado que ayuden a los productores a obtener mejores rendimientos a costos más bajos, tanto económicos como medio ambientales. El análisis espacial de trips que se realizó en el presente trabajo aporta conocimiento científico importante en el área de la geoestadística ya que generó información muy útil para conocer el comportamiento de trips dentro del cultivo.

La presencia de trips en el cultivo de aguacate se ha reportado desde los años 20's, se reportó que causaba daños tanto al follaje como a las flores y que por causa de esto producía una malformación de los frutos (Fisher y Davenport, 1989; González *et al.*, 2000), se reportó presencia de trips en los 48 muestreos realizados para los cuatro municipios, trabajos como Ascensión *et al.*, (199) reportan la presencia de trips en todos los meses de muestreo, así mismo Solares *et al.*, (2012) estudiaron la fluctuación poblacional de trips así como su distribución espacial, reportando presencia de trips en todos los meses del año.

Dentro del área de la geoestadística como una herramienta de modelización de multitud de fenómenos biológicos (Rossi *et al.* 1992), uno de los campos que más se está beneficiando es el de la protección de cultivos donde el conocimiento de la distribución espacial es de vital importancia para el manejo de plagas, enfermedades y malas hierbas (Liebhold *et al.*, 1993).

La aplicación de la Geoestadística en éste trabajo permitió modelizar la estructura espacial de los trips en la zona productora de aguacate en el Estado de México, modelos esféricos, gaussianos y exponenciales con efecto pepita igual a 0 en todos los casos, corroborando un método de muestreo correcto y un error mínimo. Al igual que Maldonado *et al.*, (2017) quien obtuvieron en su mayoría modelos esféricos en la distribución espacial de trips, en el presente trabajo en su mayoría los semivariogramas se ajustaron a modelos esféricos. Los resultados obtenidos mostraron la existencia de una estructura espacial agregada, siendo el nivel de dependencia espacial alto para todos los casos, este resultado fue porque el efecto

pepita fue igual a cero por lo que la escala de estudio fue la adecuada y el error de muestreo no fue demasiado importante (Oliver y Webster, 1991; McBratney y Pringle, 1999). Conocer el comportamiento espacial de los trips dentro de la zona productora de aguacate en el Estado de México implica que se pueden sugerir o implementar varios métodos de control de las poblaciones de dicho insecto plaga, además del control químico en áreas específicas y con aplicaciones dirigidas podemos recomendar a los productores controles mecánicos, culturales e incluso biológicos. El manejo integrado de los trips traerá consigo el ahorro económico por la disminución de aplicación de agroquímicos así como contribuir al cuidado del medio ambiente.

Los modelos a los que se ajustaron los semivariogramas fueron esféricos, gaussianos y exponenciales, el que se hayan ajustado los muestreos en su mayoría a modelos esféricos es indicativo que dentro del área de estudio existen zonas en las que se manifiesta más los trips respecto a los demás arboles muestreados, esto se refiere a que existen focos de infestación puntuales de donde propaga la plaga, en los muestreos donde se obtuvo un modelo exponencial explica que la distribución de trips 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 trips de una forma más rápida.

La fluctuación poblacional de trips en aguacate como lo menciona Urias *et al.*, (2007) se presenta los 12 meses del año siendo el mes de febrero el que presenta mayor población en inflorescencias, en el presente trabajo se presentaron las mayores densidades en el mes de marzo, coincidiendo también con la época de floración del aguacate, la temperatura y la precipitación son factores abióticos que afectan o favorecen la densidad de trips, las temperaturas de los 4 municipios fueron similares aunque los municipios de Tenancingo y Temascaltepec mostraron temperaturas medias más altas respecto a los otros dos municipios, las mayores densidades de trips contrario a esto se presentaron en Donato Guerra para los dos años, no es necesario tener las temperaturas más elevadas para encontrar las

mayores densidades de este insecto plaga, debemos tener en cuenta que existen otros factores como la presencia de maleza y la existencia de cultivos cercanos los cuales al igual que la maleza pueden ser reservorio de trips, cuando no encuentran alimento en el árbol migran a la maleza o a cultivos aledaños ya pueden llegar a moverse hasta 9 metros por día. Ramírez et al., (2013) mencionan en su trabajo que en el estado de Michoacán encontraron una distribución de tipo agregada, en el presente trabajo también se mostró una distribución de tipo agregada, aunque en el presente estudio no se encontró una estabilidad espacial a corto plazo para los municipios de Tenancingo y Temascaltepec para Ramírez *et al.*, (2013) si se obtuvo estabilidad espacial y temporal a corto plazo. En lo que se refiere a la estructura espacial Weisz *et al.*, (1996) mencionan que debido a la movilidad innata de los insectos adultos la estructura espacial hallada debe de considerarse “dinámica”, es por ello que no se encontró una estabilidad espacial y temporal por el hecho de ser plagas dinámicas y muy móviles, factores abióticos como se mencionó anteriormente puede ser la causa de que los trips no presenten una estabilidad espacial y temporal.

Uno de los objetivos planteados en este trabajo ha sido estudiar la posible existencia de estabilidad espacial y temporal a corto plazo. Si bien en principio parece que las poblaciones de insectos son poco propensas a presentar estabilidad espacio-temporal debido a la naturaleza dinámica de los mismos, especialmente de los adultos. En este caso, el estudio de los trips permitió obtener resultados que muestran que no existe en la mayoría de las comparaciones estabilidad a corto plazo.

La utilización de técnicas geoestadísticas permite la elaboración de mapas de densidad, los mapas que se obtuvieron con la técnica del krigeado pueden ayudar en el manejo preciso de las poblaciones de plagas (Rong *et al.*, 2006). Con la ayuda de estos mapas se puede reducir el uso de insecticidas (Fleischer *et al.*, 1999b). Varios autores han utilizado la elaboración de mapas de densidad como una herramienta que se le puede ofrecer al productor, Solares *et al.*, (2012) utilizó el método del krigeado para elaborar mapas de densidad de trips en aguacate, Rivera *et al.*, (2017) utilizó dichos mapas para mostrar el comportamiento espacial de

Bactericera cockerelli en tomate de cascara, mientras que Acosta *et al.*, (2017) mostro el comportamiento de trips pero al estar en contacto con un depredador y así observar de manera gráfica cómo se comporta el trips con la presencia de algún depredador. Mapas de densidad poblacional los utiliza Esquivel y Jasso, (2014) quien 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.

X. CONCLUSIONES

- 1.- En todos los muestreos de 2016 y 2017 se reportó presencia de trips para los cuatro municipios del Estado de México.
- 2.- Las poblaciones de trips que se presentan dentro de las unidades productivas de aguacate en el Estado de México se presentan en forma de agregados.
- 3.- La Geoestadística y el método de SADIE mostraron ser eficaces para establecer el comportamiento espacial de las poblaciones de trips en el cultivo de aguacate en el Estado de México.
- 4.- Las poblaciones de trips no mostraron una estabilidad espacial y temporal a corto plazo para el año 2016, esto demostrado con los mapas realizados por la técnica del Krigeado.
- 5.- Con la técnica del krigeado se lograron realizar mapas de infestación de los cuatro municipios para los 48 muestreos realizados.
- 6.- La superficie infestada de trips en los cuatro municipios del Estado de México paso del 50% de infestación en todos los casos.
- 7.- Las fases fenológicas del cultivo mostraron tener relación directa con la presencia de trips, especialmente en época de floración es cuando aumenta la presencia de trips en el cultivo de aguacate.
- 8.- La temperatura y la precipitación influyó de manera directa en la fluctuación población de trips en los cuatro municipios del Estado de México.

9.- Con las técnicas de precisión que se utilizaron en el presente trabajo se pueden realizar programas de manejo integrado de trips que englobe varias técnicas de control dentro de una misma unidad de producción.

XI. BIBLIOGRAFIA

- ACOSTA, A. D., RAMÍREZ, J. F., RIVERA, R., FIGUEROA, D. K., LARA, A. V., MALDONADO, F. I., y TAPIA, A. 2017. Distribución espacial de *Trips* spp.(Thysanoptera) y evaluación de su control mediante el depredador *Amblyseius swirskii* en el cultivo de aguacate en México. *Southwestern Entomologist*, 42(2), 435-447.
- ASCENSIÓN, B. G., BRAVO, M. H., GONZÁLEZ, H. H., JOHANSEN R. y BECERRIL, R. E. 1999. Fluctuación poblacional y daño por trips en aguacate cv. Hass. IV Congreso Mundial del Aguacate. Revista Chapingo serie Horticultura 5: 291-296.
- BLOM, P. E., Y FLEISCHER, S. J. 2001. Dynamics in the spatial structure of *Leptinotarsa decemlineata* (Coleoptera: Chrysomelidae). *Environmental Entomology*, 30(2), 350-364.
- BOITEAU, G.; BRADLEY, J.; VAN DUYN, J. y STINNER, R. 1979. Bean leaf beetle: micro-spatial patterns and sequential sampling of field populations. *Environ. Entomol.* 8: 1139-1144.
- 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. Sci. Soc. Am. J.* 58, 1501-1511.
- CASTELLA, 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. *Agric. Ecosyst. Environ.* 72 (1): 17-34.
- CHICA OLMO, M., DELGADO GARCIA, J. y PARDO IGÚZQUIZA, E. 1995. *Introducción al análisis Geoestadístico de variables espaciales*. Omega. Logroño. 308 Pp.
- CHILÉS, J. P. y DELFINER, P. 1999. *Geostatistics: Modeling spatial uncertainty*. John Wiley & Sons, Nueva York. 695 Pp.

CONAGUA. 2016. Consultado diciembre de 2016
<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.

CORIA, A. V. M. 1993. Principales plagas del aguacate en Michoacán Folleto para productores Núm. 19. SAGARPA INIFAP.

CRAWFORD, D. 1914. A monograph of the jumping plant – lice of Psyllidae of the New Worl. *United States Nat. Mus. Bulletin*. 85: 1-186.

DUNGAN, J.L., PERRY, J.N., DALE, M.R.T., CITRON-POUSTY, S., FORTIN, M.-J., JAKOMULSKA, A., LEGENDRE, P., MIRITI, M. Y ROSENBERG, M. 2002. A balanced view of scaling in spatial statistical analysis. *Ecography*. 25: 626-640.

EMERY, X. 2005. Simple and ordinary multigaussian kriging for estimating recoverable reserves, *Mathematical Geology*, 37(3): 295-319.

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, 186 p.

ESQUIVEL, V., Y JASSO, 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.

FALEIRO, J.; KUMAR, A. y RANGNEKAR, P. 2002. Spatial distribution of red palm weevil *Rhynchophorus ferrugineus* Oliv. (Coleoptera: Curculionidae) in coconut plantations. *Crop Protection*. 21: 171-176.

FAO. 2018. Consultado en Noviembre de 2018. <http://www.fao.org/home/es/>

FISCHER, J. B., Y DAVENPORT, T. L. 1989. Structure and development of surface deformation on avocado fruits. *HortScience*, 24: 841-844.

- GARCÍA, F. M. 2004. Aplicación de la geoestadística en las ciencias ambientales. *Revista Ecosistemas*, 13(1).
- GARCIA, S., Y CORTÉS-FLORES, J. I. 1986. Root distribution of mature avocado trees growing in soils of different texture. *Calif. Avocado Soc. Yrbk*, 70, 165-174.
- GONZÁLEZ HERNÁNDEZ, H., JOHANSEN, R., GASCA, L., EQUIHUA, A., SALINAS, A., ESTRADA, E., DURAN, F. & VALLE, A. 2000. *Plagas del aguacate*. In: Téliz., D. (cd). El Aguacate y su Manejo Integrado. Ediciones Mundi Prensa. México, DF. pp: 177-186.
- GOOVAERTS, P. 2000. Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall. *Journal of Hydrology*. 228: 113-129.
- 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.
- HERNÁNDEZ, H. G., RAMOS, A. M., DE LA PAZ, A. V., y GONZÁLEZ, M. 1999. Selección de trampas de color y fluctuación poblacional de trips del aguacate en Michoacán, México. *Revista Chapingo serie Horticultura*, 5, 287-290.
- 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.
- HODDLE, M. S. 2002. Development and reproductive biology of *Scirtothrips perseae* (Thysanoptera: Thripidae). *Review avocado post in California Bulletin Entomology Research*, 92: 279-285.
- HODDLE, M.S., S. NAKAHARA y P. A. PHILLIPS. 2002. Foreign exploration for *Scirtothrips perseae* Nakahara (Thysanoptera: Thripidae) and associated natural enemies on avocado (*Persea americana* Miller). *Biol. Control* 24: 251-265.
- HOLLAND, J.M., BEGBIE, M., BIRKETT, T., REYNOLDS, C.J.M. & THOMAS, C.F.G. 2001. The influence of hedgerows on coleopteran distributions: results

- from a multi-field sampling study. In: Hedgerows of the World, Proceedings of IALE (UK) 2001, 177-186.
- ISAAKS, E. H. y SRIVASTAVA; R: M: 1989. An introduction to applied geostatistics. Oxford university press, Nueva York. 561 Pp.
- JOHANSEN, R. M., MOJICA G. A. y ASCENSIÓN, B. G. 1999. Introducción al conocimiento de los insectos tisanópteros mexicanos, en el aguacatero (*Persea americana* Miller). Rev. Chapingo Ser. Horticultura 5 (Núm. Esp.):279-285
- JOHANSEN, R. M., y MOJICA, G. A. 1997. Importancia agrícola de los trips. *Manual sobre entomología y acarología aplicada*, 11-18.
- JOURNEL, A. G. 1986. Geostatistics, models and tools for the earth sciences. *Math. Geol.* 18(1): 119-140.
- JOURNEL, A. G. y HUIJBREGTS, C. J. 1978. *Mining geostatistics*. Academic Press, London, Reino Unido. 600 Pp.
- KORIE, S; PERRY, J; MUGGLESTONE, M; CLARK, S; THOMAS, C. y MOHAMAD, R. 2000. Spatiotemporal Associations in beetle and virus count data. *Journal of Agricultural, Biological and Environmental Statistics*. 5: 214-239.
- KUNO, E. 1991. Sampling and analysis of insect populations. *Annu. Entomol.* 36: 285-304.
- LIEBHOLD, M., Rossi, E., & Kemp, P. 1993. Geostatistics and Geographic Information Systems in applied Insect Ecology. *Annual Review Entomology* 38: 303-327.
- LLANDERAL, P. L., y ORTEGA, H. A. 1990. *Hábitos e identificación del barrenador pequeño de la semilla del aguacate (Conotrachelus persae Barber) en Ziracuaretiro, Mich* (Doctoral dissertation, Tesis de Parasitología Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, Mexico State, Mexico).
- LÓPEZ-GRANADOS, F., JURADO-EXPÓSITO, M., ATENCIANO, S., GARCÍA-FERRER, A., SÁNCHEZ, M. & GARCÍA-TORRES, L. 2002. Spatial variability of agricultural soil parameters in southern Spain. *Plant and Soil*. 246: 97-105.

- MATHERON, G. 1962. Traite de geostatistique appliquee, tome 1 and 2, Memoires du bureau de recherches Geologiques Et minieres, Tecnip, Paris, 1962-3.
- 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.
- MIDGARDEN, D. G., YOUNGMAN, R. R., FLEISCHER, S. J. 1993. Spatial analysis of counts of western com rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae) adults on yellow sticky traps in corn: geostatistics and dispersion indices. *Environmental Entomology*, 22(5), 1124-1133.
- NAAMANI, G. 2007. Developments in the Avocado World. California Avocado Society Yearbook 90: 71-96.
- NANSEN, C., MEIKLE, W.G. & KORIE, S. 2002. Spatial analysis of *Prostephanus truncatus* (Bostrichidae: Coleoptera) flight activity near maize stores and in different forest types in southern Benin, West Africa. *Annals of the Entomological Society of America*. 95:66-74.
- NOWIERSKI, R. y GUTIERREZ, A. 1986. Microhabitat distribution and spatial dispersion pattern of the walnut aphid, *Chromaphis juglandicola* (Homoptera : Aphididae), in California. *Environ. Entomol.* 15 : 555-561.
- OLIVER, M. A., Y WEBSTER, R. 1991. How geostatistics can help you. *Soil use and Management*, 7(4), 206-217.
- ORTIZ, M. & EMERY, X. 2006. Geostatistical estimation of mineral resources with soft geological boundaries: a comparative study, *Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy*. 106(8): 577-584.
- PERRY, J. 1995 b. Spatial Analysis by distance indices. *Journal of Animal Ecology*. 64: 303 -314.
- PERRY, J. 1995a. Spatial aspects of animal and plant distribution in patchy farmland habitats. *In Ecology and Integrated Farming Systems*. Eds. D. M.

- Glen, M. A. Greaves, H. M. Anderson. Chichester, England . Wiley. 221 – 242 Pp.
- PERRY, J. 1997. Spatial association for counts of two species. *Acta Jutlandica*. 72: 149-169.
- PERRY, J. 1998. Measures of spatial pattern for counts. *Ecology*. 79(3): 1008-1017.
- PERRY, J.; 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. & DIXON, P. 2002. A new method for measuring spatial association in ecological count data. *Ecoscience*. 9: 133-141.
- PERRY, J.N., LIEBHOLD, A., ROSENBERG, M.S., DUNGAN, J., MIRITI, M., JAKOMULSKA, A. & CITRON-POUSTY, S. 2002. Illustration and Guidelines for Selecting Statistical Methods for Quantifying Spatial Patterns in Ecological Data. *Ecography*. 25: 578-600.
- PERRY, J; BELL, E; SMITH, R. y WOIWOD, I. 1996. SADIE. Software to measure and model spatial pattern. *Aspects of Applied Biology*. 46: 95- 102.
- PERRY, 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.
- RAMÍREZ DÁVILA, J. F., SOLARES ALONSO, V. M., FIGUEROA, D. K., & SÁNCHEZ PALE, J. R. (2013). Comportamiento espacial de trips (Insecta: Thysanoptera), en plantaciones comerciales de aguacate (*Persea americana* Mill.) en Zitácuaro, Michoacán, México. *Acta zoológica mexicana*, 29(3), 545-562.
- RAMÍREZ-DÁVILA, J. F., GONZÁLEZ-ANDUJAR, J. L., LÓPEZ, M. A., OCETE, R., Y LARA, M. 2005b. La problemática causada por el mosquito verde, *Jacobiasca lybica* (Bergevin & Zanon) (Hemiptera: Cicadellidae) en el viñedo andaluz. Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía, España. 337 Pp.

- RAMÍREZ-DÁVILA, J. F., GONZÁLEZ-ANDUJAR, J. L., LÓPEZ, M. A., Y OCETE, R. 2005a. Modelización y mapeo de la distribución espacial de las ninfas del mosquito verde *Jacobiasca lybica* (Bergevin & Zanon) (Hemiptera: Cicadellidae) en viñedo. *Bol. San. Veg. – Plagas*. 31: 119-132.
- RAMÍREZ-DAVILA, J. F., GONZÁLEZ-ANDUJAR, J. L., OCETE, R y LÓPEZ, M. A. 2002. Descripción geoestadística de la distribución espacial de los huevos del mosquito verde *Jacobiasca lybica* (Bergenin & Zanon) (Homoptera: Cicadellidae), en viñedo: modelización y mapeo. *Boletín de Sanidad Vegetal – Plagas*. 28:235-240.
- RAMÍREZ-DAVILA, J. F., PORCAYO-CAMARGO, E., SÁNCHEZ-PALE, JR, y VÁZQUEZ-GARCÍA, L. M. 2011. Spatial Behavior Comparison of *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: Triozidae) in Mexico. *Neotropical Entomology* 43 (2): 157-173.
- RIBES DASI, M., BASCUÑANA CASASÚS, M., y AVILLA HERNÁNDEZ, 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*, 1998, vol. 24, núm. 4A, p. 935-948.
- RIVERA, R., ACOSTA, A. D., RAMÍREZ, J. F., FIGUEROA, D. K., MALDONADO, F. I., y LARA, A. V. 2017. Distribución Espacial de las Poblaciones de Adultos de *Bactericera cockerelli* Sulc. 1 en el Cultivo de Tomate de Cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Southwestern Entomologist*, 42(4), 1057-1069.
- RIVOIRARD, J., SIMMONDS, J., FOOTE, K., FERNANDEZ, P. y BEZ, N. 2000. *Geostatistics for estimating fish abundance*, Blackwell science, Oxford. 206 Pp.
- ROSS, C. J. S. 1987. Maximum likelihood program. Rothamsted Experimental Station Harpenden. UK.

- ROSSI, R., MULLA, J., JOURNEL, G. y FRANZ, E. 1992. Geostatistical tools for modeling and interpreting ecological spatial dependence. *Ecological Monographs* 62:277-314.
- SAGARPA. 2018. Consultado en Enero de 2018. <https://www.gob.mx/agricultura>
- SALGADO S., M. L. 1993. Problemas fitosanitarios del aguacate en Coatepec Harinas. In: *Memorias Centro de Investigaciones científicas y tecnológicas del aguacate en el Estado de México*. pp: 191-212.
- SAMPER, F. J. y CARRERA, J. 1996. *Geoestadística: Aplicaciones a la Hidrología subterránea*. 2nd ed. Centro Internacional de Métodos en Ingeniería, Barcelona, España, 484 p.
- 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.
- SIAP. 2017. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). <http://www.siap.gob.mx/> (Consultada: 03 de Agosto de 2017).
- SOLARES, V. M., RAMÍREZ, J. F., y SÁNCHEZ, J. R. 2011. Distribución espacial de Trips (Insecta: Thysanoptera) en el cultivo de aguacate (*Persea Americana* Mill).
- SYRJALA, E. 1996. A statistical test for a difference between the spatial distributions of two population. *Ecology* 77:75-80.
- TAYLOR, L. 1961. Agregation, variance and the mean. *Nature*. 189: 732-735.
- TAYLOR, L. 1984. Assessing and interpreting the spatial distributions of insect populations. *Annu. Rev. Entomol.* 29: 321-357.
- TAYLOR, L. R.; TAYLOR, R. A; WOIWOD, I. y PERRY, J. 1983. Behavioural dynamics. *Nature*. 303: 801- 4.
- TAYLOR, L. y WOIWOD, I. 1980. Temporal stability as a density-dependent species characteristic. *J. Anim. Ecol.* 49: 209- 24.

- TAYLOR, L. y WOIWOD, I. 1982. Comparative synoptic dynamics. I. Relationships between Inter. – and intraspecific spatial and temporal variance / mean population parameters. *J. Anim. Ecol.* 51: 879-906.
- TÉLIZ, D., Y MARROQUÍN, F. J. 2007. Importancia histórica y socioeconómica del aguacate. *El aguacate y su manejo integrado*.
- TREMATERRA, P. y SCIARRETTA, A. 2002. Spatial distribution of some beetles infesting a feed mill with spatio-temporal dynamics of *Oryzaephilus surinamensis*, *Tribolium castaneum* and *Tribolium confusum*. *Journal of Stored Products Research.* 40: 363-377.
- TREMATERRA, P., GENTILE, P., y SCIARRETTA, A. 2004. Spatial análisis of pheromone trap catches of codling moth (*Cydia pomonella*) in two heterogeneous agro-ecosystems, using geostatistical techniques. *Phytoparasitica.* 32(4): 325-341.
- TRUMBLE, J.; OATMAN, E. y VOTH, V. 1983. Temporal variation in the spatial dispersion patterns of aphids (Homoptera: Aphididae) infesting strawberries. *Environ. Entomol.* 12: 595-598.
- URÍAS, M. A., SALAZAR, S., y JOHANSEN, R. 2007. Identificación y fluctuación poblacional de especies de trips (Thysanoptera) en aguacate'Hass' en Nayarit, México. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 13(1), 49-54.
- WACKERNAGEL, H. 1998. Multivariate geostatistics: An introduction with applications. 2ª Ed. Springer-Verlag, Berlin. 29 Pp
- WEBSTER, R. y OLIVER, M. A. 2001. Geostatistics for environmental scientists. John Wiley & Sons, Chichester. 251 Pp.
- WIMMER D., HOFFMANN D., y SCHAUSBERGER P. 2008. Prey suitability of western flower thrips, *Frankliniella occidentalis*, and onion thrips, *Thrips tabaci*, for the predatory mite *Amblyseius swirskii*. *Biocontrol Science and Technology* 18:541-560

WINDER, L., WOOLEY, C., HOLLAND, J.M., PERRY, J.N. y ALEXANDER, C.J.
2000. The field-scale distribution of insects in winter wheat. Proceedings of
the 2000 Brighton Conference – Pests and Diseases: 2: 573-578.