



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
RECURSOS NATURALES

ANÁLISIS ESPACIAL DE LAS POBLACIONES DE ARAÑA ROJA (*Olygonichus punicae* Hirst) Y SU DAÑO EN EL CULTIVO DEL AGUACATE, EN EL ESTADO DE MÉXICO

TESIS

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

PRESENTA:

FIDEL LARA VÁZQUEZ

COMITÉ TUTORIAL

Dr. José Francisco Ramírez Dávila, Tutor Académico

Dr. Martín Rubí Arriaga, Tutor Adjunto

Dr. Édgar Jesús Morales Rosales, Tutor Adjunto

El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México, junio 2019

RESUMEN

El Aguacate (*Persea americana* Mill.) es un cultivo perene que en los últimos años ha tenido un auge importante, por su gran aceptación en el mercado nacional e internacional. La presente investigación se realizó con el objetivo de establecer el comportamiento espacial y la estabilidad espacio temporal de las poblaciones de araña roja *Olygonichus punicae* (Hirst) y su daño en el cultivo de aguacate, variedad Hass, en el Estado de México, dado que las alternativas que se utilizan como control han carecido de eficacia debido a que se desconoce la distribución espacial que guarda este ácaro dentro de las huertas de aguacate. Dicho comportamiento espacial permitirá focalizar las alternativas de control haciéndolas más eficientes y enfocarlas únicamente a los centros de agregación, este comportamiento espacial se identifica a través de las técnicas que brinda la estadística espacial (Geoestadística y SADIE) en el caso de la geoestadística se elaboraron mapas de distribución espacial por medio de Kriging y la estimación de la superficie infestada. Los resultados indican que las poblaciones de araña roja presentan una distribución de tipo agregada, ajustándose a los modelos de tipo Gaussiano, Esférico y Exponencial. Dicho comportamiento fue corroborado por los índices de SADIE y los mapas de densidad. Las infestaciones no se distribuyen en el 100% habiendo lugares donde es poca la infestación, lo cual permitiría dirigir de manera eficaz acciones de control.

Palabras Claves: Geoestadística, SADIE, Kriging ordinario, *Olygonichus punicae* (Hirst), *Persea americana* Mill.

ABSTRACT

The Avocado (*Persea americana* Mill.) Is a perennial crop that in recent years has had an important boom, for its great acceptance in the national and international market. The present investigation was carried out with the objective of establishing the spatial behavior and temporal space stability of the populations of the red spider mite *Olygonichus punicae* (Hirst) and its damage in the avocado cultivation, Hass variety, in the State of Mexico, given that the Alternatives that are used as control have lacked efficacy because the spatial distribution of this mite inside the avocado orchards is unknown. This spatial behavior will allow to focus the control alternatives making them more efficient and focus only on the aggregation centers, this spatial behavior is identified through the techniques provided by spatial statistics (Geostatistics and SADIE) in the case of geostatistics maps were elaborated of spatial distribution by means of Kriging and the estimation of the infested surface. The results indicate that red spider populations have an aggregate type distribution, adjusting to the Gaussian, Spherical and Exponential models. This behavior was corroborated by SADIE indexes and density maps. The infestations are not distributed at 100%, where there is little infestation, which would effectively control actions.

Key Word: Geostatistics, SADIE, Ordinary Kriging, *Olygonichus punicae* (Hirst), *Persea americana* Mill.

AGRADECIMIENTOS

Dedico la presente investigación a mi esposa e hijos, los cuales han estado presentes en todas mis metas.

Agradezco a mi tutor académico, al Dr. José Francisco Ramírez Dávila, por su gran labor en la transferencia de conocimientos a lo largo de este proceso, por su gran calidez humana y por su apoyo permanente en todos los aspectos tanto académicos como cotidianos.

Le agradezco a mis tutores; los Doctores: Martín Rubí Arriaga y Édgar Jesús Morales Rosales, por sus aportaciones y su apoyo en la presente investigación, a mis sinodales y revisores cuyas aportaciones fueron valiosas para enriquecer el presente trabajo.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por cumplir con uno de sus compromisos a la sociedad, concerniente a la formación de recursos humanos, de alta calidad.

CONTENIDO

RESUMEN	i
ABSTRACT	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
CONTENIDO	iv
LISTA DE TABLAS	vii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 Origen del Aguacate	3
2.2 Situación del cultivo a nivel mundial	7
2.3 Importancia del Aguacate en México	8
2.4 Distribución del aguacate en el Estado de México	10
2.5 Descripción de la franja aguacatera del Estado de México	11
2.6 Clasificación taxonómica del aguacate	12
2.7 Aspectos botánicos	13
2.7.1 Sistema Radicular	14
2.7.2 Semilla y hojas	14
2.7.3 Tallo	15
2.7.4 Floración	15
2.7.5 Fructificación y Maduración del fruto	16
2.8 Requisitos agroecológicos del cultivo de aguacate	16
2.8.1 Clima	16
2.8.2 Temperatura y radiación solar	17
2.8.3 Suelo	18
2.8.4 Precipitación	18
2.8.5 Vientos	18
2.8.6 Altitud	19
2.9 Problemas fitosanitarios en el cultivo del Aguacate (Persea americana Mill.)	19

2.9.1	Enfermedades de importancia en el cultivo de Aguacate (<i>P. americana</i>)	19
2.9.2	Antracnosis (<i>Colletotrichum gloesporioides</i> , <i>Glomerella cingulata</i>)	20
2.9.3	Roña del aguacate	21
2.9.4	Marchitamiento por <i>Verticillium</i>	22
2.9.5	Tristeza del aguacate (<i>Phytophthora cinnamomi</i> Rands)	22
2.9.6	Pudrición de la raíz (<i>Rosellinia</i> spp.)	23
2.9.7	Otras enfermedades.	24
2.10	Plagas de importancia económica en el cultivo del Aguacate (<i>P. americana</i>)	24
2.10.1	Trips.	25
2.10.2	Hemípteros	26
2.10.3	Araña blanca cristalina	27
2.10.4	Mosca blanca	27
2.10.5	Lepidópteros	28
2.10.6	Barrenador de las ramas (<i>Copturus aguacate</i> Kissinger)	28
2.10.7	Barrenador grande del hueso del aguacate (<i>Heilipus lauri</i> Boheman)	30
2.11	Araña roja (<i>Oligonychus punicae</i> Hirst)	31
2.11.1	Ubicación taxonómica (Krantz, 2009)	33
2.11.2	Características de diagnóstico	33
2.11.3	Biología y ciclo de vida	34
2.11.4	Medidas de control	34
2.11.5	Umbral económico	34
2.11.6	Prácticas culturales	35
2.12	Sistema de Posicionamiento Global (GPS)	36
2.13	Estadística espacial	37
2.14	Geostatística	38
2.14.1	Ventajas de la Geoestadística	39
2.14.2	Etapas comprendidas en un análisis geoestadístico	39

2.14.3 Estimación del semivariograma.	40
2.14.4 Tipos de semivariogramas	41
2.14.5 Parámetros del semivariograma	42
2.14.6 Kriging	43
2.14.7 Validación	44
2.14.8 Nivel de dependencia espacial	46
2.15 Análisis Espacial por Índices de Distancia (SADIE)	46
2.15.1 Índice <i>Ia</i> y <i>Ij</i>	47
2.16 Caracterización de la zona de estudio	47
2.16.1 Coatepec Harinas	47
2.16.2 Donato Guerra	48
2.16.3 Temascaltepec	49
2.16.4 Tenancingo	50
III. JUSTIFICACIÓN	52
IV. HIPOTESIS.	53
V. OBJETIVOS	53
5.1 Objetivos particulares	53
VI. MATERIALES Y MÉTODOS	54
6.1 Descripción del área de estudio.	54
6.2 Análisis e interpretación de los datos	55
6.3 Geoestadística	55
6.4 Análisis Espacial por Índices de Distancia (SADIE).	59
VII. RESULTADOS	61
7.1 Capítulo 1	62
7.2 Capítulos 2	82
7.3 Capítulo 3	113
7.4 Otros resultados	134
X. DISCUSIÓN GENERAL	143
XI. CONCLUSIONES	147
XII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	149

LISTA DE TABLAS

TABLA 1	Superficie cultivada de aguacate por Estado, Producción total (Ton) y Rendimiento (ton/ha), hasta el mes de diciembre 2018.	9
----------------	---	---

I. INTRODUCCIÓN

La globalización ha hecho que los mercados que antes era imposible tener acceso, hoy día se tenga apertura pudiendo comprar y ofrecer productos a diferentes países, lo que representa un crecimiento económico y agrícola en cada uno de estos.

El aguacate, *Persea americana* Mill., en Estados Unidos, como en países del continente Europeo y Asiático, se está incorporado a su dieta, lo que ha hecho que la producción agrícola de este producto en el país esté en crecimiento, ya que se estima que, de cada tres aguacates que se encuentran en el mundo uno es de origen Mexicano, siendo Michoacán la entidad federativa con mayor producción de aguacate a nivel nacional (92.5 %), le sigue el Estado de Jalisco 4 % y en tercer lugar el Estado de México con el 1.2 % (SIAP, 2019).

Este cultivo al igual que otros de interés comercial es susceptible a diferentes plagas, las que tienen mayor importancia son: Araña roja (*Oligonychus punicae* H); Trips (*Liothrips perseae* W), Barrenador pequeño de la semilla (*Conotrachelus perseae* B); Barrenador de troncos y ramas (*Copturus aguacatae* k); Araña cristalina (*Oligonychus perseae* T, B y A), gusano telarañero, thrips (*Thysanoptera*), nematodos, ácaros entre otras (Hernández, 2011).

La araña roja (*O. punicae*) inicia su daño con puntos rojizos que se distribuyen e incrementan por toda la hoja hasta llegar a ocasionar un bronceado total; cuando se descuidan las huertas, la plaga puede atacar retoños, flores, el envés de las hojas y frutos

en formación; se le puede encontrar durante todo el año, los árboles de un huerto altamente infestado pueden presentar defoliación, debilitamiento general y en consecuencia, tienden a ser raquíticos, con frutos poco desarrollados y escasos, se presenta todo el año, pero con mayor severidad en primavera y otoño. Para el control de estos ácaros se usan tradicionalmente productos químicos, sin embargo, estos cada vez han ido perdiendo su eficacia, atribuida principalmente a posibles problemas de resistencia, aunado a los problemas de residualidad, (Cerna *et al.*, 2009; Coria y Ayala, 2010; Lemus-Soriano *et al.*, 2016).

El conocimiento de la distribución espacial de *Oligonychus punicae* (Hirst) es indispensable para la elaboración de programas de manejo integrado, debido a la importancia de esta plaga, por ello el objetivo del presente trabajo fue establecer el comportamiento espacial y la estabilidad espacio temporal de las poblaciones de araña roja *O. punicae* y su daño en el cultivo de aguacate en el Estado de México, en los municipios de Coatepec Harinas, Temascaltepec, Donato Guerra y Tenancingo. Mediante el uso de técnicas de estadística espacial (geoestadísticas y SADIE) para explorar los patrones de distribución, mediante la dependencia espacial de los procesos biológicos, dado que toma en cuenta la naturaleza bidimensional de la distribución de los organismos a través de su exacta localización espacial y su visualización en mapas (Jiménez *et al.*, 2014). Todo esto con la finalidad de tener nuevas bases de conocimiento en el manejo eficaz de plagas y enfermedades en campo.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Origen del Aguacate

El origen del aguacate tuvo lugar en las partes altas del centro y este de México, y partes altas de Guatemala. Esta misma región está incluida en lo que se conoce como Mesoamérica, y también es considerada como el área donde se llevó a cabo la domesticación del mismo. Existe evidencia directa de la domesticación en el período Clásico Maya del maíz, calabaza, yuca, algodón, aguacate, camote, y el agave; lo cual está sustentado por restos de plantas, en el contexto arqueológico y lingüístico que le dan validez a esta lista de cultivos (Barrientos y López-López, 2000). Así mismo Téliz y Marroquín (2007), indican que el aguacate es nativo de América, siendo el lugar de distribución México, distribuyéndose en Centro América, Colombia, Venezuela, Ecuador y Perú.

Sin embargo, Galindo y Arzate (2010), indican que no está claro dónde y cuándo se originó el aguacate. El principal problema es que aún no se conoce el prototipo silvestre; probablemente debido al hecho de que se ha extinguido, o ha cambiado a través de su evolución; ya que durante su proceso de domesticación, ha sido profundamente modificado, por lo que es difícil distinguir entre árboles domesticados y silvestres, según estos autores el origen del aguacate no fue en las partes del centro y este de México, sino en los E.E. U.U. el área que hoy ocupa la Sierra Nevada (California), ya que era un lugar de clima subtropical con gran diversidad vegetal en la que los aguacates antiguos eran comunes, esta información es derivada de datos arqueológicos, donde señalan que la presencia de plantas parecidas al aguacate en la parte norte y centro de California, datan entre 10 y 60 millones de años, ya que aquella región era plana y con condiciones

de clima subtropical a tropical (cálido-húmedo) apropiadas para el desarrollo de estos árboles, y no en la zona de Chiapas (México)-Guatemala-Honduras ya que los ambientes de estas tierras eran fríos y secos. Debido a la última glaciación en la Sierra Nevada (California) el clima cambió a seco y frío, ocasionando que los aguacates se desplazaran hacia el sur y se extinguieran en esta área, dejando como única evidencia los fósiles foliares. Por otra parte el clima en la parte central de México, después de la glaciación y en especial en el Valle de Tehuacán, era húmedo y hospitalario para el aguacate, la migración humana y los intercambios comerciales y culturales que se realizaron desde tiempos antiguos entre los diferentes grupos que habitaron desde Mesoamérica hasta el norte de Sudamérica, propiciaron su diseminación y diferentes domesticaciones.

Se reconocen tres razas de aguacate; Mexicana, Guatemalteca y Antillana.

Mexicana (*Persea americana* var. *Drymifolia*); originaria de los valles y altiplanos de México Central, con clima subtropical a templado y alturas que van desde 1,500 hasta más de 2,000 msnm. Se caracteriza por tener resistencia al frío; fruto generalmente pequeño, (30 a 80 mm de largo); Peso entre 90 y 180 g., comúnmente de color verde, pero alcanza tonalidades más oscuras entre morado y negro; la pulpa tiene un alto contenido de grasa (10 a 25 %), que en su madurez tiene un sabor de nuez; las hojas son más pequeñas que las otras dos razas, las cuales junto con los tallos tiernos, tienen glándulas esenciales, cuyo contenido es una esencia de olor parecido al anís; la semilla es de tamaño pequeño entre otras características (Barrientos, 2010; González-Olmos, 2012; Lavaire y Morazán, 2013).

Guatemalteca (*Persea nubigena* var. *Guatemalis*); originaria del Centro-Occidente de Guatemala, con alturas entre 1,000 y 2,000 msnm, presenta las siguientes características: Cáscara gruesa, resistente al transporte del fruto; menos resistente al frío que la raza Mexicana; frutos de tamaño mediano a gran tamaño de 7,5 a 25 cm de largo y peso de 120 a 1500 g., los frutos tienen forma esférica, ovalada o piriforme, el grosor del epicarpio oscila entre 2 y 12 mm y de consistencia coreosa; la corteza es dura hasta casi leñosa en algunas variedades, su superficie es quebradiza y a veces granulada y de color verde opaca, incluso morado; la pulpa es algo fibrosa con alto contenido de grasa (18 a 20 %) y en la madurez su sabor varía de mantequilla al de nuez; la semilla o hueso es de gran tamaño y suele llenar toda la cavidad que la contiene; las hojas son de mayor tamaño que las de la raza mexicana, sin olor a anís entre otras características (Barrientos, 2010; González-Olmos, 2012; Lavaire y Morazán, 2013).

Antillana (*Persea americana* var. *Americana*); esta raza es originaria de la costa del Pacífico en Chiapas (México), Guatemala, El Salvador, Honduras, Nicaragua, Costa Rica y Panamá, se produce en Alturas menores a 1,000 mnsn, algunas características son: es susceptible al frío, resistente a la salinidad y clorosis; el período de flor a formación del fruto es bastante corto; el pedúnculo es alargado en forma de cabeza de clavo; adaptada a las tierras bajas y temperaturas altas; sus frutos son de tamaño mediano a grande (7,5 a 25 cm de longitud), con peso entre 110 gr, y 1,100 gr. Los frutos presentan formas entre ovalados y piriformes, cáscara delgada, pero más dura que las de la raza Mexicana; color verde claro a amarillo rojizo; la pulpa presenta un contenido bajo de grasa (5 a 15 %) y de sabor desde acuoso-insípido hasta el de mantequilla entre otras (Barrientos, 2010; González-Olmos, 2012; Lavaire y Morazán, 2013).

Hay evidencia acerca del consumo de aguacate en México alrededor de 10,000 años a.c. en inscripciones al interior de algunas cuevas en Coxcatlán, en el Estado de Puebla. El aguacate era ofrecido como tributo a los aztecas, principalmente por el pueblo de Ahuacatlan, el cual en los códices mendocinos era señalado como “el lugar donde abunda el aguacate”. Similarmente, en los codices florentinos ya se mencionaban tres tipos de aguacate: aoacaquauitl, tlacacolaoacatl y quilaoacatl (Hernandez, 2011).

Las razas mexicana y antillana fueron predominantes, sin embargo con la difusión de la técnica de injerto apareció la variedad denominada “Fuerte”, y posteriormente, durante las décadas de los cincuenta y setenta el cultivo del aguacate se diversificó en diferentes variedades: Hass, Fuerte, Bacon, Rincón, Zutano y criollos raza mexicana. En 1963 aparecen los primeros viveros de giro comercial de la variedad Hass en México, cuya producción potencial se llevó a cabo con yemas certificadas de Santa Paula California, en Estados Unidos. A partir de entonces, la variedad Hass predomina tanto en la producción nacional como en el consumo, principalmente extranjero (González-Olmos, 2012)

El aguacate denominado “Hass” es un híbrido avanzado de las razas guatemalteca y mexicana, el cual se ha estimado que tiene entre 10 y 15 % de genes de la última raza, lo que le confiere una mejor adaptación a zonas más templadas. El cultivar o variedad Hass surgió a partir de una mutación espontánea y fue seleccionado por Rudolph G. Hass, en la Habra Heights (California), debido a la alta calidad de su pulpa, mayor productividad y una madurez más tardía; la variedad de aguacate Hass es la más

cultivada a nivel mundial ya que le corresponde cercas del 80% de todas las variedades que se produce en el mundo. El fruto de aguacate Hass tiene un peso que oscila entre los 170 a 350 gr., su pulpa es cremosa con un sabor exquisito, sin fibra, y con un contenido de aceite del 23.7 %. Su cascara es rugosa y de color púrpura oscura, su semilla es pequeña y se encuentra adherida a la cavidad. Una de las principales características del Hass, es la capacidad de dicho fruto para mantenerse en el árbol algunos meses después de su madurez, además, esta fruta puede ser cultivada en alturas que van desde los 1,500 hasta 2,500 metros sobre el nivel del mar, lo que permite que se genere producción durante todo el año (Lavaire y Morazán, 2013).

2.2 Situación del cultivo a nivel mundial

En julio de 1993, el gobierno de los Estados Unidos de América (EUA) permitió por primera vez, luego de 79 años, la importación de aguacate proveniente de México. Aunque en ese año, sólo se autorizó su venta al Estado de Alaska, bajo ciertas temporadas y condiciones, significó el inicio de un hecho fundamental que marcaría en el futuro, el liderazgo mexicano en el comercio mundial de aguacate (Macías, 2011).

A nivel mundial los principales productores de aguacate, produjeron 3.5 millones de toneladas. México es el principal productor ya que aporta el 31 % de la producción mundial, Chile es el segundo país productor aportando el 9 % de la producción mundial. Las exportaciones mundiales de aguacate mexicano se han incrementado en los últimos años por la creciente demanda en algunos países y la apertura comercial (Maldonado, 2016).

La demanda de este fruto se ha incrementado en 26 países que incluyen integrantes del TLCAN (Tratado de Libre Comercio de América del Norte), TPP (Acuerdo Estratégico, Trans-Pacífico de Asociación Económica), TLCTN (Tratado de Libre Comercio del Triángulo del Norte), así como China, Países miembros del bloque de la Unión Europea y países con los que México no tiene acuerdos de libre comercio, que en conjunto consumen casi 1.7 millones de toneladas, por otra parte las exportaciones en el 2016 representaron un porcentaje muy significativo de las importaciones de aguacate en los siguientes países: Guatemala 100 %, Canada 95.41 %, Japón 92.72 %, Estados Unidos 91.32 % y el Salvador 90.23 %. En Estados Unidos es promovido y consumido en eventos con alcance internacional, como el Super Bowl, en el cual se ha llegado a consumir 100,000 toneladas durante todo el día (SAGARPA, 2019).

2.3 Importancia del Aguacate en México

El aguacate (*Persea americana* Mill) ha adquirido una gran importancia en el mercado nacional e internacional dejando de ser una fruta exótica para incorporarse a la dieta de muchos países, La importancia socioeconómica del aguacate se deriva del beneficio que derrama entre productores, comercializadores, industrializadores y consumidores. Los huertos generan empleo al demandar mano de obra en: riegos, cuidado nutritivo y fitosanitario, cosecha, movilización, empaque, selección, transporte, mercado, entre otros (Guzmán, 2012).

En el Estado de Michoacán dependen económicamente en forma directa 42,500 jefes de familia dedicados exclusivamente a labores de producción de aguacate, además de otro numeroso grupo de personas equivalente a un 70% de esa cifra, integrado por quienes

se dedican a surtir plaguicidas, fertilizantes, maquinaria agrícola, implementos de labranza, de cosecha y otros insumos; así como por aquellos que proporcionan asistencia técnica en labores culturales, industriales, de sanidad vegetal, administrativos, legales, sistemas de riego entre otras actividades (Estrada, 2015).

La producción nacional de Aguacate a febrero de 2019, fue de 400 mil 181 toneladas, 4.9 % superior a lo cosechado al mismo mes el año pasado. La superficie total cosechada en febrero de 2018, fue de 155 mil 620 hectáreas en el mismo mes de este año fue de 163 mil 983; lo que significa un incremento de 5.4% (8 mil 363 hectáreas). Michoacán es líder productor, destinando 167 mil 745 hectáreas a este cultivo, en las cuales se producen 370 mil 069 toneladas que representan 92.5 % de la producción nacional al mes de febrero de 2019. Los Estados que reportan los más altos rendimientos son: Veracruz 12.79, Estado de México 9.15 y Morelos 6.41 toneladas por hectárea (SIAP, 2019). Los Estados que cuentan con mayor producción son Michoacan (1,668,356 ton); Jalisco (202,180); México (105,208); Como se de talla en la tabla 1.

Tabla 1. Superficie cultivada de aguacate por Estado, Producción total (Ton) y Rendimiento (ton/ha), hasta el mes de diciembre 2018.

Estado	Superficie (ha)	Producción (ton)	Rendimiento (ton/ha)
Michoacan	166,512	1,668,356	10.947
Jalisco	22,534	202,180	10.826
Mexico	9,978	105,208	12.273
Nayarit	7,059	57,563	9.11
Morelos	5,443	46,022	8.651
Guerrero	4,273	26,394	7.679
Chiapas	3,281	16,868	7.193
Oaxaca	3,222	9,657	4.896
Puebla	2,974	15,530	7.091
Durango	1,084	4,014	3.852
Veracruz	962	7,531	10.652
Hidalgo	862	3,650	6.991

Estado	Superficie (ha)	Producción (ton)	Rendimiento (ton/ha)
Colima	774	7,524	10.428
Nuevo Leon	681	1,724	2.538
Yucatan	386	9,336	24.919
Guanajuato	292	1,179	4.754
Baja California Sur	168	692	5.815
Queretaro	158	302	2.903
Campeche	80	773	10.809
San Luis Potosi	67	187	5.84
Tabasco	59	303	5.128
Baja California	47	191	5.3
Zacatecas	43	312	7.263
Sonora	30	360	12.004
Tlaxcala	25	174	6.98
Aguascalientes	23	205	10.789
Sinaloa	14	142	10.481
Total	231,028	2,186,376	10.609

Fuente siap, 2019b.

Según SAGARPA (2019), actualmente se satisface el 100% de los requerimientos nacionales con producción interna; así mismo, las importaciones mundiales han aumentado en 171.97 % en la última década, lo que ha generado un incremento en las exportaciones mexicanas principalmente con destino a Estados Unidos, Japón y Canadá. En el año 2030, se estima un aumento en la demanda mundial de 2.84 a 4.24 millones de toneladas “mt” (un crecimiento acumulado de 48.98%), mientras que la producción nacional de aguacate tiene la capacidad de incrementarse de 1.89 a 3.16 mt, lo cual representa un crecimiento acumulado de 67.28%. Ante este escenario es factible destinar 1.02 mt al consume nacional y 2.14 mt a las exportaciones.

2.4 Distribución del aguacate en el Estado de México

En el Estado de México el aguacate se desarrolla al sur, en una franja interior de este a oeste en el eje neo volcánico y Nevado de Toluca en la que se pueden ubicar al menos 3 ambientes climáticos diferentes que son templado, intermedio y cálido, con alturas de 2300, 2000, y 1700 msnm respectivamente. Dicha franja incluye municipios de Ocuilan,

Malinalco, Joquicingo, Zumpahuacan, Tenancingo, Villa Guerrero, Ixtapan de la Sal, Coatepec Harinas, Sultepec, Almoloya de Alquisiras, Temascaltepec, San Simón de Guerrero, Tejupilco, Amatepec, Oztoloapan, Santo Tomas de los Plátanos, Amanalco de Becerra, Valle de Bravo, Donato Guerra, Villa de Allende e Ixtapan del Oro; y se prolonga con los Estados de Morelos y Michoacán (Becerril, 2017).

2.5 Descripción de la faja aguacatera del Estado de México

a) Altitud y Latitud.

La faja aguacatera se encuentra comprendida dentro de las altitudes de 1500 a 2200 msnm. Con respecto a la latitud, la posición de la faja aguacatera sigue la posición Sur-Oeste del eje Neovolcánico, posición que le da una adecuada disposición con respecto a la incidencia de la luminosidad.

b) Clima

Temperatura.-Dado que existe un gradiente por altura, habrá una importante variación de la temperatura. En las partes superiores puede ser de 16°C pero con incidencias de heladas; mientras que en la parte intermedia de la faja, la temperatura promedio es de 18.5°C sin presencia de heladas. La temperatura promedio de la faja es de 17.7°C que es adecuada para el cultivo de aguacate.

Precipitación.- El cultivo del aguacate, requiere un régimen de precipitación mayor de 800 mm anuales; en la faja aguacatera se tiene una precipitación promedio de 1100 mm anuales.

c) Suelos

Dada la gran variedad tanto de topografía, material formado del suelo y vegetación, es de esperar también, que los suelos de la franja aguacatera sean muy diversos. Es importante enfatizar que de las 41,000 ha identificadas como aptas para el cultivo de aguacate, en los diferentes municipios del Estado de México; es necesario contar con la disponibilidad de agua mediante concesiones de agua de riego para uso agrícola o de temporal. Las zonas de producción en su mayoría son superficies pequeñas que van de una a dos hectáreas con ambientes climáticos variables (Estrada, 2015).

2.6 Clasificación taxonómica del aguacate

El aguacate (*Persea americana* Mill.), pertenece a la familia Lauraceae, uno de los grupos de angiospermas más antiguos. Se caracteriza por su gran variabilidad y por ser una de las familias del reino vegetal más numerosas, con alrededor de 92 géneros descritos y un número indeterminado de especies que varía de 2.840 a 3.340 que se distribuyen por todas las regiones tropicales y subtropicales del mundo. Para esta especie se han descrito ocho variedades, de las cuales tres son ampliamente conocidas como razas hortícolas: la Mexicana (*Persea americana* var. *drymifolia*), la Guatemalteca (*Persea americana* var. *guatemalensis*) y la Antillana (*Persea americana* var. *americana*). Estas variedades y su hibridación han dado origen a los cultivares modernos del aguacate (Galindo-Tovar y Arzte-Fernández, 2010).

CLASIFICACIÓN TAXÓNOMICA (USDA, 2019)

Reino Plantae

Subkingdom Tracheobionta

División Magnoliophyta

Clase Magnoliopsida

Subclase Magnoliidae sensu Chase & Reveal

Orden Laurales

Familia Lauraceae

Género *Persea* Mill.

Especies *Persea americana* Mill.

2.7 Aspectos botánicos

El aguacate pertenece a la familia Lauraceae, entre sus parientes se encuentra la canela y el alcanfor; para diferenciar las variedades de aguacate se tiene que tomar en cuenta la época de floración y recolección, el peso, y tipo de fruta, el contenido de aceite de la pulpa y la resistencia al frío (Lavaire y Morazán, 2013). El árbol presenta un crecimiento inicial de lento a moderadamente agresivo, que depende de la radiación solar. Posee una copa achaparrada, muy productiva en los tercios inferior y medio, por lo general es alto, y a veces erecto, es un cultivo perenne el tronco generalmente torcido y de ramas bajas, con corteza áspera y a veces surcado longitudinalmente, la corona es ovoide globosa, irregular y densamente foliada (González-Olmos, 2012).

2.7.1 Sistema Radicular

Tiene una raíz principal corta y débil, las rices carecen de pelos absorbentes y tienen un crecimiento superficial, la mayor parte se encuentra en los primeros 50 cm, del suelo. La clase de suelos juega un papel determinante en el desarrollo radicular, siendo más abundantes, extendidas y profundas en los suelos arenosos y sueltos que en los suelos con abundancia de partículas finas (arcillosas). En suelos arenosos, la profundidad alcanzada puede ser de 1 a 15 m o más, la absorción de agua y nutrimentos se realiza principalmente en las puntas de las raíces a través de los tejidos primarios; esto determina la susceptibilidad del árbol al exceso de humedad que induce a la asfixia y ataque de hongos que pudren los tejidos radiculares. Se ha encontrado alta asociación simbiótica de esta especie con hongos endomicorrizicos arbúsculares. Las cuales facilitan la absorción de los elementos minerales, pero sobre todo los de baja movilidad en el suelo como fósforo, cobre y zinc. El micelio de los hongos penetra en el tejido cortical de la raíz, causando una hipertrofia notable y una ramificación extensiva. Como consecuencia de este hecho, se incrementa la superficie de absorción de las raíces (Lavaire y Morazán, 2013).

2.7.2 Semilla y hojas

La **semilla** es ovalada, posee una cubierta mediana a gruesa y membranosa en otros grupos raciales es delgada el endocarpio o semilla es importante en la relación fruto-semilla. Las **Hojas** son simples, enteras alternas, de forma oblanceolada, nervadura pinnada y ápices agudos; la inserción en el tallo es peciolada. Cuando son jóvenes son de color rojizo, con epidermis pubescente y que al llegar a la madurez se tornan lisas coriáceas y de color verde oscuro brillante en el haz, mientras que el envés

tiene un color claro desprovisto de brillo. “La hoja es un órgano muy dinámico, en el que la concentración de nutrimentos está cambiando continuamente, influenciada por diferentes factores (Hernández, 2011).

2.7.3 Tallo

El aguacate tiene un tronco leñoso y recto que puede alcanzar hasta 12 metros. Aunque hay reportes de árboles de 20 metros y troncos con diámetros mayores de 1.5 metros. La corteza es suberosa, de lisa a agrietada con 30 milímetros de espesor. El tejido leñoso es de color crema claro con vasos anchos. Los árboles con alturas menores a 5 metros facilitan el trabajo de recolecta del fruto, son más sensibles a las quemaduras de sol y a las heladas, frágiles al viento o exceso de producción. Por esta razón, se recomienda cultivar variedades enanas, compactas y establecer el cultivo en lugares protegidos del viento (Lavaire y Morazán, 2013).

2.7.4 Floración

La flor del aguacate es bisexual pero sus órganos sexuales maduran en distinto momento. Durante la primera apertura de los tépalos la flor actúa como femenina con el estigma fresco, mientras que los estambres permanecen inmaduros y se muestran flexionados sobre los tépalos. Tras un cierre completo de la flor, sucede una segunda apertura en estado masculino en la que el estigma se oscurece y marchita, los estambres se levantan y liberan el polen. Con posterioridad la flor cierra definitivamente. La adopción de la dicogamia como estrategia reproductiva implica que, para una eficaz transferencia de polen, los insectos han de visitar las flores en ambas fases. Esto se consigue mediante la producción secuencial de atractivos florales. En la fase femenina los estaminodios segregan néctar. En la fase masculina los órganos secretores de néctar son los nectarios, siendo el polen un recurso adicional. El ciclo

floral del aguacate se sigue simultáneamente en todas las flores que alcanzan la antesis, lo que se conoce como dicogamia sincronizada. La polinización en el aguacate es posible porque sus cultivares se clasifican en dos grupos florales, A y B, que complementan sus ciclos flores entre sí. En los cultivares tipo A, sus flores abren por primera vez como femeninas por la mañana y desarrollan la fase masculina durante la tarde del día siguiente. Por el contrario, en los cultivares tipo B, las flores manifiestan el estado femenino por la tarde y la segunda apertura como masculinas en la mañana del día siguiente (Cabezas *et al.*, 2003).

2.7.5 Fructificación y Maduración del fruto

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. 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) y C. La maduración. 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 (Maldonado, 2016)

2.8 Requisitos agroecológicos del cultivo de aguacate

2.8.1 Clima

El aguacate es una planta que se puede adaptar a diferentes condiciones climáticas a pesar de su origen tropical. Esta característica se debe a que tiene gran diversidad genética, y esto se demuestra en sus tres grandes razas: a) La raza Antillana requiere un clima tropical o

subtropical y alta humedad atmosférica especialmente; b) La raza Guatemalteca es algo más resistente, habiendo crecido en las tierras altas subtropicales y C) La raza Mexicana es la más resistente y la fuente de la mayoría de las variedades, temperaturas de -4° C casi no afectan estos árboles, aunque los vientos fuertes, al reducir la humedad, deshidrata las flores e interfiere con la polinización; también hace que se caigan los frutos de manera prematuramente. El aguacate se adapta a una diversidad de climas tropicales y subtropicales, por ello es necesario conocer los requerimientos agroecológicos específicos para cada variedad (Lavaire y Morazán, 2013).

2.8.2 Temperatura y radacion solar

La temperatura incide directamente en la duración del periodo de flor a fruto, el cual se alarga a medida que la temperatura disminuye; en general, se recomienda, elegir zonas libres de heladas. En el aguacate Hass este factor incide directamente en la duración de flor a fruto, el cual se alarga a medida que la temperatura disminuye. En zonas frías este periodo dura hasta 10 a 14 meses mientras que en las zonas cálidas únicamente de 5 a 8 meses. El aguacate es sensible a las heladas extremas y calor excesivo principalmente en la etapa de floración y fructificación. Las condiciones ideales para esta variedad son temperaturas medias anuales de 14 a 24 °C con temperaturas diurnas entre 20 a 30 °C y nocturnas entre 10 a 20 °C, lo que permite el almacenaje por más tiempo del fruto en árbol y extender el periodo de recolección.

Radiación solar: Las ramas demasiado sombreadas del aguacate son improductivas de ahí la importancia de realizar prácticas adecuadas de poda y controlar la densidad de las plantas. La exposición completa a la luz solar es altamente benéfica para el cultivo, sin embargo, el tallo y las ramas primarias son susceptibles a quemaduras por sol (González-Olmos, 2012).

2.8.3 Suelo

Es aguacate es bastante adaptable a los diversos tipos de suelos desde los arenosos y sueltos hasta los francamente limosos y compactos; pero las condiciones optimas se tendrán en un suelo básicamente permeable y bien drenado. La capacidad de retención de la humedad, que debe ser la necesaria para el normal desarrollo de la planta, es muy importante, pues un suelo demasiado granulado, al ser poco retenido, ocasionaría daños por sequedad; en cambio, un suelo limoso demasiado coloide, al producir encharcamientos, puede ser un buen medio para el desarrollo de enfermedades y causa de asfixia de las raíces. Para conseguir un buen drenaje que elimine los encharcamientos, debe procurarse que la capa freática sea profunda, al menos 75 cm del nivel del suelo. Estos suelos deben recibir durante todo el año una precipitación acuosa de 900 mm por lo menos, la cual, de no conseguirse, debe ser sustituida por los riegos. La reacción del suelo debe ser neutra o ligeramente ácida (de pH entre 6 y 7.5) (Hernández, 2011).

2.8.4 Precipitación

El aguacate demanda regímenes pluviales de 1,000 a 1,400 milímetros bien distribuidos a lo largo del año. La variedad Hass requiere de 1,200 a 1,400 milímetros de lluvia anual, sin embargo se debe proporcionar riego suplementario durante la época seca y canículas del primer año de establecimiento. Durante la fase productiva el riego localizado prolonga la fase productiva incrementando los rendimientos del 30 al 50% mejorando las cualidades organolépticas del fruto y el desarrollo de árboles. El período más crítico en el que la planta debe disponer de suficiente agua abarca desde el cuajado hasta la recolección. Es a su vez muy sensible al encharcamiento, ya que produce asfixia radicular y favorece el desarrollo del hongo *Phytophthora cinnamoni* Rand, causante de la pudrición de raíces. Sequías prolongadas provocan la caída de las hojas, lo que reduce le rendimiento; el exceso de

precipitación durante la floración y la fructificación, reducen la producción y provoca la caída del fruto (González-Olmos, 2012).

2.8.5 Vientos

El cultivo es susceptible a vientos fuertes, tanto desecantes como fríos, que inhiben la polinización y la fructificación causando fuertes daños y caída de ramas, flores y frutos; además, produce lesiones por rozamiento entre frutos y ramas. Los vientos secos lastiman el estigma y dificultan el vuelo de los agentes polinizadores, además deshidrata y provoca el aborto de los frutos pequeños. El terreno destinado al cultivo debe contar con buena protección natural contra el viento o en ausencia, establecer una buena barrera contravientos, preferentemente un año antes del establecimiento (Lavaire y Morazán, 2013).

2.8.6 Altitud

El aguacate tiene un amplio rango de adaptación, a diferentes altitudes dependiendo de la raza, la Antillana prospera desde el nivel del mar hasta 800 m; la guatemalteca hasta los 1200 y la raza Mexicana de 950 a 2,500 metros. A través del tiempo el aguacate se ha introducido a ambientes diferentes a los de su habitat natural, adaptándose en general bien, en términos generales se recomienda establecer en altitudes entre 800 y 2,500 msnm (Hernandez 2011).

2.9 Problemas fitosanitarios en el cultivo del Aguacate (*Persea americana* Mill.)

2.9.1 Enfermedades de importancia en el cultivo de Aguacate (*P. americana*)

En el cultivo de aguacate, las enfermedades afectan la producción en 40 % y ocupan un renglón importante por el número, intensidad y factor que incrementa los costos de producción, ya que se requieren de seis a siete aplicaciones de pesticidas para su control, acompañadas por prácticas culturales y de manejo. Del total de enfermedades que afectan

al cultivo, 19 son de origen fungoso, dos de tipo bacteriano, una por algas y otra por un viroide. De éstas, sólo cinco se consideran de importancia económica por afectar la calidad y cantidad de la cosecha, como la antracnosis, la roña, el anillamiento del pedúnculo, la tristeza y problemas post cosecha (INIFAP, 2019).

2.9.2 Antracnosis (*Colletotrichum gloesporioides*, *Glomerella cingulata*)

Es causante de grandes pérdidas de frutos, que se pudren principalmente en el almacén. El hongo penetra por lesiones de frutos. La antracnosis afecta las hojas, brotes, inflorescencias y frutos. En el primer caso se manifiesta como manchas circulares color café rojizo que se ubican en los bordes o en cualquier parte de la lámina foliar, si las lesiones son muy extensas o numerosas se produce defoliación. Cuando afecta brotes tiernos provoca muerte descendente o torceduras al formarse lesiones laterales. En las inflorescencias aparecen manchas oscuras en las ramificaciones o necrosis en los extremos; cuando hay frutos recién cuajados puede provocar la caída prematura de ellos. Los frutos más desarrollados muestran lesiones circulares de color oscuro que a veces producen rajaduras en su interior. Durante periodos muy húmedos, puede observarse puntuaciones de color rosado o salmón sobre las manchas. La forma sexual del agente causal es *Glomerella cingulata* y la forma asexual, que es la más común, es *Colletotrichum gloeosporioides*. El hongo sobrevive en ramillas o inflorescencias secas, hojas muertas o frutos caídos. Al haber suficiente humedad se produce la esporulación y por medio del salpique las esporas llegan a los tejidos susceptibles. (González-Olmos, 2012). El control se da evitando la excesiva cercanía entre los árboles y el follaje muy denso. Los frutos se deben cortar antes de la madurez comercial. El tratamiento con fungicidas debe realizarse al inicio de la floración, continuandola cada dos o tres semana, después de ella, efectuar dos o tres tratamientos cada dos semana; antes del corte aplicar

Oxicloruro de Cobre de 1.4 a 2.5 Kg/ha, con una concentración de 300 a 400 g. por cada 100 litros de agua, adicionando 50 cc de adherente. (Lavaire y Morazán, 2013)

2.9.3 Roña del aguacate

La roña es una enfermedad muy común en todas las zonas productoras de aguacate. La enfermedad es favorecida por precipitaciones abundantes y humedad relativa alta en el ambiente. El hongo afecta las hojas, principalmente, las nuevas, y causa daños en los frutos, que deterioran su calidad. El ataque de la roña es favorecido por la presencia de trips, que abren puertas de entrada al patógeno. Los síntomas que presenta el fruto son lesiones redondas o irregulares de color pardo o café claro, de apariencia corchosa, levemente erupentes, que pueden unirse y afectar gran parte del fruto. Las lesiones de la roña son superficiales y no afectan la calidad de la pulpa. En las hojas jóvenes y brotes tiernos, se observan diminutas lesiones (1 a 2 mm de diámetro) de color café oscuro, rodeadas de un leve halo clorótico. En condiciones de lluvias continuas, las lesiones y el halo clorótico aumentan de tamaño (3 a 5 mm de diámetro), toman una tonalidad castaño clara, adquieren variadas formas y coalescen hasta cubrir regiones laterales de la hoja, que le dan un aspecto roñoso y arrugado a la lámina foliar. En ataques severos, los brotes y las hojas se necrosan, se enrollan hacia arriba y pueden llegar a morir (Molano, 2007). El manejo cultural, consiste en realizar podas de aclareo, que permitan mayor luminosidad y aireación a los árboles; el control químico; Captán (1 Kg/ha) y Oxicloruro de Cobre (1 Kg/ha), estos productos se aplican de enero a mayo es frecuente observarla desde frutos recién formados hasta frutos de tamaño medio; Benomilo (300-400 gr/ha) este producto se aplica cuando se presentan daños severos. (INIFAP, 2019)

2.9.4 Marchitamiento por *Verticillium*

Esta enfermedad como otras que afectan el sistema vascular, causa marchites súbita total o parcial del árbol, se presenta en cualquier estado de desarrollo. En las ramas jóvenes inicia por las extremidades y rápidamente se extiende hasta cubrir la rama o todo el árbol. Generalmente las hojas quedan prendidas del árbol después de su muerte. Al remover la corteza las ramas recién marchitas pueden observarse una coloración café rojiza en la madera. Es común que algunos árboles se recuperen produciendo brotes vigorosos después del colapso inicial del árbol. Esta marchites es de origen fungoso y el agente causal es *Verticillium dahliae*, el cual pertenece a la Clase Deuteromycetes, Orden *Moniliales*. Este hongo no es específico del aguacate pues tiene un amplio rango de hospederos, superior a las 300 especies. Los efectos nocivos son la interferencia en el transporte del agua y producción de toxinas o ciertas enzimas que provocan el colapso del árbol. Se disemina por injertos, semillas, transporte de suelo contaminado, herramientas, otros (González-Olmos, 2012).

2.9.5 Tristeza del aguacate (*Phytophthora cinnamomi* Rands)

La más importante de las enfermedades del aguacate es la tristeza o marchitamiento causado por el hongo *Phytophthora cinnamomi* Rands. Es una de las enfermedades más devastadoras del aguacate en el mundo. Se tiene reporte en donde la enfermedad ha terminado con plantaciones completas del cultivo (Lavaire y Morazán, 2013). Se le caracteriza a esta enfermedad por el desarrollo de un lento decaimiento que eventualmente conduce a la muerte de los árboles severamente atacados. Inicialmente ocurre una leve a moderada clorosis, hojas pequeñas, defoliación parcial, menor crecimiento estacional y escaso vigor. Al examinar las raíces, se puede evidenciar necrosis y pudrición

parcial o total de las raicillas. La tristeza del aguacate es una enfermedad muy frecuente a lo largo en las zonas de producción de aguacate. A menudo ocurre con una alta incidencia y severidad en suelos arcillosos, saturados por periodos prolongados. Tanto el aguacate como en otros cultivos, la saturación del suelo favorece el desarrollo de la pudrición radical y del cuello causado por especies del género *Phytophthora*. Estas condiciones promueven la producción de esporangios y zoosporas; además, predispone los árboles a la infección, en tanto se pueden dañar las raíces por anoxia, facilitando de este modo la penetración e invasión de las raíces por *P. cinnamomi* (Besoain *et al.*, 2005). Como control preventivo se recomienda seleccionar adecuadamente los suelos, principalmente en relación con el drenaje. Los suelos mal drenados como los arcillosos deben descartarse; la semilla para patrón deben estar libres de la enfermedad. Como control curativo, en plantaciones jóvenes y árboles recién infectados se recomienda el uso de Metalaxil al suelo y aplicaciones foliares. La adición de materia orgánica, aporta enemigos naturales del hongo y mejora las condiciones del drenaje (Lavaire y Morazán, 2013).

2.9.6 Pudrición de la raíz (*Rosellinia* spp.)

Los árboles afectados por esta enfermedad manifiestan clorosis general de las hojas, que se va ausentando conforme avanza la infección, hasta que muere toda la planta. Esta enfermedad se diferencia de todas las demás al revisar las raíces principales, donde se observa rizomorfos (cordones de micelio) inicialmente blancos y luego de color negro, sobre la superficie, al igual que entre la corteza de la madera. Los agentes causales son *Rosellinia necatrix*, *Rosellinia bunodes* y *Rosellinia pepo*. Estos hongos viven generalmente como saprofitos en troncos y raíces muertas o el humus del suelo. Son muy frecuentes en terrenos recién habitados para la agricultura (González-Olmos, 2012).

2.9.7 Otras enfermedades.

En follaje se presenta fumagina o negrilla (*Capnodium spp.*), mancha por algas (*Cephaleuros virescens*), manchas de chapopote (*Phyllachora gratissima*), tizon de la hoja y del fruto (*Pestalotiopsis sp.*, *P. versicolor*, *P. adusta*; *Phyllosticta micropuncta*); mancha plateada (*Mycosphaerella perseae*), mancha púrpura o angular de la hoja (*Pseudocercospora purpurea*) y perforaciones de las hojas (*Pseudomonas sp.*). Las enfermedades del tronco y ramas son el cancro del tronco (*Nectria galligena*, *Phytophthora boehmeriae*, *Fusarium solani*, *Physalospora perseae*, *Phytophthora citricola*); marchitez necrótica o pudrición de ramas (*Dothiorella spp.*) y agalla de la corona (*Agrobacterium tumefaciens*). Las enfermedades con origen en suelo son: pudrición por armilaria (*Armillaria mellea*), pudrición texana (*Phymatotrichopsis omnivorum*), pudrición por verticillum o languidez del aguacate (*Verticillium spp.*) (INIFAP, 2019).

2.10 Plagas de importancia económica en el cultivo del Aguacate (*P. americana*)

El aguacate es atacado por una diversidad de plagas y entre las de mayor importancia están, la Araña roja (*Oligonychus punicae* H), Trips (*Liothrips perseae* W), Barrenador pequeño de la semilla (*Conotrachelus perseae* B), Barrenador de troncos y ramas (*Copturus aguacatae* K), Araña cristalina (*Oligonychus perseae* T, B y A), gusano telarañero, thrips (*Thysanoptera*), nemátodos y ácaros. El aguacate a pesar de ser un árbol rústico en su medio natural posee una serie de limitantes fitosanitarias que se manifiestan en plantaciones comerciales o en huertos caseros lo que dificulta en muchos casos la producción de este frutal tan apreciado por su valor nutrimental y sabor. Ante esta situación el fruticultor debe de manejar estrategias de combate que permitan mantener las plagas existentes en niveles que no

produzcan daño económico y evitar la llegada de otras nuevas. Para esto es necesario conocer las diversas enfermedades, su biología y combate (Bisono y Hernandez, 2008 y González-Olmos, 2012).

2.10.1 Trips.

Los trips (familia Thysanoptera) son insectos que se encuentran distribuidos por todo el mundo. Son muy pequeños (0,3 mm y 15,0 mm) y variados, con cuerpos alargados y delgados, con cabeza alargada en vista lateral, grandes ojos compuestos, antenas filiformes (de 4-10 segmentos), patas cortas y adultos, con cuatro alas bien desarrolladas. También se encuentran los no alados. La mayoría de las especies de trips se encuentran en el trópico y unas pocas en las zonas árticas. Sus hábitats incluyen bosques, pastizales, desiertos, tierras cultivadas y jardines, la mayoría son fitófagos, alimentándose de las células epidérmicas de las plantas (generalmente son monófagos, es decir, que se alimentan de uno o muy pocos grupos de plantas, mientras otros son depredadores) (Solis, 2016). En México, se conocen actualmente 85 especies de trips del aguacate, esta cifra aumentará y superará la barrera de las 100 especies en un futuro próximo, cuando se terminen las descripciones de varias especies nuevas para la ciencia, de los géneros *Frankliniella* y *Scirtothrips*. Para el caso del aguacate, estos insectos que pueden medir de 0.3 a 1.4 mm de longitud, de color blanco amarillo pálido a castaño oscuro, se alimentan de tejidos tiernos como: brotes foliares, florales, hojas y frutos tiernos, en estos últimos provoca protuberancias y aspeados en la piel cuando el fruto está del tamaño de una cania, daño que provoca en el caso más externo caída del fruto o heridas que permiten la entrada de enfermedades como la roña (Baiza, 2013).

Medidas de control. De acuerdo a la fluctuación poblacional de los trips, se recomienda implementar alguna medida preventiva o de manejo después de la temporada de lluvias

(octubre), lo cual coincide con el inicio de la floración de algunas huertas. Se recomienda realizar otra medida de manejo a principios de febrero, que es cuando las poblaciones de trips se incrementan y una tercera a principios de marzo; los productos químicos recomendados son: Malathion 1000 (1 L/ha); Sultron 725 Azufre líquidos (1 L/ha) y Permetrina (5 L/ha), los cuales se deben aplicar de tres a cuatro aplicaciones, la primera cuando se tenga un 10 % de floración, la segunda cuando se tenga al 100 % floración y la tercera cuando se tenga fruto (cabeza de cerillo o canica) (INIFAP, 2019).

2.10.2 Hemípteros

Los insectos del orden Hemiptera, tienen una gran importancia en varios agroecosistemas, ya que todas las especies son fitófagas y pueden constituir una limitante en la producción. Algunos de estos insectos monófagos, como el periquito y la agalla, tienen un posible origen entre México y Centro América, centro de origen del aguacate. Las especies de esta familia atacan las ramas, hojas y frutos. Otras familias de hemípteros que se han encontrado en cultivos de aguacate son: *Coccidae* (escamas blandas), *Pseudococcidae* (piojos harinosos), *Psyllidae* (agalla del follaje), *Membracidae* (periquito del aguacate) y *Aleyrodidae* (mosquitas blancas); las especies pertenecientes a estas familias provocan daños muy ligeros al follaje, frutos y ramas y por la magnitud de los daños son consideradas plagas secundarias (INIFAP, 2019); no obstante en los últimos años estas plagas han retomado una importancia significativa, tal es el caso de *Pseudacysta perseae* (Heidemann) conocida comúnmente como “Chinche de encaje del aguacate” es un insecto originario del sur de la Florida, Estados Unidos, reconocida como plaga casi exclusiva de este cultivo; por casi cien años la distribución estuvo limitada a la península de Florida y México, donde su daño era de importancia ocasional.

Recientemente las poblaciones han aumentado, se han desplazado hasta las Islas de Puerto Rico, Bermuda, República Dominicana y Cuba, causando graves daños en el cultivo (Cabrera y Cermeli, 2008).

2.10.3 Araña blanca cristalina

La araña blanca (*Oligonychus perseae*), el ácaro adulto es de color blanco a cristalino verdoso; se hospeda en el haz de las hojas de cualquier edad, principalmente a lo largo de las nervaduras laterales de donde se alimenta succionando savia, se protege con una seda y forma numerosas colonias que dan origen a puntos de tejidos muertos obstruyendo así la fotosíntesis. Los Daños que ocasiona se caracterizan porque las hojas presentan puntos de color verde claro, que se tornan amarillo rojizo y por último café oscuro. Los árboles infestados pueden presentar defoliación, debilitamiento general y en consecuencia tienden a ser raquíticos con frutos poco desarrollados y escasos; se presenta todo el año pero con mayor severidad en la época secas (Lavaire y Morazán, 2013).

2.10.4 Mosca blanca

El adulto de la mosca blanca (*Tetraleurodes spp.*) es una mosquita de color blanco cremosos de 1 mm de tamaño, los huevecillos del insecto son depositados por la hembras en forma aislada en el envés de las hojas, las ninfas son de color amarillo claro al principio y posteriormente se tornan de color oscuro.

Las ninfas y adultos se posan en el envés de las hojas tiernas y se alimentan succionando la savia; en ataques fuertes las hojas se debilitan y el árbol se desarrolla raquíticamente; los daños se presentan generalmente en las ramas bajas, por ser aquí donde encuentran mejores condiciones de temperatura, humedad y ventilación. Indirectamente con la secreción

de su mielecilla contribuyendo a la aparición de fumagina en los tallos, hojas y frutos (González-Olmos, 2012).

2.10.5 Lepidópteros

El aguacate, al igual que otros frutales, es atacado por insectos defoliadores, los cuales se consideran como plagas secundarias entre los que se encuentran principalmente lepidópteros y algunos coleópteros. Estas plagas son consideradas de presencia ocasional o que se presentan a niveles sub-económicos, pero que de alguna forma pueden contribuir directa o indirectamente a reducir el vigor. La especie *Copaxa multifenestrata* (Henrich-Shaffer) es un satúrnido conocido comúnmente como “gusano verde o quemador” es específica del aguacatero, los daños son causados por las larvas, que prefieren alimentarse de hojas maduras; *Papilio garamas* Hubner es un papiliónido conocido como “gusano perro del aguacate”, durante los primeros cuatro estadios se alimenta de las puntas y de los brotes del aguacatero, el quinto estado larval es el más voraz pues consume el limbo, la parte central de las hojas y aún los peciolos de las hojas. Las medidas de control se dan a través de productos químicos, los cuales disminuyen rápidamente las poblaciones de esta plaga. Los insecticidas recomendados pueden ser: Malathion 1000 (1L/ha) y Dimetoato (sistémico) (.75 L/ha), los cuales se deben aplicar al follaje cuando se encuentren las larvas en sus primeras etapas de crecimiento, o se observen sus daño (INIFAP, 2019).

2.10.6 Barrenador de las ramas (*Copturus aguacate* Kissinger)

Este es un insecto robusto de aproximadamente 4 x 1.8 mm el macho y la hembra de 5.2 x 2mm de longitud y ancho, respectivamente; de coloración pardo rojiza. Durante el día se encuentran activos sobre ramas y hojas, las hembras ovipositan sobre la superficie de ramas

tiernas, pero en incidencias severas puede atacar ramas de dos años o más. El daño comienza cuando los adultos se alimentan y hacen perforaciones en los brotes tiernos, algunas heridas pueden utilizarlas como sitios para ovipositar los huevecillos. Cuando emergen las larvas, barrenan a lo largo de la rama destruyendo hasta el xilema. Las ramas dañadas presentan por fuera una secreción blanquecina lechosa con aspecto jabonoso y la rama queda endeble a cualquier movimiento brusco, fácilmente puede quebrarse durante la cosecha al jalar el fruto o por el viento. Esta plaga ha sido reportada en los estados de Michoacán, México, Querétaro, Oaxaca y Veracruz (González-Olmos, 2012). El barrenador de ramas y troncos del aguacate, es una de las plagas de mayor importancia económica, ya que limita la comercialización del fruto tanto en mercado nacional como internacional. La fruta procedente de huertos infestados con *C. aguacatae* no puede ser exportada, ante lo cual se han emprendido y ejecutan actualmente diversas acciones de control para disminuir su impacto en la calidad y volúmenes de fruta a movilizar y comerciar (Talavera y Padilla, 2003).

2.10.7 Barrenador grande del hueso del aguacate (*Heilipus lauri* Boheman)

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. 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 (Maldonado, 2016).

2.10.8 Barrenador pequeño del hueso del aguacate (*Conotrachelus perseae* Barber)

La hembra de este insecto mide alrededor de 5 mm de longitud y es de color café rojizo. Tiene un ciclo biológico de 74 a 94 días, las hembras, y 72 a 89 días, los machos, dependiendo de la temperatura; desde la ovoposición en el fruto hasta que emergen de la tierra. Presentan una longevidad de 140 días las hembras y 111 días los machos. Las hembras depositan sus huevecillos en la superficie del fruto, haciendo una perforación con el pico, y éstos entran en contacto con la pulpa del fruto luego, sella la perforación con una sustancia que se endurece al contacto con el aire; una hembra puede ovipositar 70 huevecillos durante su ciclo de vida, la incubación del huevecillo dura +/- 6.6 días, generalmente se presenta dos picos poblaciones durante el año, el primero en febrero a marzo y el segundo a mediados de agosto El daño lo producen las larvas (6 mm de longitud) que han eclosionado de los huevecillos al perforar el fruto y hueso, los orificios de entrada son perceptibles a simple vista, la ovoposición generalmente ocurre en la parte basal del fruto de la parte media del árbol. El fruto dañado cae al suelo, las larvas al completar su desarrollo salen del fruto y se introducen en el suelo a una profundidad de 2.5 5 cm donde forman una celda compacta y después pupan. La pupa tiene una duración de 30 días (González-Olmos, 2012 y Becerril, 2017). Los barrenadores de hueso y rama, son la causa la causa principal para la elaboración y aplicación de la Norma Oficial Mexicana NOM066-FITO-1995, considerando que la presencia de los barrenadores son una limitante para la producción y comercialización nacional de la fruta y que representa también una limitante para exportar este producto, por las restricciones fitosanitarias que

imponen los países importadores al aguacate mexicano. Esta norma establece que para poder movilizar fruta de aguacate de los huertos hacia cualquier destino, es necesario que el producto no presente daños que evidencien la presencia de plagas de importancia cuarentenaria, considerando como tales a los barrenadores de la semilla y al barrenador de las ramas (Coria-Ávalos, 1999).

2.11 Araña roja (*Oligonychus punicae* Hirst)

La familia *Tetranychidae* contiene más especies de importancia en la agricultura. Practicamente todos los cultivos alimentarios principales y muchas plantas ornamentales están sujetos a ataques. Uno de los primeros estudios que se registraron para la familia *Tetranychidae*, en America del Norte son: Banks (1900) "Introducción a la acarología"; McGregor (1919) "Las arañas rojas de America y algunas especies introducidas probablemente de Europa" y McGreggo (1950) "Acarós de la familia *Tetranychidae*" (Pritchard y Baker, 1995). Los ácaros se encuentran asociados a la mayoría de los cultivos como plagas secundarias o primarias provocando daños de ligeros a severos. Son el grupo más importante como plaga en diversos cultivos después de los insectos y generalmente ambos grupos de artrópodos se encuentran asociados. Los ácaros fitófagos en general presentan quelíceros estiletiformes, pequeñas agujas punzantes, que penetran los tejidos de las plantas de las que se alimentan provocando clorosis, deformación de las áreas en crecimiento, engrosamiento y necrosis del tejido, y en algunos casos transmisión de enfermedades. Las especies pueden atacar el follaje, flores y frutos. Las pérdidas por los daños ocasionados por estos organismos en los diversos cultivos son cuantiosas a nivel mundial. Dentro de los ácaros asociados al cultivo del aguacate dos familias destacan, *Tetranychidae* (ácaros fitófagos) y *Phytoseiidae* (ácaros depredadores) la primera por incluir las especies fitófagas más importantes y en la

segunda se encuentran los depredadores más importantes; en algunos de estos últimos ya se ha probado su importancia como agentes de control biológico (Estrada, 2007).

El ácaro *Oligonychus punicae* (Hirst) (Acari: Tetranychidae) se encuentra distribuida en Norte y Sudamérica, así como en países Europeos y Asiáticos. En México se ha reportado en las zonas aguacateras de Puebla, Chiapas, Tamaulipas, Michoacán y Morelos. *Oligonychus punicae* fue descrito por primera vez por Hirst (1926) como *Paratetranychus punicae*; Pritchard y Baker “1955”, lo ubicaron como género (Cerna *et al.*, 2009). *O. punicae* probablemente es originario del sur de México y Guatemala, puede alcanzar altas densidades ocasionando defoliación de árboles, especialmente de la variedad HASS. Se alimentan en haz de la hojas, excepto en infestaciones muy altas en que se pueden encontrar también en el envés y en fruto. Algunas infestaciones incipientes se desarrollan a lo largo de la nervadura media o en depresiones en la superficie de la hoja. Los daños provocados al alimentarse varían, pero si la infestación es muy severa puede causar defoliación (80-100 hembras o 200-300 inmaduros por hoja). Este artrópodo es de las plagas más comunes en cualquier plantación aguacatera, más aun, si se descuidan las plantaciones se presentan infestaciones tan severas que pueden llegar a secar el follaje o manchar los frutos. Es plaga principal de aguacate, ataca el haz de las hojas, únicamente invade el envés en infestaciones pesadas, pero no se reproduce bien en el envés de las hojas. Puede atacar otros cultivos y malas hierbas (González-Olmos, 2012).

2.11.1 Ubicación taxonómica (Krantz, 2009)

Dominio Eukaryota

Reino Metazoa

Phylum Artrópoda

Clase Arachnida

Orden Trombidiformes

Suborden Prostigmata

Familia Tetranychidae

Genero *Oligonychus*

Especie *Oligonychus punicae* (Hirst)

2.11.2 Características de diagnóstico

Son de cuerpo blando, de forma ovalada o elíptica con la base de los quelíceros fusionados del que se proyecta un par de estiletos. Los pedipalpos presentan cinco artejos que terminan en un proceso uña-tibia-tarso; las hembras presentan patas con siete setas táctiles en la tibia I y cuatro setas en el torso I proximal a las setas dúplex. El proterosoma y patas de color rosado a naranja; el histerosoma es de color oscuro y una mancha dorso longitudinalmente de color opaco. Las patas III y IV blancuzcas. Los perimetremas rectos distalmente, con la extremidad ligeramente ensanchada. Los empodios I y IV uncinados y cuatro pares de pelos próximo ventral. Dos pares de setas dúplex en el tarso; con dos pares de setas anales; los machos tienen el cuerpo más pálido que el de la hembra, el macho es distintivo por que el gancho del edeago ventralmente dirigido es bastante ancho y el extremo distal se estrecha abruptamente para formar una proyección en forma de dedo, ligeramente arqueado hacia el dorso y terminación corta dirigida hacia el vientre (García, 2017).

2.11.3 Biología y ciclo de vida

En México, diferentes cultivares muestran diferentes respuestas a *O. punicae*, una generación puede ser obtenida en 20.4 días en los diferentes estadios de desarrollo desde, huevo 9.6 d; larva 2.4 d, protocrisálida 2.3 d, protoninfa 2 d, deutocrisalida, 1.4 d, deutoninfa 1.3 d y teliocrisalida 1.4 d, en hojas de aguacate Hass, a una temperatura de 23 °C (Imbacho-López *et al.*, 2017). Las poblaciones de *O. punicae* se reducen durante condiciones de baja temperatura y alta humedad.

2.11.4 Medidas de control

En relación a las medidas de control, es recomendable una constante supervisión del huerto mediante la revisión del follaje para detectar los brotes de plagas. El daño lo causan al succionar la savia de las hojas ocasionando defoliaciones. Se presentan durante los meses calurosos y secos del año; ocasiona una coloración rojiza en las hojas y al aumentar la incidencia de la plaga, las hojas se tornan cenizas, luego amarillentas hasta caerse. Los productos químicos que se recomienda aplicar son los siguientes: Sultron 725 Azufre líquido (1 L/ha); Malathion 1000 (1 L/ha) y Dimetoato (0.75 L /ha), el modo de utilizar es aplicar al follaje a las primeras indicaciones del daño, remiriendo el tratamiento cada 15-20 días hasta completar cuatro aplicaciones (INIFAP, 2019).

2.11.5 Umbral económico

La población del ácaro varía de una temporada a otra y de una localidad a otra, es difícil encontrar diferencias en producción en árboles atacados a diferente intensidad por la araña, debido a la variabilidad de la población del ácaro y la producción de los árboles de temporada

a temporada. Una población de 50 a 70 hembras por hoja por varias semanas, causa defoliación al árbol sin afectar el crecimiento o producción, sin embargo se ve afectado el crecimiento, la producción floración. El límite crítico que se requiere para realizar en forma costeable el control de dicha plaga se realiza cuando el cultivo presenta un 20% de infestación (González-Olmos, 2012).

2.11.6 Prácticas culturales

Cuando se tienen superficies grandes con un solo cultivo, como es el caso del Aguacate en Michoacán, se limitan los reservorios de los enemigos naturales del ácaro, propiciando el rápido desarrollo de la plaga sin que los factores bióticos logren regular las poblaciones. Aunado a esto, la reducción de las malas hierbas en las huertas para evitar la competencia en el cultivo también contribuye a la destrucción del hábitat natural de los depredadores en general. Cuando las huertas están cerca de caminos polvosos, los ácaros o insectos depredadores mueren por la disecación o dificultan la búsqueda de la presa, además de que el polvo mismo es utilizado como material para elaborar la telaraña del ácaro fitófago manifestándose altas poblaciones de la plaga. Finalmente debe evitarse en lo posible la aplicación de productos químicos para el control de plagas y enfermedades o micronutrientes, principalmente productos a base de cobre cuando los factores climáticos son propicios para el desarrollo de la plaga, puesto que se elimina la población de depredadores y en cambio si favorece el desarrollo de los ácaros fitófagos (González-Olmos, 2012).

2.12 Sistema de Posicionamiento Global (GPS)

El Sistema de Posicionamiento Global (GPS) es un sistema de localización, diseñado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos con fines militares para proporcionar estimaciones precisas de posición, velocidad y tiempo; operativo desde 1995 utiliza conjuntamente una red de ordenadores y una constelación de 24 satélites para determinar por triangulación, la altitud, longitud y latitud de cualquier objeto en la superficie terrestre. Su funcionamiento es análogo al método utilizado por los antiguos navegantes, que determinaban su ubicación basándose en las estrellas, planetas y satélites naturales. Los sistemas actuales utilizan satélites especialmente desarrollados para ese fin, con órbitas perfectamente conocidas y, de acuerdo con las distancias en relación a los satélites, se determina el posicionamiento del usuario sobre la superficie terrestre. (Pozo-Ruz *et al.*, 2000 y Montovani y Magdalena, 2014).

Este tipo de tecnologías ha hecho que se tengan algunos beneficios entre los que se tiene:

-No es necesario que exista visión entre las posiciones que se desea relevar, como en la topografía convencional con el uso del teodolito o estación total. Solo se necesita de una apertura al cielo. Esto quiere decir que no puede haber impedimento físico entre la antena del receptor y los satélites, como por ejemplo: copas de árboles, construcciones, etc.

-Cuando los satélites operan apropiadamente, permiten la captura de una ubicación precisa y rápida, incluso con el receptor en movimiento.

-La información ya se encuentra en forma digital, lo que permite una integración más fácil con sistemas de informaciones geográficas, de mapeo y computadores de a bordo y controladores de máquinas.

-Permite trabajar en cualquier condición de tiempo, de día o de noche. Se puede afirmar que a partir de la disposición del Sistema de Posicionamiento Global por parte del Departamento de Defensa de Estados Unidos, se comenzaron a georreferenciar los problemas y soluciones para la agricultura, y con ello nace la agricultura de precisión (Montovani y Magdalena, 2014).

2.13 Estadística espacial

El término estadística espacial, en su sentido más amplio, engloba 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, entre otros. 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 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 ventaja de utilizar las técnicas de análisis estadístico espacial es que ellas son capaces de resumir el complejo patrón espacial, haciendo esta complejidad

digerible para los ojos y la mente humana, lo que hace más factible la toma de decisiones y la intervención. 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 (Alegret *et al.*, 2008 y Maldonado, 2016).

2.14 Geostatística

En los años 60, Matheron acuñó el término de Geoestadística. Reconocido como el padre de esta disciplina, Matheron formalizó y generalizó matemáticamente un conjunto de técnicas desarrolladas que explotaban la correlación espacial para hacer predicciones en la evaluación de reservas de las minas de oro en Sudáfrica. Él definió a la Geoestadística como "la aplicación del formalismo de las funciones aleatorias al reconocimiento y estimación de fenómenos naturales", puede visualizarse como la asociación de una variable aleatoria a cada punto del espacio. La geoestadística es una rama de la estadística aplicada que se especializa en el análisis y la modelación de la variabilidad espacial en ciencias de la tierra. Su objeto de estudio es el análisis y la predicción de fenómenos en espacio y/o tiempo, tales como: ley de metales, porosidades, concentraciones de un contaminante, etc. Aunque el prefijo "geo" usualmente asociado con geología, sin embargo la geoestadística tiene sus orígenes en la minería. Actualmente, la geoestadística es un conjunto de técnicas usadas para analizar y predecir valores de una propiedad distribuida en espacio o tiempo. En contraposición con la estadística clásica o convencional, tales valores no se consideran independientes, por el contrario se suponen de manera implícita que están correlacionados unos con otros, es decir que existe una dependencia espacial. Intuitivamente esto indica que mientras más cercanos estén situados dos puntos están

mas correlacionados y mientras más separados hay menos relación entre estos (Viera y González, 2002).

2.14.1 Ventajas de la Geoestadística

Permite acoplar las ventajas de la estadística y las de los métodos de interpolación, además, son variables regionalizadas, dicho de otra manera, es una variable distribuida en el espacio de manera tal que presenta una estructura espacial de correlación. La Geoestadística constituye un marco ideal para la ubicación de puntos de muestreo de forma que se minimice la incertidumbre de estimación. Permite establecer el error asociado a la estimación, así como determinar la serie de coeficientes ponderadores para los métodos de extrapolación. Ofrece una manera de describir la continuidad espacial, que es un rasgo distintivo esencial de muchos fenómenos naturales, y proporciona adaptaciones de las técnicas clásicas de regresión para tomar ventajas de esta continuidad (Maldonado, 2016).

2.14.2 Etapas comprendidas en un análisis geoestadístico

La geoestadística comprende a un conjunto de herramientas y técnicas que sirven para analizar y predecir los valores de una variable que se muestra distribuida en el espacio o en el tiempo de una forma continua. Todo trabajo geoestadístico tiene que llevarse a cabo en cuatro etapas:

1. *Análisis exploratorio de los datos.* Se estudian los datos muestrales sin tener en cuenta su distribución geográfica. Sería una etapa de aplicación de la estadística. Se comprueba la consistencia de los datos, eliminándose los erróneos e identificándose las distribuciones de las que provienen.

2. *Análisis estructural*. Estudio de la continuidad espacial de la variable. Se calcula el variograma, u otra función que explique la variabilidad espacial, y se ajusta al mismo un variograma teórico.

3. *Predicciones*. Estimaciones de la variable en los puntos no muestrales, considerando la estructura de correlación espacial seleccionada e integrando la información obtenida de forma directa en los puntos muestrales, así como la conseguida indirectamente en forma de tendencias conocidas (Garcia, 2004).

2.14.3 Estimación del semivariograma.

El cálculo del semivariograma experimental es la herramienta geoestadística más importante en la determinación de las características de variabilidad y correlación espacial del fenómeno estudiado, es decir, tener conocimiento de cómo la variable cambia de una localización a otra; representado la herramienta más importante que dispone la geoestadística para el análisis de la variable de distribución espacial en estudio. Este análisis tiene como condicionantes: la distribución estadística, la existencia de valores aberrantes o anómalos, la presencia de zonas homogéneas o posibles zonaciones en la distribución de las leyes (González-Olmos, 2012).

El semivariograma experimental se estima con datos obtenidos en los sitios de muestreo; el valor experimental del semivariograma se calculó con la siguiente expresión.

$$y^*(h) = \sum [z(x_i+h) - z(x_i)]^2 / N(h) \quad i=1 \dots x$$

Donde:

$y^*(h)$ Valor experimental del semivariograma para el intervalo de distancia h ;

$N(h)$ Número de pares de puntos muestrales separados por el intervalo de distancia h ;

$Z(x_i)$ Valor de la variable de interés en el punto muestral x_i

$z(x_i+h)$ Valor de la variable de interés en el punto muestral x_i+h

Para la realización de cada uno de los semivariogramas experimentales correspondientes a cada muestreo de las parcelas experimentales se utilizaron los programas de Variowin 2.2 (Software for Spatial Data Analysis in 2D. Springer Verlag, New York; USA 2013) (Cristobal, 2015).

2.14.4 Tipos de semivariogramas

En sentido amplio se considera por su forma que hay dos tipos principales de semivariogramas. En el primer tipo, la semivarianza se incrementa con el incremento del valor absoluto del intervalo $|h|$ hasta alcanzar un valor máximo a partir del cual se mantiene relativamente constante y oscila alrededor del mismo. Estos semivariogramas son conocidos como de tipo transitivo. El valor del intervalo a partir del cual el semivariograma no se incrementa es conocido como alcance o rango (radio de correlación) y marca el límite de la dependencia espacial de la propiedad. La varianza máxima es conocida como "sill" o meseta del semivariograma y teóricamente debe coincidir con la varianza a priori σ^2 de la muestra de la función aleatoria $Z(x)$. El segundo tipo de semivariograma aparenta un incremento sin límites, es decir son no acotados, por esto no presentan una varianza a priori finita. Un aspecto del semivariograma que es importante señalar es que por definición $\gamma(0) = 0$ pero en la práctica el semivariograma muestral $\gamma^*(h)$ cuando h tiende a cero no necesariamente se anula. Esto es conocido como efecto "nugget" o pepita, y el valor del semivariograma en cero $\gamma(0)$ es conocido como la varianza "nugget" o microvarianza. En principio esto puede ocurrir solamente si existen discontinuidades en la función aleatoria. En la práctica su existencia debe a la variación espacial que no puede explicar el variograma debido a la escala del muestreo. Para un material continuamente variable el efecto nugget se produce a partir de la contribución de los errores de medición y la variación a distancias mucho menores que el

intervalo de muestreo más pequeño. Aunque para el modelamiento de un variograma experimental se deben aplicar fórmulas o modelos matemáticos autorizados, estos modelos matemáticos tienen la característica de ser una función siempre positiva para cualquier valor de $|h|$. (Maldonado, 2016).

2.14.5 Parámetros del semivariograma

El Efecto Pepita (Nugget): El semivariograma por definición es nulo en el origen, pero en la práctica las funciones obtenidas pueden presentar discontinuidad en el origen, a esta discontinuidad se le llama efecto de pepita, en inglés (Nugget effect). Puede ser obtenido trazando una línea recta entre los primeros puntos del semivariograma empírico y extender ésta hasta que se intercepte con el eje Y. Si esta intersección ocurre por debajo de cero, el valor asumido por este efecto es cero, pues valores negativos de $\gamma(0)$ no tienen significado y no es común. El efecto pepita se representa como C_0 .

La Meseta (Sill): Es el valor de $\gamma(h)$ para el cual con el aumento de h su valor permanece constante, se representa como $(CT = C + C_0)$ y se denomina meseta. Puede obtenerse trazando una línea paralela a la abscisa y que se ajuste a los puntos de mayor valor del semivariograma y su valor se lee en la intersección de esta línea con la ordenada.

El Alcance (Range): La distancia h para la cual las variables $Z(x)$ y $Z(x+h)$, son independientes, se denomina alcance y se representa por (a) , es decir, las distancias para la cual los valores de la variable dejan de estar correlacionados, o lo que es lo mismo, la distancia para la cual el semivariograma alcanza su meseta. El alcance siempre tiene valor positivo y puede ser obtenido a partir de la intersección de las líneas descritas en los puntos anteriores, ese punto leído en la abscisa es una fracción del propio alcance, fracción que se detallara posteriormente en la explicación de los modelos teóricos.

Una vez que se han definido los puntos del variograma experimental, será necesario ajustar un modelo a dichos puntos, denominado variograma teórico, debido a la imposibilidad de trabajar con un variograma como el experimental, carente de una función matemática precisa. Los modelos básicos más usados son los denominados esférico, exponencial, gaussiano, potencial, lineal y el efecto pepita puro, entre otros (García, 2004 y González-Olmos, 2012).

2.14.6 Krigado

En cualquier trabajo geoestadístico, el principal objetivo del mismo es la caracterización de la variable investigada en todas las localizaciones partiendo de la información suministrada por los puntos muestrales. Los métodos de estimación geoestadística son conocidos como krigado o krigeaje (kriging en la literatura inglesa, en honor de Danie Krige, quien formuló por primera vez esta metodología en 1951). Las principales características que hacen del krigado un método de estimación muy superior a los tradicionales, como el inverso ponderado de la distancia, la triangulación, etc., son las siguientes: a) Mientras que los métodos tradicionales utilizan el concepto euclidiano de la distancia para el cálculo de los pesos que se aplicarán a cada dato muestral, el krigado considera tanto la distancia como la geometría de la localización de las muestras; b) Mediante el krigado se minimiza la varianza del error esperado (diferencia entre el valor real y el estimado). Como el valor real en un punto no muestral es desconocido, el krigado emplea un modelo conceptual con una función aleatoria asociada a los valores reales; c) Los métodos geoestadísticos muestran una gran flexibilidad para la interpolación, pudiéndose estimar valores puntuales o en bloques, así como métodos para incorporar información secundaria que esté relacionada con la variable principal. Todos estos métodos dan lugar a unas superficies muy suaves, además de una

estimación de la varianza en todos los puntos, lo cual no puede realizarse con otros métodos de interpolación (García, 2004).

Los tipos de kriging se pueden denominar:

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.
5. *Kriging Ordinario*: Para desarrollar las ecuaciones de este kriging hay que imponer que la estimación sea lineal, insesgada y con varianza mínima (Maldonado, 2016).

2.14.7 Validación

Existen diferentes métodos para evaluar la bondad del ajuste del modelo de semivariograma elegido con respecto a los datos muestrales, una vez que los semivariogramas experimentales son ajustados a algunos de los modelos descritos, es necesaria la validación, a través del procedimiento denominado validación cruzada (Isaaks y Srivastava, 1989). Este proceso se realiza de una forma secuencial con cada uno de los puntos muestrales y se determina las diferencias entre valores experimentales y estimados con los estadísticos de validación cruzada (Isaaks y Srivastava, 1989; Hevesi *et al.*, 1992). Los parámetros del modelo a validar (pepita, meseta, rango) se van modificando en un procedimiento de prueba y error hasta obtener los estadísticos de validación cruzada adecuados.

Estos estadísticos son los siguientes:

Media de los errores de estimación (MEE)

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

Donde: $Z_{-}(xi)$ es el valor estimado de la variable de interés en el punto xi y $Z(xi)$ es el valor medido de la variable de interés en el punto xi y n es el número de puntos muestrales utilizado en la interpolación. La MEE no debe ser significativamente distinta de 0 (prueba de t), en cuyo caso, indicaría que el modelo de semivariograma permite el cálculo de estimaciones no sesgadas.

Error cuadrado medio (ECM)

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

Un modelo de semivariograma se considera adecuado si, como regla práctica, el ECM es menor

que la varianza de los valores muestrales. (Hervesi *et al.*, 1992).

Error cuadrático medio adimensional (ECMA)

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

Dónde: σ_k es la desviación estándar del error esperado en la estimación con el krigado. La validez del modelo satisface si ECMA está comprendido entre los valores $1 \pm 2(2/N)^{0.5}$.

Otra parte estadística para validar el ajuste del modelo se toma el valor de la varianza de los errores de estimación debe ser \leq que la varianza maestra (Samper y Carrera, 1996).

2.14.8 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).

2.15 Análisis Espacial por Índices de Distancia (SADIE)

SADIE es una herramienta para el análisis de datos espacialmente explícitos en una o dos dimensiones (ej. transectos y superficies) basada en índices de distancia. Aunque ha sido específicamente diseñada para el análisis de conteos (p. ej. número de insectos por planta), SADIE puede utilizarse además con datos binarios y variables ordinales y continuas previamente categorizadas. Entre las principales virtudes de SADIE se encuentran su simplicidad de uso –existe software gratuito e intuitivo para realizar todos los análisis–, su sencilla base matemática, la utilización de tests estadísticos para evaluar la significación de los patrones espaciales observados y la posibilidad de representar visualmente los resultados obtenidos con su aplicación, lo que facilita enormemente su interpretación. Otras características de interés de SADIE son el hecho de que tiene en cuenta la localización espacial de los datos, éstos no necesitan seguir ninguna distribución determinada y los resultados obtenidos están condicionados únicamente por la heterogeneidad presente en los datos. Utilizando una serie de índices de distancia, SADIE permite caracterizar el patrón espacial de una variable dada dentro de la zona de estudio (distinguiendo fundamentalmente tres tipos de patrón espacial: agregado, regular o aleatorio) (Maestre y Quero, 2008).

2.15.1 Índice I_a y J_a

Los índices de distancia para la regularidad I_a y el índice J_a , basado en la distancia del agrupamiento, están diseñados para establecer el modelo de distribución. Una muestra es agregada si $I_a > 1$, la muestra es espacialmente aleatoria si $I_a = 1$, y la muestra es regular si $I_a < 1$; como en el caso del índice I_a , valores de $J_a > 1$, usualmente indican muestra agregada, $J_a = 1$ representa datos espacialmente aleatorios y $J_a < 1$ muestras regulares. 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). El programa que se utiliza para desarrollar esta metodología es el SADIE 1.22 el cual, se encuentra de forma gratuita en la red (González-Olmos, 2012).

2.16 Caracterización de la zona de estudio

El presente estudio se llevo a cabo en cuatro municipios “Coatepec Harinas, Donato Guerra, Temascaltepec y Tenancingo”, los cuales se describen a continuación:

2.16.1 Coatepec Harinas

El nombre original es Coauhtepetl, que proviene del náhuatl, coauhtl, “culebra” “serpiente” y tepetl, “cerro”; que significa “cerro de las serpientes”. Se localiza entre las coordenadas 18°54'00"N 99°43'00"O, con una altitud media 2260 m.s.n.m. Es un municipio agrícola, cuenta

con grandes extensiones de terreno para el cultivo de una gran variedad de productos entre ellos: maíz, frijol, chícharo, haba, jitomate, tomate, calabaza, papa, zanahoria, rábano, cilantro, col, lechuga, coliflor, fresa, zarzamora y nopal; flores de diferentes variedades. Frutales: durazno, aguacate, pera, níspero, tejocote, guayaba, capulín, zapote blanco y zarza; Orografía, Coatepec Harinas está rodeado por dos cadenas montañosas, una al oriente de la cabecera municipal y otra al poniente de la misma, la del oriente está formada por los cerros del Hospital y el Palmar, la del poniente formada por los cerros de Colotepec, El Picacho, Monte de las Vueltas, Chiltepec, La Laguna, el Cucharo, Huehuetzingo y Santa Catarina. Las características de los suelos del municipio se encuadran dentro de las siguientes unidades. Vertisol pelico – Feosem háplico; suelos con capa superficial oscura, suave y rica en materia orgánica. Feosem háplico - litosol; suelos poco profundos con capa superficial rica en nutrientes. Cambisol - éutrico – vertisol; suelos muy arcillosos de color negro o gris muy fértiles. El 40% del territorio municipal se dedica a la agricultura; el 30% corresponde a zonas boscosas; el 10% a ríos, arroyos y barrancas y el 20% corresponde a viviendas, comercio y espacios públicos. De las 28,053 hectáreas de superficie que tiene el municipio aproximadamente 11,000 son laborables, de estas alrededor de 3,000 no se siembran, de las restantes 4,000 son de riego, 2,000 de medio riego y 2,000 de temporal (Juárez, 2001).

2.16.2 Donato Guerra

Su cabecera municipal es Villa Donato Guerra, ha tenido cuando menos tres denominaciones. Por ser el asiento de los poderes públicos y religiosos, se le ha llamado Malacatepec, la Asunción Malacatepec y Donato Guerra. Se localiza entre las coordenadas 19°24'07"N 100°19'13"O, con una altitud media 2200 m.s.n.m. El territorio municipal destina

9,016 hectáreas para el aprovechamiento agrícola, 1,231 hectáreas para usos precuarios, 8,702 son de bosque, 30 hectáreas son de ocupación habitacional y 240 para otros usos. La mayor extensión territorial es de uso agrícola; los principales cultivos son de granos básicos como el maíz y frijol. En la actualidad se están diversificando los cultivos como son avena forrajera, aguacate, durazno, trigo, cebada, hortalizas y plantas de ornato, logrando mayor productividad y rendimiento económico; hidrografía. El río más importante de Donato Guerra, es el de La Asunción, que es afluente del río Tilostóc, este río nace en el municipio de Villa Victoria y en su curso va cambiando de nombre, al paso por los municipios de Villa de Allende, Donato Guerra y Santo Tomás de los Plátanos; en la comunidad de San Lucas Texcaltitlán, forma una cascada de 20 metros aproximados de caída se le conoce como cascada de la Asunción. Otra cascada importante se forma en la barranca honda de Xoconusco, en el límite con el municipio de Ixtapan del Oro, con una caída aproximada de 50 metros que se le conoce como El Salto Chihuahua (Mondragón, 2001).

2.16.3 Temascaltepec

El municipio de Temascaltepec es un municipio semiurbano que se localiza en el área sur del Estado de México. Temascaltepec se deriva del náhuatl temazcalli, "baño de vapor", y de tepetl, "cerro", lo que significa "Cerro de los temascales o baños de vapor". Colinda al norte con Valle de Bravo y Amanalco de Becerra; al sur con Tejupilco, San Simón de Guerrero y Texcaltitlán; al este con Zinacantepec y Coatepec Harinas; al Oeste con Zacazonapan y Tejupilco. La distancia a la capital del estado es de 66 kilómetros y de 140km al Distrito Federal. La extensión territorial es de 547.5 kilómetros cuadrados, que representan el 2.43% del territorio estatal. Se sitúa en las coordenadas 19°02'36"N 100°02'29"O, a una altitud media de 1720 m.s.n.m. Orografía, la sierra de

Temascaltepec es una prolongación del Nevado de Toluca y atraviesa el municipio en toda su extensión. Las elevaciones más importantes son los cerros del Temeroso, la Soledad, el Fortín, las Peñas del Diablo, el Peñón, los Tres Reyes y el cerro de Juan Luis; Clima, se tienen identificadas dos zonas climáticas: la templada subhúmeda, al norte y al este: la semiárida húmeda, al sur y al oeste: predominando el subhúmedo. La temperatura media anual oscila entre los 18°C y 22°C. La precipitación pluvial anual va de los 800 a los 1,600 milímetros. Los principales recursos con que cuenta el municipio son los forestales ya que el 68% de su territorio es forestal, otro de los recursos son sus tierras aptas para la agricultura y ganadería, así como el agua (Borboa, 1999).

2.16.4 Tenancingo

El término tenamitl pierde el afijo itl y cambia la grafía m por n, y toma el sufijo tzintli para formar el término Tenantzintli, que significa “Pequeñas Murallitas”. A esta nueva palabra se le modifica el afijo tli por co que significa “lugar”; interpretando así la palabra tenantzín-co que quiere decir “Lugar de la pequeña fortaleza, o Lugar de la pequeña muralla”. Para perfeccionar este nombre, se cambian las grafía tz por c, posteriormente, por influencia de la lengua castellana se determinó sustituirle el afijo primario de la grafía c por g, quedando reestructurado el vocablo como Tenancingo. Se sitúan en las coordenadas 19°59'00"N 99°10'00"O, a una altura media 2,560 m.s.n.m. Limita al norte con los municipios de Tenango del Valle y Joquicingo; al sur con el municipio de Zumpahuacán; al este con el municipio de Malinalco; y al oeste con el municipio de Villa Guerrero. Se encuentra a 48 kilómetros de la ciudad de Toluca; hidrografía, la hidrografía depende gran parte de la producción agrícola y ganadera; el clima tomando en cuenta al climatólogo Köppen, la región tenancinguense presenta un clima CW (templado con

lluvias en verano), se tiene un promedio de precipitación que va de 1000 a 1500 mm.; La agricultura Cuenta con una extensión cultivable de 6,790 hectáreas, 1,640 de riego y 4,550 de temporal. En éstas se cultiva la floricultura, legumbres, cereales, fruticultura y forrajes (López *et al.*, 2001).

III. JUSTIFICACIÓN

México aporta 3 de cada 10 toneladas de aguacate que se producen en el mundo; lo cual lo coloca como el país exportador del fruto número uno. A nivel nacional, Michoacán aporta 8 de cada 10 toneladas que se producen en México; lo cual lo consolida como el líder productor de aguacate en la República Mexicana; los estados que lo siguen en mayor producción son: Jalisco, Estado de México, Nayarit y Morelos. Este cultivo es un producto de alto valor nutritivo y de importancia tradicional en la dieta mexicana, así como para el mercado de exportación y es una fuente de ingreso de divisas para el país. En las regiones productoras del Estado de México, el aguacate es afectado por diversos problemas fitosanitarios que intervienen en su desarrollo. Entre las plagas más importantes económicamente destaca la araña roja (*Persea americana* Mill).

La araña roja *O. punicae*, es una plaga que afecta a este cultivo, ya que con su ataque las hojas se tornan de color bronceado lo cual disminuye el proceso de fotosíntesis y en ataques muy severos los árboles llegan a defoliarse, al quedar descubierto, los frutos pueden presentar quemaduras por los rayos del sol, causando mermas en los frutos. Resulta también de gran interés comprender como es el comportamiento de este ácaro, para ello se realizó la investigación en los municipios que cuentan con mayor superficie real de aguacate plantada siendo estos: Coatepec Harinas, Temascaltepec, Donato Guerra y Tenancingo. El presente trabajo tuvo por objetivo determinar la distribución espacial de las poblaciones de araña roja y su daño. El comportamiento espacial se identificó a través de técnicas de estadística espacial (SADIE y geoestadística); con los índices de SADIE se determinó la distribución espacial, en el caso de la geoestadística se elaboran mapas de distribución espacial por medio de kriging y la estimación de la superficie infestada. Con los mapas obtenidos con la técnica del Kriging, se pueden

visualizar los centros de agregación de las poblaciones de araña roja, pudiendo conducir el manejo agrícola con precisión, lo cual puede generar beneficios ecológicos y económicos, al realizar con menor frecuencia las aplicaciones de plaguicidas con acciones de control de tipo preventivo y focalizado, manteniendo bajos niveles de infestación.

IV. HIPOTESIS.

La araña roja *Olygonichus punicae* (Hirst), presenta un comportamiento espacial agregado lo que permitirá establecer mapas de incidencia y con ello establecer medidas de control focalizado.

V. OBJETIVOS

Establecer el comportamiento espacial de las poblaciones de araña roja *Olygonichus punicae* (Hirst) y su daño en el cultivo de aguacate en el Estado de México.

5.1 Objetivos particulares

-Modelizar la distribución espacial de las poblaciones de araña roja *Olygonichus punicae* (Hirst), y su daño en el cultivo de aguacate (*Persea americana* Mill).

-Elaborar mapas de densidad de las poblaciones de araña roja *Olygonichus punicae* (Hirst) y su daño mediante la técnica del Krigeado.

-Establecer el porcentaje de infección de las poblaciones de araña roja *Olygonichus punicae* (Hirst) y su daño en el aguacate (*Persea americana* Mill)

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 Descripción del área de estudio.

El estudio se llevó en a cabo en cuatro municipios del Estado de México, Coatepec Harinas 18°54'00"N 99°43'00"O altitud media 2260 msnm y Donato Guerra 19°24'07"N 100°19'13"O altitud media 2200 msnm, Temascaltepec 19°02' 36" altitud media 1720 msnm y Tenancingo 18° 57' 39" N 99°35' 26" O altitud media 2031 msnm en dieciséis parcelas cuatro por municipio, de dos hectáreas en promedio cada una. Las parcelas se dividieron en 50 cuadrantes (20 x 20 m), en forma aleatoria se seleccionaron 25 para realizar el muestreo, en cada cuadrante seleccionado se consideraron dos árboles, para un total de 50 árboles por parcela; la edad de los árboles de aguacate variedad hass fue de diez años en promedio; cada árbol se georeferenció utilizando un GPSmap60 de la marca Garmin para obtener sus coordenadas (Ramírez *et al.*, 2013; Maldonado *et al.*, 2016). Los muestreos se realizaron en forma mensual en dos períodos; a) octubre 2016 a mayo 2017 y b) octubre 2017 a mayo 2018; contando el número de arañas con un lente de aumento de 20X, para lo cual se seleccionaron 60 hojas por árbol, tomando quince hojas por cada punto cardinal del árbol (Norte, Este, Oeste y Sur), de las cuales cinco hojas correspondieron al tercio inferior, cinco hojas al tercio medio y cinco hojas al tercio superior. De cada una se contaron el número total de arañas y de igual manera se registro el nivel de daño que tuvo cada hoja provocado por la araña roja.

Para determinar el daño ocasionado por la araña roja en cada hoja se realizaron muestreos, con los que se determino la severidad de daño provocado en las hojas de cada árbol, por lo que se jerarquizaron de acuerdo a la siguiente escala hedónica:

- Nivel 0: 0% de daño, las hojas no presentan ningún nivel de daño.
- Nivel 1: 1-20% de daño, las hojas se encuentran levemente dañadas por la plaga.
- Nivel 2: 21-35% de daño, las hojas presentan un daño más notable.
- Nivel 3: 36-59% de daño, las hojas presentan un daño medio, normalmente cubren el 50% de la hoja.
- Nivel 4: 60-100% de daño, la hojas se encuentran gravemente dañadas (González-Olmos, 2012).

Se realizó una exploración estadística de los datos originales de las poblaciones completando cincuenta muestreos por parcela, el análisis geoestadístico consistió de los siguientes pasos: a) estimación de semivariograma; b) estimación de los parámetros de semivariograma y c) estimación de la distribución espacial utilizando puntos a través de krigiado (Esquivel y Jasso, 2014).

6.2 Análisis e interpretación de los datos

Los resultados que se obtuvieron de campo se procesaron a través de los métodos de la Estadística Espacial (Geoestadística y Análisis Espacial por Índice de Distancia (SADIE)). A continuación se muestran los pasos que se siguieron para la realización del análisis de resultados.

6.3 Geoestadística.

-Estimación del Semivariograma; la estimación del semivariograma experimental se realizó con base en los datos adquiridos en los diferentes muestreos de la población de *O. punicae* y su daño; el valor experimental del semivariograma se calculó por medio de la siguiente fórmula (Journel y Huijbregts, 1978; Isaaks y Srivastava, 1989).

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

Donde:

$\gamma^*(h)$ es el valor experimental del semivariograma para el intervalo de distancia h .

$N(h)$ es el número de pares de puntos muestrales separados por el intervalo de distancia h .

$z(x_i)$ es el valor de la variable de interés en el punto muestral x_i .

$z(x_i+h)$ es el valor de la variable de interés en el punto muestral x_i+h .

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 (Samper y Carrera, 1996).

Dicho semivariograma fue ajustado a un modelo teórico (esférico, gaussiano o exponencial) a través del programa model de variowin 2.1.

-Elaboración de mapas (Krigado).

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).

-Validación Cruzada.

La validación de los diferentes modelos ajustados a los semivariogramas experimentales se realizó con el procedimiento denominado “validación cruzada” (Isaaks y Srivastava, 1989). Con este procedimiento no paramétrico, se elimina un valor muestral y se emplea el método de interpolación geoestadístico denominado krigado, junto con el modelo de semivariograma a validar, para estimar el valor de la variable de interés en dicho punto muestral, a partir de los restantes valores muestrales. 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). 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):

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

Dónde: $z^*(x_i)$ = valor estimado de la variable de interés en el punto x_i ; $z(x_i)$ = valor medido de la variable de interés en el punto x_i y n = número de puntos muestrales utilizado en la interpolación. La MEE no debe ser significativamente distinta de 0 (Prueba de t), en cuyo caso, indicaría que el modelo de semivariograma permite el cálculo de estimadores no sesgados.

b. Error cuadrático medio (ECM):

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

Un modelo de semivariograma se considera adecuado si, como regla práctica, el valor del estadístico es cercano a cero (Hevesi *et al.*, 1992).

c. Error cuadrático medio adimensional (ECMA):

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

Dónde σ_k = desviación estándar del error esperado en la estimación con el krigado. La validez del modelo se satisface si ECMA está comprendido entre los valores $1+2(2/N)$ 0.5.

d. Otro estadístico para validar el ajuste del modelo consiste en que el valor de la varianza de los errores sea menor a la varianza muestral.

-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 obtuvo 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 alto, 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).

6.4 Análisis Espacial por Índices de Distancia (SADIE).

(Spatial Analysis by Distance Indices). Es una metodología de la estadística espacial, la cual identifica un 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. Es un índice biológicamente más descriptivo e informativo de la distribución espacial de las poblaciones de insectos que el índice de dispersión (cociente media varianza) y el Índice de Green, los cuales dependen directamente de la abundancia de la población (Perry *et al.* 1996). Perry (1995) indicó que para datos recolectados en ubicaciones específicas el uso de la distancia para la regularidad es muy adecuado y demostró cómo distinguir no aleatoriedad en la forma de heterogeneidad estadística, de la no aleatoriedad espacial, desarrolló y extendió el uso del índice de la distancia para la regularidad (I_a) para el establecimiento de la estructura espacial de las poblaciones de insectos. Además, introdujo dos diagramas de diagnóstico como ayuda a la interpretación y un índice nuevo para estimar el número de focos de agrupamiento de una población, el índice J_a .

En el presente trabajo se utilizó el índice basado en la distancia para la regularidad I_a y el índice J_a , en la distancia del agrupamiento Perry (1995). Una muestra es agregada si

$I_a > 1$, la muestra es espacialmente aleatoria si $I_a = 1$, y la muestra es regular si $I_a < 1$. 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. 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). El programa utilizado en este trabajo para determinar los valores y las probabilidades de ambos índices fue el SADIE 1.22 (Perry *et al.*, 1996).

VII.RESULTADOS

Derivado de los resultados obtenidos durante el desarrollo de este trabajo de investigación, se obtuvieron como producto tres artículos científicos de los cuales se enlistan a continuación:

➤ **Artículo publicado:**

-Distribución espacial de araña roja *Oligonychus punicae* Hirst en el cultivo del aguacate, en dos municipios del Estado de México. *Southwestern entomologist*, 43(3):743-759.

➤ **Artículo enviado:**

-Modelización espacial de araña roja (*Oligonychus punicae* Hirst) en el cultivo de aguacate, Sometido a la Revista *Colombiana de Entomología*.

-Distribución espacial del daño por araña roja *Oligonychus punicae* (acari: tetranychidae) en aguacate; Estado de México, Sometido a la Revista *Agricultura Sociedad y Desarrollo*.

➤ **Otros resultados**

7.1 Capítulo 1

Resultado del análisis de información proveniente de los muestreos a dos municipios del Estado de Mexico “Coatepec Harinas y Donato Guerra”, correspondiente al período de octubre 2016 a mayo 2017, se envió artículo a la revista *Southwestern Entomologist* (JCR), el cual se acepto y se publico con el número 43(3):743-759.



05jun18

Estimado Dr. Ramírez: me es grato comunicarle que su manuscrito **“Distribución Espacial de Araña Roja *Oligonychus punicae* Hirst en el Cultivo del Aguacate, en dos Municipios del Estado de México”** de los autores **Fidel Lara –Vázquez; José Francisco Ramírez-Dávila; Martin Rubi-Arriaga; Edgar Jesús Morales-Rosales; Dulce Karen Figueroa-Figueroa; Agustin David Acosta-Guadarrama and Roberto Rivera-Martínez**, 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

Carlos A. Blanco, Editor asociado

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

Cc. Bonnie Pendleton, Editor-in-Chief

Distribución Espacial de Araña Roja *Oligonychus punicae* Hirst en el Cultivo del Aguacate, en dos Municipios del Estado de México

Author(s): Fidel Lara-Vázquez José Francisco Ramírez-Dávila, Martín Rubí-Arriaga Edgar Jesús Morales-Rosales Dulce Karen Figueroa-Figueroa Agustín David Acosta-Guadarrama and Roberto Rivera-Martínez

Source: Southwestern Entomologist, 43(3):743-759.

Published By: Society of Southwestern Entomologists

<https://doi.org/10.3958/059.043.0320>

URL: <http://www.bioone.org/doi/full/10.3958/059.043.0320>

BioOne (www.bioone.org) is a nonprofit, online aggregation of core research in the biological, ecological, and environmental sciences. BioOne provides a sustainable online platform for over 170 journals and books published by nonprofit societies, associations, museums, institutions, and presses.

Your use of this PDF, the BioOne Web site, and all posted and associated content indicates your acceptance of BioOne's Terms of Use, available at www.bioone.org/page/terms_of_use.

Usage of BioOne content is strictly limited to personal, educational, and non-commercial use. Commercial inquiries or rights and permissions requests should be directed to the individual publisher as copyright holder.

Distribución Espacial de Araña Roja *Oligonychus punicae* Hirst¹ en el Cultivo del Aguacate, en dos Municipios del Estado de México**Spatial Distribution of the Red Spider Mite, *Oligonychus punicae* Hirst¹, in Avocados at Two Municipalities of the State of Mexico**

Fidel Lara-Vázquez², José Francisco Ramírez-Dávila^{3*}, Martín Rubí-Arriaga³, Edgar Jesús Morales-Rosales³, Dulce Karen Figueroa-Figueroa², Agustín David Acosta-Guadarrama², and Roberto Rivera-Martínez²

Resumen. El aguacate (*Persea americana* Mill.) es un cultivo perenne de importancia económica, por su gran aceptación en el mercado nacional e internacional. Sin embargo, es susceptible a plagas y enfermedades, entre las más importantes está la araña roja (*Oligonychus punicae* Hirst). Si se sabe la distribución de la plaga, las aplicaciones de agroquímicos pueden estar dirigidas lo que reduce costos, contaminación ambiental, residualidad, entre otros beneficios. El presente trabajo tuvo por objetivo determinar la distribución espacial de las poblaciones de araña roja en dos municipios del Estado de México. El comportamiento espacial se identificó a través de las técnicas de estadística espacial (SADIE y geoestadística), con los índices de SADIE se determinó la distribución espacial, en el caso de la geoestadística se elaboraron mapas de distribución espacial por medio de krigado y la estimación de la superficie infestada. Los resultados indican que las poblaciones de araña roja presentan una distribución de tipo agregada, ajustándose a los modelos de tipo Gaussiano, Esférico y Exponencial. Dicho comportamiento fue corroborado con los mapas de densidad. Las infestaciones no se distribuyen en el 100% en las parcelas de aguacate, habiendo lugares donde es poca la infestación, lo cual permitiría dirigir de manera eficaz acciones de control.

Abstract. The avocado (*Persea americana* Mill.) is a perennial crop of economic importance, for its great acceptance in the national and international markets. However, it is susceptible to pests and diseases, among the most important is the red spider mite (*Oligonychus punicae* Hirst). If the distribution of the pest is known in orchards, the applications of agrochemicals can be directed which reduces costs, environmental pollution, residuality, among other benefits. The objective of this work was to determine the spatial distribution of red spider mite populations in two municipalities of the State of Mexico. Spatial behavior was identified through spatial

¹Acarí: Tetranychidae

²Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, Universidad Autónoma del Estado de México, Campus "El Cerrillo", El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México, C.P. 50200, México.

³Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma del Estado de México, Campus "El Cerrillo", El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México, C.P. 50200, México.

*Autor para correspondencia / Corresponding autor: jframirez@uaemex.mx

statistics techniques (SADIE and geostatistics), with the SADIE indices, the spatial distribution was determined, in the case of geostatistics, maps of spatial distribution were prepared by means of kriging and the estimation of the infested surface. The results indicate that red spider populations present an aggregate type distribution, adjusting to the Gaussian, Spherical, and Exponential models. This behavior was corroborated with the density maps. The infestations are not distributed 100% in the avocado plots, where there is little infestation, which would effectively control actions.

Introducción

México es el principal productor a nivel mundial de aguacate con más de 205,250 ha establecidas con una producción de 1,889,353 toneladas con un valor aproximado 30,265,787 pesos, siendo los Estados con mayor producción, Michoacán, Jalisco, México, Nayarit, Guerrero, Morelos, Puebla, y Chiapas. En el Estado de México hay 8,876.76 ha, principalmente en Coatepec Harinas 2,058 ha, Temascaltepec 1,497 ha, Donato Guerra 1,391, y Tenancingo 796 ha (SIAP 2016).

Oligonychus punicae Hirst inicia su daño con puntos rojizos que se distribuyen e incrementan por toda la hoja del aguacate hasta llegar a ocasionar un bronceado total. Esta plaga puede atacar retoños, flores, el envés de las hojas y frutos en formación. En los árboles altamente infestados pueden presentar defoliación, debilitamiento general y, en consecuencia, tienden a ser raquíticos, con frutos poco desarrollados y escasos. La araña roja se presenta todo el año, pero con mayor severidad en la primavera y el otoño. Para el control de estos ácaros se usan tradicionalmente productos químicos, sin embargo, estos cada vez han ido perdiendo su eficacia, atribuida principalmente a posibles problemas de resistencia, aunado a los problemas de residualidad (Cerna et al. 2009, Coria y Ayala 2010, Lemus-Soriano et al. 2016).

El conocimiento de la distribución de *O. punicae* es indispensable para la elaboración de programas de manejo integrado, debido a la importancia de esta plaga, por ello el objetivo del presente trabajo fue determinar la distribución espacial de las poblaciones de araña roja en el cultivo de aguacate, variedad hass, en dos municipios del Estado de México, mediante el uso de técnicas de SADIE y geoestadística, con la visualización en mapas, para establecer los grados de infestación que requieran un control inmediato, así como detectar zonas que no presenten infestación (Solares et al. 2011, Jiménez et al. 2014, Maldonado et al. 2016).

Materiales y Métodos

El estudio se llevó en a cabo en ocho parcelas de 2.0 ha en Coatepec Harinas (18°54'00"N 99°43'00"O altitud media 2260 msnm) y Donato Guerra (19°24'07"N 100°19'13"O altitud media 2200), en las cuales no se aplican agroquímicos y el manejo de plagas y enfermedades por parte de los productores es similar. Las parcelas se dividieron en 50 cuadrantes (20 × 20 m), y en forma aleatoria se seleccionaron 25 para realizar el muestreo. En cada cuadrante se consideraron dos árboles (variedad hass) de diez años en promedio. Cada árbol se georeferenció utilizando un GPSmap60 (Garmin) para obtener sus coordenadas (Ramírez et al. 2013a, Maldonado et al. 2016). Los muestreos se realizaron mensualmente a partir de octubre 2016 a mayo 2017, contando el número de

arañas con un lente de aumento de 20X, para lo cual se seleccionaron 60 hojas por árbol con una altura promedio de cuatro metros, tomando quince hojas divididas en tres estratos (inferior, medio, y superior), por cada punto cardinal del árbol (Norte, Este, Oeste, y Sur) (González-Olmos 2012).

SADIE (Spatial Analysis by Distance Indices). Se utilizó el índice basado en la distancia para la regularidad I_a y el índice J_a , en la distancia del agrupamiento (Perry 1995). Una muestra es agregada si $I_a > 1$, la muestra es espacialmente aleatoria si $I_a = 1$, y la muestra es regular si $I_a < 1$. 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. Los valores del índice J_a sirven para corroborar los resultados obtenidos con el índice I_a . 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 si era significativa con respecto a la unidad se utiliza su probabilidad respectiva (Q_a) (Perry 1998). El programa utilizado para determinar los valores y las probabilidades de ambos índices fue SADIE 1.22 (Perry et al. 1996).

Análisis Geoestadístico. La estimación del semivariograma experimental se realizó con los datos adquiridos en los diferentes muestreos de la población de *O. punicae*. Para la realización del semivariograma experimental correspondiente a cada muestreo de cada parcela se utilizó el Programa Variowin 2.2 (Software For spatial Data Analysis en 2D SpringerVerlag, New York, NY). El valor experimental del semivariograma fue calculado por medio de la siguiente fórmula (Journel y Huijbregts 1978, Isaaks y Srivastav 1989).

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

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

El semivariograma experimental se ajustó al semivariograma teórico, dado que es necesario ajustar una función para cuantificar el grado y escala de variación espacial. Existen modelos que se utilizan en la geoestadística, como esférico, exponencial, gaussiano, lineal, logarítmico, efecto pepita puro, efecto agujero, y el monómico (Hevesi et al. 1992, Samper y Carrera 1996, Moral 2004, Gallardo 2006).

Una vez obtenidos los semivariogramas teóricos se procedió a realizar la validación del modelo teórico a través del procedimiento de validación cruzada, en el cual los parámetros del modelo C_0 (efecto de pepita), $C + C_0$ (meseta) y a (rango o alcance) se van ajustando de forma interactiva (prueba y error) hasta los mejores valores de los estadísticos (Samper y Carrera 1996). Los estadísticos que se utilizaron son los siguientes: a) Media de los errores de estimación (MEE), b) Error cuadrático medio (ECM), y c) Error cuadrático medio adimensional (ECMA) (Ramírez et al. 2013a, Maldonado et al. 2016).

Para conocer el grado de relación entre los datos correspondientes resulta importante establecer el nivel de dependencia espacial. Este valor se obtuvo 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 alto, 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). Una vez que los modelos de los semivariogramas correspondientes fueron validados se utilizó el método geoestadístico denominado krigeado para la elaboración de los mapas de densidad de las poblaciones de *O. punicae*. El krigeado es un método de interpolación que permite la estima no sesgada de puntos no muestreados. En este trabajo se utilizó el krigeado ordinario para obtener la estimación de la densidad del ácaro en puntos donde no se contabilizó la presencia del mismo (Moral 2004). Esta decisión se basó en lo establecido por Samper y Carrera (1996). Y finalmente, se estableció la superficie infestada de las estimaciones que se representan en forma de mapas para cada parcela en las diferentes fechas de muestreo mediante el uso del programa Surfer 9 (Surface Mapping System, Golden Software, Golden, CO). Los cálculos de la superficie infestada se realizaron con base en mapas de densidad después de validar los semivariogramas (Gallardo 2006).

Resultados y Discusión

Los datos obtenidos con la aplicación de los índices del SADIE (Cuadro 1), permitieron conocer el índice I_a , siendo el tercer muestreo de la parcela cuatro (1.77) el valor más alto registrado en el municipio de Coatepec Harinas. En Donato Guerra el valor más alto fue en el séptimo muestreo en la parcela seis (1.70); los valores menores que se presentaron en Coatepec Harinas, fueron en los

Cuadro 1. Valor de los Índices I_a y J_a y sus Respectivas Probabilidades P_a y Q_a en la Población de Araña Roja (*Oligonychus punicae* Hirst), en los Municipios Coatepec Harinas (Parcela 1, 2, 3, y 4) y Donato Guerra (Parcela 5, 6, 7, y 8)

Table 1. Value of the I_a and J_a Indices and their Respective P_a and Q_a Probabilities in the Population of Red Spider Mite (*Oligonychus punicae* Hirst), in the Municipalities of Coatepec Harinas. (Plots 1, 2, 3, and 4) and Donato Guerra (Plots 5, 6, 7, and 8)

Parcela	Fecha	I_a	P_a	J_a	Q_a
1	Octubre 2016	1.51	0.009s	1.11	0.224ns
	Noviembre 2016	1.47	0.011s	1.09	0.178ns
	Diciembre 2016	1.32	0.014s	1.15	0.199ns
	Enero 2017	1.70	0.008s	1.20	0.135ns
	Febrero 2017	1.67	0.016s	1.06	0.138ns
	Marzo 2017	1.40	0.009s	1.22	1.189ns
	Abril 2017	1.61	0.010s	1.13	0.246ns
	Mayo 2017	1.33	0.013s	1.10	0.144ns
2	Octubre 2016	1.49	0.004s	1.12	0.207ns
	Noviembre 2016	1.66	0.011s	1.17	0.157ns
	Diciembre 2016	1.39	0.014s	1.23	0.218ns
	Enero 2017	1.46	0.005	1.12	0.177ns
	Febrero 2017	1.58	0.008	1.08	0.180ns
	Marzo 2017	1.50	0.012s	1.11	0.141ns
	Abril 2017	1.43	0.009	1.07	0.238ns
	Mayo 2017	1.64	0.010s	1.25	0.195ns

Parcela	Fecha	I_a	P_a	J_a	Q_a
	Octubre 2016	1.35	0.014s	1.19	0.131ns
	Noviembre 2016	1.47	0.011s	1.24	0.173ns
	Diciembre 2016	1.69	0.017s	1.09	0.182ns
	Enero 2017	1.53	0.008s	1.21	0.247ns
	Febrero 2017	1.60	0.004	1.15	0.205ns
	Marzo 2017	1.44	0.015s	1.12	0.146ns
	Abril 2017	1.38	0.013s	1.16	0.175ns
	Mayo 2017	1.62	0.010s	1.23	0.227ns
	Octubre 2016	1.71	0.008s	1.09	0.188ns
	Noviembre 2016	1.65	0.012s	1.13	0.216ns
	Diciembre 2016	1.77	0.010s	1.22	0.204ns
4	Enero 2017	1.54	0.007s	1.06	0.155ns
	Febrero 2017	1.32	0.014s	1.14	0.169ns
	Marzo 2017	1.48	0.005s	1.19	0.170ns
	Abril 2017	1.63	0.016s	1.07	0.239ns
	Mayo 2017	1.45	0.013s	1.16	0.211ns
	Octubre 2016	1.55	0.009s	1.13	0.158ns
	Noviembre 2016	1.29	0.011s	1.04	0.170ns
	Diciembre 2016	1.63	0.005s	1.22	0.165ns
5	Enero 2017	1.59	0.010s	1.12	0.249ns
	Febrero 2017	1.60	0.016s	1.19	0.212ns
	Marzo 2017	1.26	0.003s	1.10	0.144ns
	Abril 2017	1.34	0.013s	1.06	0.251ns
	Mayo 2017	1.45	0.004s	1.09	0.139ns
	Octubre 2016	1.50	0.011s	1.16	0.156ns
	Noviembre 2016	1.69	0.012s	1.24	0.188ns
	Diciembre 2016	1.27	0.008s	1.10	0.194ns
6	Enero 2017	1.33	0.006s	1.18	0.131ns
	Febrero 2017	1.65	0.014s	1.23	0.156ns
	Marzo 2017	1.44	0.010s	1.11	0.169ns
	Abril 2017	1.70	0.015s	1.07	0.178ns
	Mayo 2017	1.57	0.009s	1.20	0.182ns
	Octubre 2016	1.28	0.015s	1.17	0.202ns
	Noviembre 2016	1.42	0.010s	1.14	0.197ns
	Diciembre 2016	1.35	0.012s	1.10	0.215ns
7	Enero 2017	1.61	0.004s	1.24	0.223ns
	Febrero 2017	1.47	0.017s	1.18	0.176ns
	Marzo 2017	1.31	0.011s	1.07	0.237ns
	Abril 2017	1.58	0.008s	1.15	0.189ns
	Mayo 2017	1.66	0.006s	1.21	0.192ns
	Octubre 2016	1.52	0.007s	1.13	0.219ns
	Noviembre 2016	1.56	0.013s	1.20	0.207ns
	Diciembre 2016	1.29	0.011s	1.19	0.253ns
	Enero 2017	1.62	0.005s	1.22	0.173ns
8	Febrero 2017	1.46	0.009s	1.09	0.227ns
	Marzo 2017	1.68	0.017s	1.13	0.186ns
	Abril 2017	1.32	0.004s	1.25	0.211ns
	Mayo 2017	1.54	0.012s	1.10	0.190ns

ns: no significativo al 5%, s: significativo al 5%.

muestreos tres y cinco de la primera y cuarta parcela, respectivamente (1.32), en Donato Guerra el menor valor se presentó en el muestreo seis de la parcela cinco (1.26). En todos los casos el índice *Ia* fue significativamente superior a uno, lo cual señala que la distribución espacial de las poblaciones de *O. punicae* en las ocho parcelas muestreadas presenta una distribución espacial en agregados.

Los valores *Ia* más altos se registraron con respecto a Coatepec Harinas, fue en el octavo muestreo de la parcela dos (1.25) y en Donato Guerra en el séptimo muestreo de la parcela ocho (1.25). Los valores mínimos que se presentaron en Coatepec Harinas fueron en el quinto y cuarto muestreo de las parcelas uno y cuatro respectivamente (1.06). En Donato Guerra el valor mínimo se dio en el segundo muestreo de la parcela cinco (1.04). El índice *Ia* en todos los muestreos de las ocho parcelas fue superior a la unidad, lo que indica que la distribución de las poblaciones de *O. punicae* se encuentra dispuesta en varios centros de agregación.

Los índices *Ia* y *Ij* de SADIE, arrojan resultados en donde se determinó que la distribución espacial de *O. punicae* es de tipo agregada (índice *Ia*), encontrándose en varios centros de agregación (índice *Ij*), los cuales se pueden apreciar en los mapas obtenidos (Fig. 1 y 2) (Ramírez et al. 2013b). La estabilidad temporal en la distribución espacial de insectos plaga ha sido reportado para otras especies con índices de SADIE como: *Scotinophara lurida* (Hemiptera: Pentatomidae) en campos de arroz (Kim et al. 2007), larvas del mosquito verde *Jacobiasca lybica*, en viñedos (Ramírez y Porcayo 2009) y *Premnotrypes vorax* (Coleoptera: Curculionidae) en cultivo de papa (Pérez-Álvarez et al. 2010).

La cantidad mínima de *O. punicae* por árbol fue de cero en los primeros meses de muestreo para ambos municipios (Cuadro 2); la Cantidad máxima de *O. punicae* por árbol fue 487 y 540 en el mes de mayo en la parcela dos y ocho perteneciente a Coatepec Harinas y Donato Guerra, respectivamente. La media muestral por árbol de la población de adultos de *O. punicae*, para Coatepec Harinas fluctuó entre 29.9 la mínima y 292.64 la máxima en los meses de octubre y mayo, en las parcelas tres y uno respectivamente, para Donato Guerra la media muestral por árbol fluctuó entre 25.28 la mínima y 293.24 la máxima, en la parcela siete en los meses de diciembre y mayo, respectivamente.

En los meses muestreados, en las ocho parcelas de estudio, el mayor número de ácaros por árbol que se detectó, fue en los meses de abril y mayo, en contraste los de menor número de ácaros por árbol, fueron los meses de octubre, noviembre, y diciembre; esto también fue apreciado por Coria (2010) y Reyes-Alemán et al. (1993), quienes reportaron que estos ácaros se les puede encontrar durante todo el año, pero con mayor incidencia en los meses secos y calurosos (febrero a mayo), siendo los primeros incrementos de población durante los meses noviembre y diciembre en ausencia de lluvias y temperaturas bajas, la reducción natural de las poblaciones se da con la presencia lluvias.

Derivado de la modelización de la distribución espacial de la araña roja en el cultivo del aguacate se determinó mediante el uso de la geoestadística, que ésta se encuentra en el cultivo en una estructura agregada. Estos métodos proporcionan una medida directa de la dependencia espacial, ya que tienen en cuenta la naturaleza bidimensional de la distribución de los organismos a través de su exacta localización espacial y es independiente de la relación entre la media y la varianza (Ramírez et al. 2013a). En geoestadística, el grado de variabilidad de un fenómeno natural está expresado por el semivariograma (que cuantifica y representa la correlación de la variable), y el proceso de estimación está realizado por un

procedimiento llamado krigeado (Ribes et al. 1998). El uso de esta técnica para modelizar la distribución espacial se ha reportado en diferentes trabajos tanto para plantas parasitas, insectos, ácaros, así como enfermedades en diferentes cultivos (Solano et al. 2008, Ramírez y Porcayo 2010, Solares et al. 2011, Maldonado et al. 2016, Gómez-Correa et al. 2017).

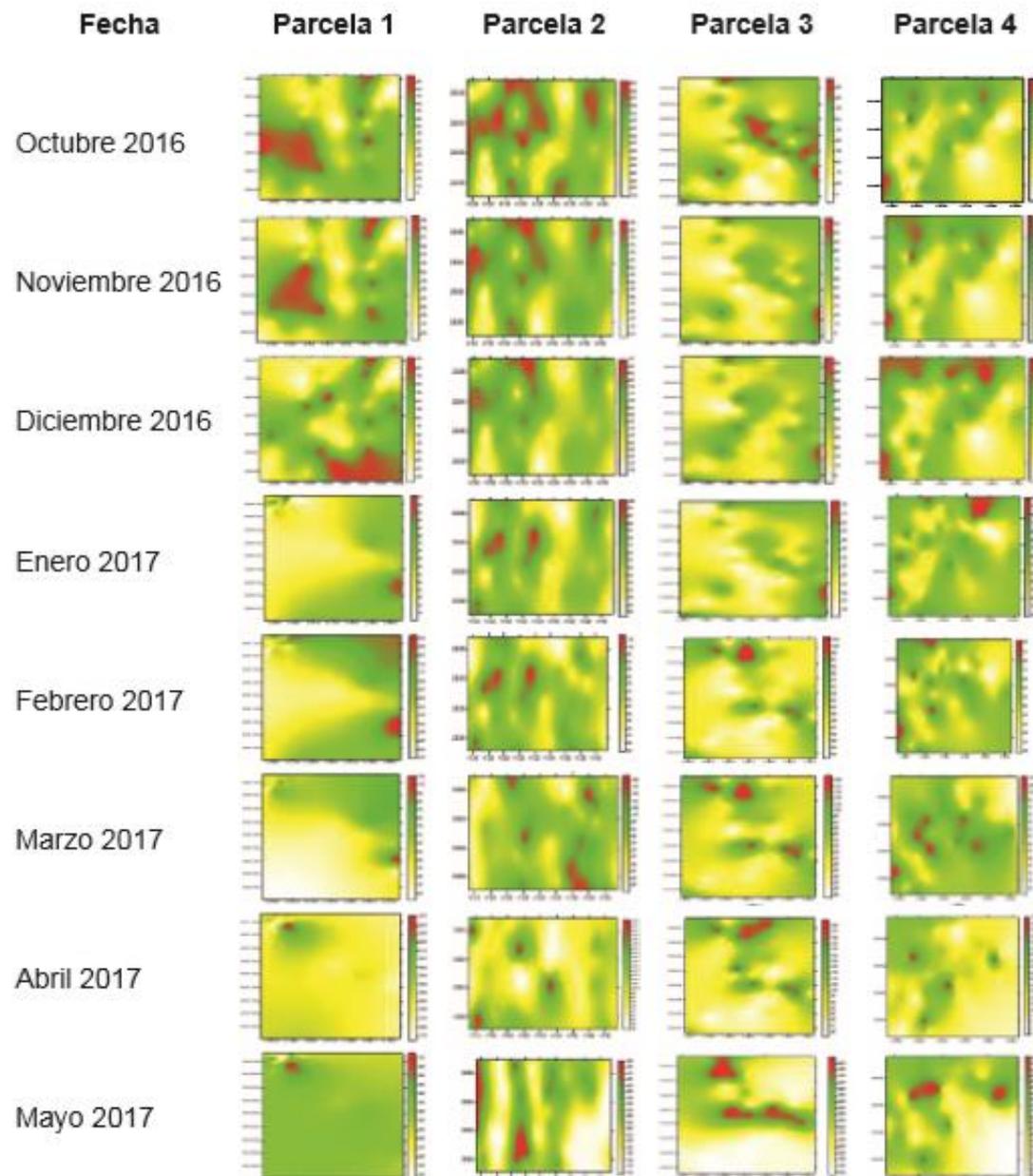


Fig. 1. Mapas de densidad de *Oligonychus punicae* Hirst, en el cultivo del aguacate, por fecha de muestreo en parcelas del Municipio Coatepec Harinas.
 Fig. 1. Density maps of *Oligonychus punicae* Hirst, in avocado cultivation, by date of sampling in plots of the Municipality Coatepec Harinas.

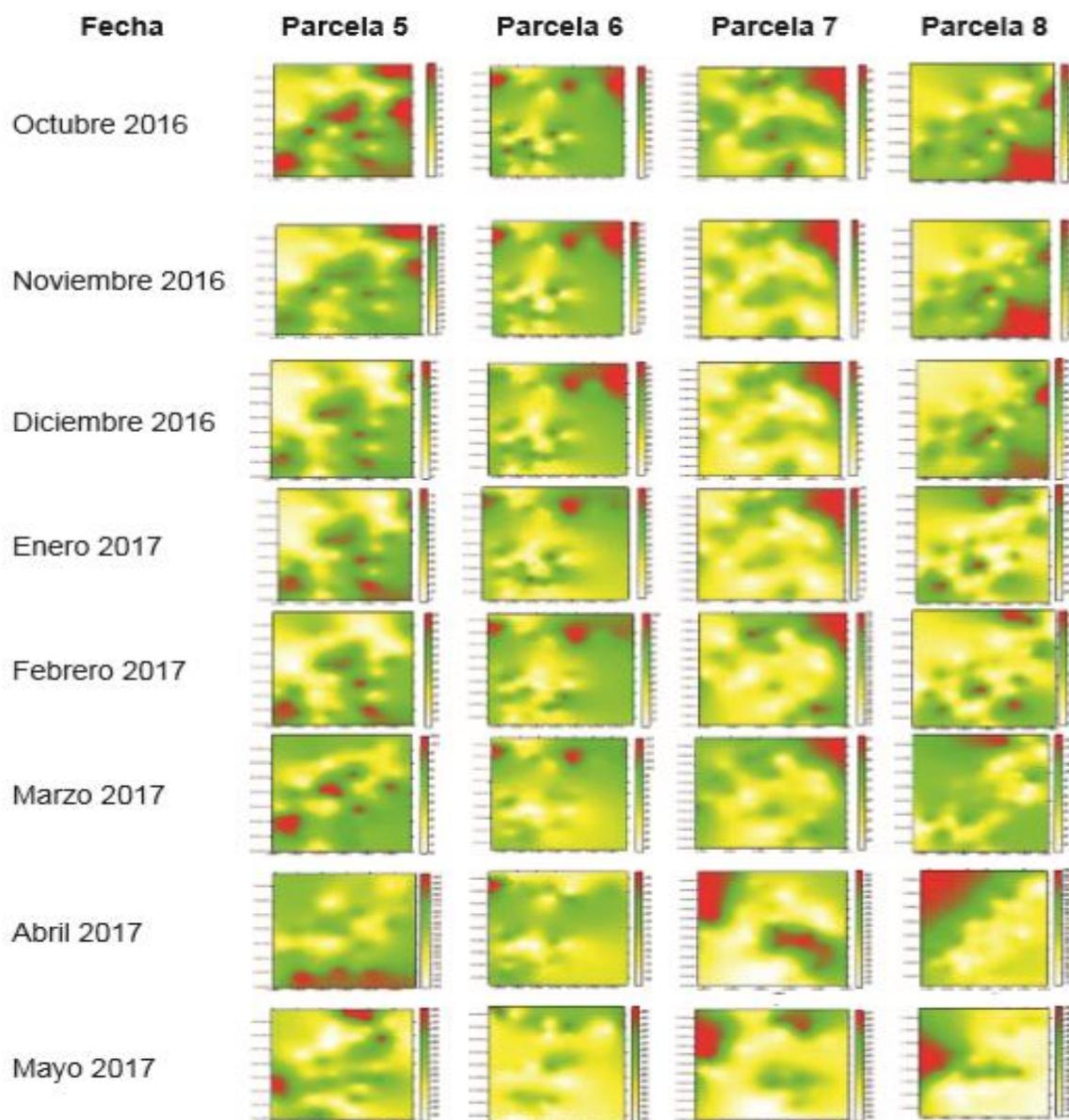


Fig. 2. Mapas de densidad de *Oligonychus punicae* Hirst, en el cultivo del aguacate, por fecha de muestreo en parcelas del Municipio Donato Guerra.
 Fig. 2. Density maps of *Oligonychus punicae* Hirst, in avocado cultivation, by date of sampling in plots of the Municipality Donato Guerra.

Los semivariogramas, con respecto al Municipio de Coatepec Harinas se ajustaron al modelo Gaussiano (17), esférico (11), y Exponencial (4) (Cuadro 2); para el caso del Municipio de Donato Guerra los semivariogramas se ajustaron a dos modelos, Gaussiano (16) y Esférico (16). Los parámetros geoestadísticos de la validación cruzada permitieron validar los semivariogramas experimentales de las ocho parcelas (Cuadro 3), en las diferentes fechas de muestreo, siendo los modelos: Gaussianos esféricos y exponenciales (Oliver y Webster 1991, Rossi et al. 1992, Liebhold y Sharov 1998).

Cuadro 2. Parámetros de los Modelos Teóricos Ajustados a los Semivariogramas de *Oligonychus punicae* Hirst, en los Municipios Coatepec Harinas (Parcela 1, 2, 3, y 4) y Donato Guerra (Parcela 5, 6, 7, y 8)

Table 2. Parameters of the Theoretical Models Adjusted to the Semivariograms of *Oligonychus punicae* Hirst, in the Municipalities Coatepec Harinas (Plots 1, 2, 3, and 4) and Donato Guerra (Plots 5, 6, 7, and 8)

P.	Fecha	Modelo	Mín.	Máx.	Media Muestral	Pepita	Meseta	Rango	Pepita/Meseta (%)	D.P.
1	Octubre 2016	Esférico	0	85	43,58	0	554,10	40,28	0	Alta
	Noviembre 2016	Esférico	10	84	46,00	0	427,20	46,31	0	Alta
	Diciembre 2016	Gaussiano	11	87	48,80	0	401,04	25,20	0	Alta
	Enero 2017	Gaussiano	10	99	42,64	0	467,73	29,90	0	Alta
	Febrero 2017	Exponencial	17	92	51,20	0	403,49	36,00	0	Alta
	Marzo 2017	Gaussiano	31	108	60,68	0	205,90	31,20	0	Alta
	Abril 2017	Gaussiano	95	245	149,97	0	833,52	29,90	0	Alta
	May 2017	Gaussiano	77	480	292,64	0	5089,89	33,00	0	Alta
2	Octubre 2016	Exponencial	12	92	60,06	0	553,14	39,00	0	Alta
	Noviembre 2016	Gaussiano	7	88	55,34	0	397,33	40,90	0	Alta
	Diciembre 2016	Gaussiano	11	96	56,32	0	405,82	27,30	0	Alta
	Enero 2017	Gaussiano	21	108	60,66	0	399,13	27,30	0	Alta
	Febrero 2017	Esférico	28	111	68,32	0	427,70	35,10	0	Alta
	Marzo 2017	Gaussiano	45	129	87,42	0	402,36	21,00	0	Alta
	Abril 2017	Esférico	53	180	99,70	0	892,80	33,80	0	Alta
	Mayo 2017	Gaussiano	120	487	269,04	0	15463,20	29,90	0	Alta
3	Octubre 2016	Esférico	1	60	29,96	0	343,69	16,80	0	Alta
	Noviembre 2016	Gaussiano	2	67	30,12	0	318,04	20,48	0	Alta
	Diciembre 2016	Esférico	0	69	30,08	0	283,23	18,98	0	Alta
	Enero 2017	Esférico	9	78	36,42	0	296,29	20,44	0	Alta
	Febrero 2017	Gaussiano	16	108	53,20	0	632,42	16,79	0	Alta
	Marzo 2017	Esférico	35	133	73,64	0	704,31	21,90	0	Alta
	Abril 2017	Gaussiano	61	160	103,08	0	802,38	18,25	0	Alta
	Mayo 2017	Gaussiano	112	484	252,62	0	15435,40	19,70	0	Alta
4	Octubre 2016	Esférico	14	82	43,02	0	294,50	61,60	0	Alta
	Noviembre 2016	Gaussiano	9	87	44,20	0	316,82	20,44	0	Alta
	Diciembre 2016	Esférico	15	75	45,16	0	243,60	50,40	0	Alta
	Enero 2017	Exponencial	13	84	48,92	0	390,08	45,00	0	Alta
	Febrero 2017	Gaussiano	20	91	53,44	0	619,85	16,06	0	Alta
	Marzo 2017	Esférico	28	113	75,46	0	393,94	48,60	0	Alta
	Abril 2017	Exponencial	57	256	136,20	0	1863,89	52,20	0	Alta
	Mayo 2017	Gaussiano	77	480	241,32	0	10717,00	40,50	0	Alta
5	Octubre 2016	Gaussiano	12	84	52,92	0	488,36	43,02	0	Alta
	Noviembre 2016	Esférico	3	88	48,20	0	525,42	37,56	0	Alta
	Diciembre 2016	Gaussiano	3	82	39,26	0	489,63	33,80	0	Alta
	Enero 2017	Gaussiano	3	80	39,68	0	488,32	27,30	0	Alta
	Febrero 2017	Esférico	20	92	51,06	0	424,30	36,40	0	Alta
	Marzo 2017	Esférico	33	107	73,62	0	345,05	35,10	0	Alta
	Abril 2017	Esférico	96	200	147,18	0	521,60	42,00	0	Alta
	Mayo 2017	Esférico	140	489	285,94	0	9630,50	31,06	0	Alta
6	Octubre 2016	Esférico	3	79	44,02	0	569,17	26,60	0	Alta
	Noviembre 2016	Gaussiano	0	82	41,52	0	609,96	26,84	0	Alta
	Diciembre 2016	Gaussiano	0	90	42,64	0	650,49	26,00	0	Alta
	Enero 2017	Gaussiano	13	97	51,58	0	506,30	25,99	0	Alta
	Febrero 2017	Esférico	24	102	60,30	0	485,44	33,80	0	Alta
	Marzo 2017	Esférico	41	122	74,78	0	305,46	28,60	0	Alta
	Abril 2017	Gaussiano	100	180	134,10	0	353,40	32,50	0	Alta

	Mayo 2017	Gaussiano	140	520	263,80	0	7673,53	23,32	0	Alta
	Octubre 2016	Gaussiano	0	55	29,77	0	284,76	25,81	0	Alta
	Noviembre 2016	Gaussiano	0	57	26,76	0	281,34	22,54	0	Alta
	Diciembre 2016	Esférico	5	68	25,28	0	289,23	30,38	0	Alta
	Enero 2017	Esférico	3	62	27,78	0	245,07	25,48	0	Alta
7	Febrero 2017	Esférico	25	72	43,80	0	148,87	32,40	0	Alta
	Marzo 2017	Gaussiano	40	92	65,38	0	161,50	28,80	0	Alta
	Abril 2017	Esférico	101	199	140,82	0	926,19	28,26	0	Alta
	Mayo 2017	Esférico	176	502	293,24	0	8990,62	27,44	0	Alta
	Octubre 2016	Esférico	11	75	47,94	0	322,53	35,09	0	Alta
	Noviembre 2016	Gaussiano	0	82	42,76	0	412,68	28,08	0	Alta
	Diciembre 2016	Gaussiano	2	80	42,86	0	362,37	27,30	0	Alta
	Enero 2017	Gaussiano	25	94	47,30	0	391,60	27,30	0	Alta
8	Febrero 2017	Esférico	39	100	58,78	0	320,99	35,10	0	Alta
	Marzo 2017	Gaussiano	50	125	79,34	0	314,42	29,90	0	Alta
	Abril 2017	Esférico	106	199	147,14	0	641,62	37,70	0	Alta
	Mayo 2017	Gaussiano	120	540	257,28	0	7551,31	31,51	0	Alta

P. = parcela, Mín. = cantidad mínima de ácaros por árbol, Máx. = cantidad máxima de ácaros por árbol, D.P. = dependencia espacial.

Cuadro 3. Valores de los Estadísticos de la Validación Cruzada de los Semivariogramas de *Oligonychus punicae* Hirst, en los Municipios Coatepec Harinas (Parcela 1, 2, 3, y 4) y Donato Guerra (Parcela 5, 6, 7, y 8)

Table 3. Values of the Statistics of the Cross Validation of the Semivariograms of *Oligonychus punicae* Hirst, in the Municipalities Coatepec Harinas (Plots 1, 2, 3, and 4) and Donato Guerra (Plots 5, 6, 7, and 8)

Parcela	Fecha	Varianza muestral	MEE*	Varianza de los errores	ECM	ECMA
1	Octubre 2016	589.26	0.07ns	357.12	0.13	1.12
	Noviembre 2016	479.95	0.13ns	325.92	0.06	1.07
	Diciembre 2016	479.86	0.11ns	319.88	0.09	1.11
	Enero 2017	507.79	0.05ns	401.62	0.04	1.09
	Febrero 2017	428.32	0.10ns	327.50	0.11	1.10
	Marzo 2017	284.53	0.12ns	196.45	0.12	1.14
	Abril 2017	936.89	0.09ns	643.19	0.07	1.05
	Mayo 2017	5782	0.07ns	377.41	0.14	1.08
2	Octubre 2016	582.77	0.11ns	374.28	0.10	1.14
	Noviembre 2016	431.06	0.06ns	361.25	0.05	1.09
	Diciembre 2016	446.13	0.13ns	323.61	0.11	1.13
	Enero 2017	435.06	0.12ns	306.55	0.13	1.10
	Febrero 2017	469.41	0.08ns	411.38	0.12	1.04
	Marzo 2017	451.44	0.11ns	391.70	0.09	1.13
	Abril 2017	656.41	0.14ns	489.53	0.04	1.06
	Mayo 2017	701.54	0.05ns	577.81	0.08	1.11
3	Octubre 2016	350.31	0.09ns	246.37	0.12	1.07
	Noviembre 2016	331.22	0.10ns	225.32	0.10	1.09
	Diciembre 2016	310.55	0.12ns	217.76	0.13	1.13
	Enero 2017	314.16	0.06ns	250.61	0.0	1.10
	Febrero 2017	692.64	0.09ns	474.90	0.04	1.03
	Marzo 2017	762.23	0.14ns	567.24	0.12	1.14

Parcela	Fecha	Varianza muestral	MEE*	Varianza de los errores	ECM	ECMA
	Abril 2017	797.27	0.11ns	614.71	0.11	1.11
	Mayo 2017	811.53	0.07ns	704.59	0.05	1.08
4	Octubre 2016	304.41	0.06ns	211.75	0.14	1.11
	Noviembre 2016	354.04	0.12ns	285.94	0.10	1.13
	Diciembre 2016	276.05	0.14ns	198.57	0.06	1.06
	Enero 2017	413.51	0.10ns	317.06	0.09	1.04
	Febrero 2017	310.4	0.05ns	255.48	0.11	1.14
	Marzo 2017	411.8	0.13ns	329.83	0.07	1.10
	Abril 2017	566.68	0.09ns	417.34	0.13	1.12
	Mayo 2017	684.41	0.10ns	528.46	0.06	1.09
	5	Octubre 2016	499.71	0.11ns	314.19	0.06
Noviembre 2016		573.88	0.06ns	409.53	0.10	1.13
Diciembre 2016		538.11	0.14ns	417.52	0.09	1.06
Enero 2017		533.45	0.10ns	422.85	0.11	1.08
Febrero 2017		483.57	0.09ns	401.68	0.15	1.11
Marzo 2017		393.03	0.07ns	308.52	0.12	1.15
Abril 2017		543.82	0.13ns	399.66	0.08	1.08
Mayo 2017		645.04	0.11ns	531.63	0.05	1.12
6	Octubre 2016	602.33	0.05ns	486.04	0.12	1.07
	Noviembre 2016	636.88	0.13ns	513.95	0.10	1.10
	Diciembre 2016	716.11	0.10ns	562.18	0.07	1.04
	Enero 2017	607.64	0.08ns	514.90	0.04	1.12
	Febrero 2017	525.29	0.12ns	428.05	0.13	1.14
	Marzo 2017	374.09	0.04ns	268.51	0.11	1.05
	Abril 2017	371.57	0.11ns	271.84	0.09	1.15
	Mayo 2017	514.48	0.06ns	416.77	0.12	1.09
7	Octubre 2016	297.29	0.14ns	176.39	0.13	1.14
	Noviembre 2016	301.74	0.10ns	251.69	0.10	1.08
	Diciembre 2016	311.80	0.05ns	259.34	0.06	1.11
	Enero 2017	284.29	0.09ns	179.60	0.04	1.13
	Febrero 2017	159.72	0.13ns	101.36	0.09	1.07
	Marzo 2017	181.59	0.11ns	115.07	0.11	1.04
	Abril 2017	672.70	0.08ns	590.71	0.12	1.12
	Mayo 2017	761.58	0.04ns	612.86	0.14	1.06
8	Octubre 2016	358.61	0.10ns	251.74	0.07	1.09
	Noviembre 2016	459.38	0.12ns	309.33	0.11	1.11
	Diciembre 2016	399.12	0.09ns	253.76	0.13	1.10
	Enero 2017	431.41	0.06ns	319.26	0.05	1.06
	Febrero 2017	346.25	0.14ns	270.01	0.09	1.14
	Marzo 2017	347.74	0.04ns	244.92	0.10	1.12
	Abril 2017	647.16	0.14ns	536.13	0.15	1.05
	Mayo 2017	726.76	0.11ns	591.72	0.08	1.07

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

Las parcelas que se ajustaron al modelo gaussiano, nos indican, que el comportamiento de agregación de la araña roja se da de forma continua dentro de las parcelas, ya que la infestación de este ácaro, con respecto a su avance es entre los árboles vecinos, lo cual nos sugiere que inicia hoja por hoja, debido a que la variedad hass presenta las condiciones para el desarrollo de este ácaro (Cerna et al. 2009), además permite inferir que las condiciones ambientales dentro de la parcela fueron similares para las infestaciones del ácaro durante las fechas de muestreo, este fenómeno también fue observado por Solares et al. (2011), en su estudio, de distribución espacial de Trips (Insecta: Thysanoptera), describiendo que la presencia de trips se ajusta principalmente a modelos gaussianos, ya que el comportamiento del insecto se expresa de forma continua dentro de las plantaciones de aguacate.

En segundo lugar, se obtuvieron modelos esféricos, lo cual nos indica que las poblaciones de araña roja se presentan en mayor cantidad en ciertas zonas de la parcela respecto al resto de puntos considerados en el muestreo, es decir, los centros de agregación son aleatorios, estando dentro de la zona de infestación de la parcela, posiblemente causada por el tipo de diseminación de este ácaro, ocasionado por la exposición del sol o los vientos predominantes. Esquivel y Jasso (2014) en su estudio de gusano soldado *Mythimna unipuncta*, en el cultivo de maíz, señalan que los semivariogramas, que se ajustaron al modelo esférico, los centros de agregación son aleatorios, dentro de la zona de infestación, posiblemente como resultado del tipo de propagación del insecto que se da a través de un crecimiento rápido cercano al origen, lo cual origina infestaciones en zonas específicas. Maldonado et al. (2016) en su estudio de trips en aguacate, señala que los modelos a los que se ajustaron los semivariogramas son en su mayoría esféricos, con una dependencia espacial alta; indicando que dentro de las parcelas de estudio existen zonas donde hay mayor incidencia de trips, ya que existen centros de agregación que se ubican en lugares específicos, debido al manejo agronómico que le da el productor.

Los modelos exponenciales obtenidos, indican que la agregación de araña roja en términos biológicos, se da en límites irregulares en las parcelas, exponiendo una distribución espacial discontinua, así mismo Ramírez et al. (2013b), en su estudio Modelización de la distribución espacial de *Bactericera cockerelli* Sulc. (Hemiptera: Triozidae) en *Solanum tuberosum*, concluye que para los muestreos en los que se obtuvieron modelos exponenciales, estos son indicativo de que la agregación de *B. cockerelli* se presenta en puntos específicos dentro de la parcela. Paz y Arrieché (2017), en su trabajo realizado con *Thrips tabaci* (Thysanoptera: Thripidae), en el cultivo de cebolla, indican que del total de muestreos realizados de este insecto tuvo un modelo exponencial, concluyendo que la distribución espacial de *T. tabaci* responde a un patrón de distribución agregado en el área de siembra pasando áreas dispersas a áreas bien definidas.

Los modelos señalados en el presente (Gaussiano, esférico, y exponencial), indica que *O. punicae* no cuenta con un comportamiento espacial establecido, encontrándose en constante movimiento buscando al mejor hospedero según las condiciones climáticas estableciendo sitios específicos para su reproducción, Solano et al. (2008) indica que el ácaro *Brevipalpus phoenicis* tiene una distribución espacial aleatoria por las condiciones meteorológicas resultando favorable para su desarrollo temperaturas entre 24 y 33°C, la ausencia de precipitación, humedad relativa alrededor del 70%, entre otras, teniendo una movilidad dentro del cultivo acorde a las condiciones climáticas, buscando los sitios más favorables. Para *O.*

punicae, según Reyes et al. (1993) y Guzmán (2012) este ácaro se encuentra confinado en la parte superior de las hojas cerca de las nervaduras, se ubican en hojas maduras del árbol, pero en infestaciones grandes se encuentra en cualquier parte de ésta dependiendo de las condiciones de humedad y temperatura, incrementando las poblaciones a principios del verano, con temperaturas mayores de 25°C.

La agregación de estos ácaros visualizados en los mapas (Fig. 1 y 2) permite identificar áreas infestadas y libres, tal apreciación nos señala que *O. punicae* no invadió el 100% de la superficie de las parcelas muestreadas, este tipo de comportamiento también fue reportado por Esquivel y Jasso (2014), en poblaciones de gusano soldado, donde no se presenta una infestación del 100%, indicando que esto se debe a diferentes factores del ambiente que le favorece, como son las condiciones de humedad y una menor temperatura. Se han reportado en otros trabajos que los insectos y ácaros plaga no invaden en su totalidad las superficies de cultivo (Solano et al. 2008, Ramírez et al. 2013a, Maldonado et al. 2016).

En la primera parcela de Coatepec Harinas, el rango para los muestreos oscila entre 46.31 y 25.20 m (Cuadro 2), siendo la distancia máxima en la cual existe relación entre los datos en cada muestreo. El efecto pepita fue igual a cero, esto permite considerar que el error de muestreo fue mínimo y la escala de muestreo fue la adecuada, lo anterior da pie a deducir que más del 90% de la variación de la distribución de las poblaciones de este ácaro se logró explicar por la estructura espacial establecida con los semivariogramas (Ramírez et al. 2013a).

El alto nivel de dependencia espacial resultó de dividir el valor del efecto pepita entre el valor de la meseta que fue menor a 25% para todos los semivariogramas. Los valores del efecto pepita indicaron una alta dependencia espacial, lo cual permite suponer que las poblaciones de araña roja dependen entre sí y su nivel de agregación es alto (Solares et al. 2011). Esto también fue observado por Maldonado et al. (2016), en su trabajo distribución espacial de trips en aguacate, en donde señala, que los trips al igual que la araña roja tienen un alto nivel de dependencia espacial.

Una vez que los semivariogramas correspondientes fueron validados se utilizó el método geoestadístico denominado Krigado para la elaboración de los mapas de densidad, permitiendo visualizar el comportamiento de los focos de agregación en las parcelas de las poblaciones de araña roja, ya que este método de interpolación permite la estimación no sesgada de puntos no muestreados (Fig. 1 y 2).

Los mapas obtenidos de la superficie infestada, para el caso de la parcela uno de Coatepec Harinas, en los meses de octubre, noviembre, y diciembre, la distribución de los centros de agregación o focos de infestación se distribuyen en las orillas izquierda y derecha, con una tendencia hacia el centro de la parcela, teniendo un comportamiento similar en los tres meses; para los meses de enero, febrero, y marzo, los centros de agregación se sitúan en la parte central del lado izquierdo con una tendencia a la parte superior del mismo, por otra parte en los meses de abril y mayo, cambian los focos de infestación situándose en el lado izquierdo del lado superior de la parcela (Fig. 1).

En los mapas generados en la parcela cinco perteneciente al municipio de Donato Guerra, del mes de octubre a marzo los centros de agregación presentan un comportamiento persistente en la parte central con una tendencia a la parte

inferior, en abril los focos de agregación se situaron en la parte inferior, por último, en mayo se concentraron en la parte superior central y del lado izquierdo (Fig. 2).

La parcela uno tuvo la mayor superficie infestada 98 y 97% en el mes de febrero y enero; para el caso de la parcela dos el máximo porcentaje de infestación fue de 96% en los meses de noviembre, enero, y marzo. El menor porcentaje de infestación se presentó en la parcela tres en el mes de mayo con un 65% en Coatepec Harinas, y la cinco en Donato Guerra, la mayor superficie infestada se presentó en el mes de marzo (Cuadro 4).

Cuadro 4. Superficie Infestada (%), de *Oligonychus punicae* Hirst en las Parcelas de Estudio

Table 4. Infested Surface (%) by *Oligonychus punicae* Hirst in the Study Plots

Fecha	Coatepec Harinas				Donato Guerra			
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
Octubre 2016	90	94	90	92	90	97	94	92
Noviembre 2016	91	96	89	95	91	94	89	95
Diciembre 2016	92	95	95	91	80	95	84	94
Enero 2017	97	96	92	94	82	93	85	88
Febrero 2017	98	92	88	96	83	95	88	86
Marzo 2017	81	96	95	97	97	92	89	85
Abril 2017	93	87	87	91	96	86	78	82
Mayo 2017	95	70	65	78	79	67	76	78

P = parcelas

El comportamiento de tipo agregado en las poblaciones de araña roja en aguacate permite sugerir que la reducción de sus infestaciones se puede lograr al focalizar las estrategias de manejo hacia puntos específicos o focos de infestación en donde se ubica los puntos de agregación y se visualizan a través de los mapas generados, concordando con Duarte et al. (2015), donde él indica que las poblaciones de insectos y ácaros se distribuyen heterogéneamente en el espacio y generalmente presentan focos de densidad en áreas con alta y baja población, ya que el estudio de la variabilidad espacial de las poblaciones de artrópodos y sus fluctuaciones a lo largo del tiempo proporciona información relevante para optimizar los sistemas de protección de las plantas, mejorando su eficiencia y reduciendo el impacto por la aplicación de medidas de control innecesarias en las áreas problemáticas.

De los mapas obtenidos con la técnica del Krigado, se pueden visualizar los centros de agregación de las poblaciones de araña roja, ya que con estos se interpola y se describe la continuidad espacial, llegando a conocer en tiempo real la forma en que varía la continuidad espacial (patrón espacial), con un nivel de detalle que permite cuantificar la variación en distintas direcciones del espacio, pudiendo interpolar sitios no muestreados, contando con una capacidad predictiva que tiene cada punto en función de la distancia que lo separa con otro punto, por lo tanto cada punto del espacio interpolado se le puede asociar una distancia teórica lo que permite realizar simulaciones probabilísticas, representando el resultado del krigado como la probabilidad de que la variable alcance un determinado valor (Samper y Carrera 1996, Gallardo 2006), generando beneficios ecológicos y económicos, al realizar con menor frecuencia las aplicaciones de plaguicidas,

menor uso de combustible, retardar el desarrollo de resistencia del ácaro debido a la creación de refugios temporales dinámicos al no tratar toda la superficie del cultivo, además permite visualizar la variabilidad poblacional, pudiendo conducir el manejo con precisión con dichos mapas (Ramírez et al. 2013a). La estabilidad espacio temporal encontrada, es de gran utilidad ya que nos permite conocer los puntos específicos dentro de la parcela, en donde se encuentran sus nichos o sitios, permitiendo realizar acciones de control de tipo preventivo y focalizados, para mantener bajos niveles de infestación. Kakkar et al. (2011) señala en su estudio de evaluación de la abundancia y distribución de Trips en el pepino, que es importante determinar el comportamiento espacial de las poblaciones, ya que se pueden planear medidas de control de manera efectiva, así mismo Ramírez y Porcayo (2009) en su trabajo del comportamiento espacial de larvas del mosquito verde *Jacobiasca lybica*, señalan que es necesario determinar las áreas con necesidad de manejo, conociendo las áreas infestadas y el porcentaje que representan del total de la superficie, dado que con ello se puede precisar la cantidad de ahorro económico y la estrategia de control más adecuada.

Este tipo de trabajos tienen el propósito de cambiar los paradigmas de la agricultura tradicional, ya que son de gran utilidad, para optimizar el uso de los insumos agrícolas en función de la cuantificación de la variabilidad espacial y temporal, realizando programas de manejo de plagas para beneficio de los productores y el ambiente, de tal manera que estas tecnologías poco a poco se vayan aceptando y utilizando en el campo agrícola en particular en las plagas del Aguacate.

Agradecimiento

Se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca otorgada para la realización de estudios de Doctorado, a la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México, así como a los productores de Aguacate de los municipios de Coatepec Harinas y Donato Guerra, por todas las facilidades brindadas.

Referencias Citadas

- Cambardella, C., T. Moorman, J. Novak, T. Parkin, D. Karlen, R. Turco, y A. Konopka. 1994. Field scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 58: 1501-1511.
- Cerna, E., M. Badii, Y. Ochoa, L. Aguirre, y U. Landeros. 2009. Tabla de vida de *Oligonychus punicae* Hirst (Acari: Tetranychide) en hojas de aguacate (*Persea americana* Mill) variedad Hass, Fuerte y Criollo. *Universidad y Ciencia* 25: 133-140.
- Coria, A., y A. Ayala. 2010. Manejo de ácaros del aguacate en México SAGARPA. Folleto Técnico Núm. 20. Uruapan Michoacán, México.
- Duarte, F., M. V. Calvo, A. Borges, y I. B. Scatoni. 2015. Geostatistics applied to the study of the spatial distribution of insects and its use in integrated pest management. *Revista Agronómica del Noreste Argentina* 35: 9-20.
- Esquivel, V., y Y. Jasso. 2014. Distribución espacial y mapeo de gusano soldado en seis localidades del Estado de México, en el año 2011. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5: 923-935.
- Gallardo, A. 2006. Geoestadística. *Ecosistemas* 15: 48-58.

- Gómez-Correa, J. C., W. S. Torres-Apone, D. G. Cayón-Salinas, L. M. Hoyos-Carvajal, y D. A. Castañeda-Sánchez. 2017. Modelación especial de la Sigota negra (*Mycosphaeralla fijiensis* M.) en banano cv. Gran Enano. *Rev. Ceres. Vicos* 64: 47-57.
- González-Olmos, E. 2012. Estudio Geoestadístico de la distribución espacial de adultos de araña roja (*Oligonychus punicae* Hirst) y su daño sobre el cultivo de aguacate (*Persea americana* Mill.) en la zona oriente del Estado de Michoacán, México. Tesis profesional, Facultad de Ciencias Agrícolas de la UAEMex.
- Guzmán, S. 2012. Estructura genética de poblaciones de *Oligonychus perseae* y *Oligonychus puniceae* (Acari:Tetranychidae) en Huertos de Aguacate. Tesis de Maestría, Colegio de Posgraduados.
- Hevesi, J., J. Istok, y A. Flint. 1992. Precipitation estimation in mountainous terrain using multivariate geostatistics, part I, structural analysis. *J. Appl. Meteorol.* 31: 661-676.
- Isaaks, E., y M. Srivastava. 1989. *An Introduction to Applied Geostatistics*. 1° ed. Oxford Univ. Press, New York.
- Jiménez, R., J. F. Ramírez, J. Sánchez, M. Salgado, y A. Laguna. 2014. Modelización espacial de huevos de Thrips (Thysanoptera: Frankliniella occidentalis) en tomate de cáscara por medio de técnicas geoestadísticas. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias* 46: 29-44.
- Journel, A., y J. Huijbregts. 1978. *Mining Geostatistics*. 2nd ed. Academic Press, London.
- Kakkar, G., D. R. Seal, y V. Kumar. 2011. Assessing abundance and distribution of an invasive thrips *Frankliniella schultzei* (Thysanoptera: Thripidae) in south Florida. *Bull. Entomol. Res.* 102: 249-259.
- Kim, H., S. T. Kim, M. P. Jung, y J. H. Lee. 2007. Spatio-temporal dynamics of *Scotinophora lurida* (Hemiptera: Pentatomidae) in rice fields. *Ecol. Res.* 22: 204-213.
- Lemus-Soriano, B., y D. Pérez-Aguilar. 2016. Control químico del ácaro café del aguacate *Oligonychus punicae*. *Entomología Mexicana* 3: 349-353.
- Liebold, A., and A. Sharov. 1998. Testing for correlation in the presence of spatial autocorrelation in insect count data, pp. 1-17. *In* J. Baumgartner, P. Brandmayr, and B. F. J. Manly [eds.], *Population and Community Ecology for Insect Management and Conservation*. Balkema, Rotterdam.
- Maldonado, F. I., J. F. Ramírez, M. Rubí, N. Xanat, y V. Lara. 2016. Distribución espacial de trips en aguacate en Coatepec Harinas, Estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 7: 845-856.
- Moral, F. J. 2004. Aplicación de la geoestadística en las ciencias ambientales. *Ecosistemas* 13: 78-86.
- Oliver, M., and R. Webster. 1991. How geostatistics can help you. *Soil Use Manag.* 7: 206-217.
- Paz, R., y N. Arrieche. 2017. Distribución espacial de *Thrips tabaci* (Lindeman) 1888 (Thysanoptera: Thripidae) en Quibor, Estado Lara, Venezuela. *Bioagro* 29: 123-128.
- Pérez-Álvarez, R., J. Arguelles-Cárdenas, y E. Aguilera. 2010. Distribución espacial de *Premnotrypes vorax* (Hustache) (Coleoptera: Curculionidae) en cultivos de papa. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 11: 11-20.
- Perry, J. 1995. Spatial analysis by distance indices. *J. Anim. Ecol.* 64: 303-314.
- Perry, J. 1998. Measures of spatial pattern for counts. *Ecology* 79.

- Perry, J., E. Bell, R. Smith, and I. Woiwod. 1996. SADIE Software to measure and model spatial pattern. *Aspects of Applied Biology* 46: 95-102.
- Ramírez, J. F., y E. Porcayo. 2009. Comportamiento espacial de larvas del mosquito verde *Jacobiasca lybica*, en un viñedo de secano en Andalucía, España. *Ciencia Ergo Sum*. 16: 164-170.
- Ramírez, J. F., y E. Porcayo. 2010. Estudio comparativo de la distribución espacial del muérdago enano (*Arceuthobium* sp.) en la ladera norte del parque nacional nevado de Toluca, México, utilizando el método de SADIE. *Madera y Bosques* 34: 93-111.
- Ramírez, J. F., V. Solares, D. Figueroa, y J. Sánchez. 2013a. Comportamiento especial de Trips (Insecta: Thysanoptera), en plantaciones comerciales de aguacate (*Persea americana* Mill.) en Zitácuaro, Michoacán, México. *Acta Zoológica Mexicana* (n. s.) 29: 545-562.
- Ramírez, J. F., E. Porcayo, y J. R. Sánchez. 2013b. Modelización de la distribución espacial de *Bactericera cockerelli* Sulc. (Hemiptera: Trioziidae) en *Solanum tuberosum* L. (Solanales: Solanaceae). *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias* 45: 13-27.
- Reyes, J., M. Rubí, y M. Salgado. 1993. Dinámica población de araña roja (*Oligonychus punicae* Hirst) en 16 selecciones de aguacate. Fundación Salvador Sánchez Colín CICTAMEX, S.C. 213-223.
- Ribes, M., M. Bascuñana, y J. Ávila. 1998. Estudio de la distribución espacial de *Cydia pomonella* (L.) y *Pandemis heparana* (Denis y Schiffermüller) en Torregrossa (Lleida) mediante métodos geoestadísticos. *Bol. San. Veg. Plagas* 24: 935-948.
- Rossi, R., J. Mulla, G. Journel, and H. Franz. 1992. Geostatistical tools for modeling and interpreting ecological spatial dependence. *Ecol. Monographs* 62: 277-314.
- Samper, F., y J. Carrera. 1996. Geoestadística: aplicaciones a la hidrología subterránea. 2ª ed. Centro Internacional de Métodos en Ingeniería, Barcelona.
- SIAP. 2016. Anuario estadístico de la producción agrícola (Aguacate). En línea: http://infosiap.siap.gob.mx/agricola_siap_gb/icultivo/index.jsp. Consulta en 23 de marzo 2017.
- Solano, D. A., J. G. Álvarez-Herrera, y J. Rodríguez. 2008. *Agronomía Colombiana* 26: 399-410.
- Solares, V. M., J. F. Ramírez, y J. Sánchez. 2011. Distribución espacial de trips (Insecta: Thysanoptera) en el cultivo de aguacate (*Persea americana* Mill.) *Boletín del Museo de Entomología de la Universidad del Valle* 12: 1-12.

7.2 Capítulos 2

Resultado del análisis de información proveniente de los muestreos a dos municipios del Estado de Mexico “Temascaltepec y Tenancingo”, correspondiente al período de octubre 2016 a mayo 2017, se envió para sometimiento a la revista *Revista Colombiana de Entomología* (JCR)



Sociedad Colombiana de Entomología “SOCOLEN”

NIT. 860.055.875-4

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

Bogotá, septiembre 30 2018

Código Manuscrito: 7670

Doctor

José Francisco Ramírez Dávila

Universidad Autónoma del Estado de México
México

Apreciado Ramírez Dávila,

Con la presente acuso recibo de su trabajo: ***Modelización espacial de araña roja *Oligonychus punicae* (Acari: Tetranychidae) en el cultivo de aguacate*** presentado por los autores Fidel Lara Vázquez, José Francisco Ramírez Dávila, Agustín David Acosta Guadarrama, Roberto Rivera Martínez, Ana Verónica Lara Díaz, Fátima Iraís Maldonado Zamora, Dulce Karen Figueroa Figueroa, Martín Rubí Arriaga para ser publicado en la Revista Colombiana de Entomología. Su manuscrito ha sido sometido al proceso de arbitraje dentro de la RCdE.

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

Cordialmente,

JAMES MONTOYA LERMA

Editor General

Publicaciones@socolen.org.co

Revista Colombiana de Entomología

Modelización espacial de araña roja *Oligonychus punicae* (Acari: Tetranychidae) en el cultivo de aguacate

Spatial modeling of the red spider mite *Oligonychus punicae* (Acari: Tetranychidae) in the avocado crop

FIDEL LARA-VÁZQUEZ^{1§}, JOSÉ FRANCISCO RAMÍREZ-DÁVILA^{2*}, AGUSTÍN DAVID ACOSTA-GUADARRAMA¹, ROBERTO RIVERA-MARTÍNEZ¹, ANA VERÓNICA LARA-DÍAZ¹, FÁTIMA IRAÍS MALDONADO-ZAMORA², DULCE KAREN FIGUEROA-FIGUEROA¹, MARTÍN RUBÍ-ARRIAGA²

Resumen

En los últimos años, ha existido una creciente preocupación en la sociedad por producir alimentos de calidad de una manera sustentable, por ello se han buscado nuevas alternativas en el control de plagas que ayuden a mitigar los impactos ecológicos, debido a que en la agricultura tradicional los plaguicidas se aplican de manera uniforme, sin considerar las variables espaciales y temporales, con la ayuda de mapas se pueden focalizar las dosis según la incidencia, contribuyendo a mejorar el equilibrio ambiental y los costos de producción, entre estos cultivos se encuentra el aguacate (*Persea americana*) el cual genera una enorme derrama económica en las localidades donde existe este cultivo. Dentro de las principales plagas que atacan a este cultivo se encuentra la araña roja (*Oligonychus punicae*), la cual provoca daños en la epidermis de las hojas, de tal manera que las áreas lesionadas se decoloran y los bordes de las hojas se muestran deformadas como consecuencia de la extracción del contenido celular de los tejidos, por lo anterior el objetivo del presente trabajo fue, la determinación del patrón espacial que guarda esta plaga, con la ayuda de la Geoestadística y los índices de SADIE. Los resultados muestran que la araña roja se encuentra distribuida en centros de agregación y se ajustan a modelos

¹ Estudiante del Programa de Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales. Universidad Autónoma del Estado de México, UAEM. Toluca, México C.P. 50200. §fidel.lara@hotmail.com.

² Programa de Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales; Facultad de Ciencias Agrícolas, UAEM. Cerrillo Piedras Blancas s/n km 15 Carr. Toluca - Ixtlahuaca, C.P. 50200; Toluca, México.

* Autor para correspondencia / Corresponding autor: jframirezd@uaemex.mx.

Gaussianos y Esféricos, así mismo se determinó la superficie infestada a través de mapas, con los cuales se pueden realizar programas de control dirigiendo las medidas de control a las áreas con mayor incidencia. **Palabras clave:** Ácaros, Geoestadística, Kriging, Mapas de densidad, SADIE.

Abstract:

In recent years, there has been a growing concern in society to produce quality food in a sustainable way, so new alternatives have been sought in the control of pests that help mitigate the ecological impacts, because in traditional agriculture pesticides are applied uniformly, without considering the spatial and temporal variables, with the help of maps you can focus the doses according to the incidence, contributing to improve the environmental balance and production costs, among these crops is the avocado (*Persea americana*) Which generates a huge economic flow in the localities where this crop exists. Among the main pests that attack this crop is the red spider mite (*Oligonychus punicae*), which causes damage to the epidermis of the leaves, so that the injured areas are discolored and the edges of the leaves are deformed as a consequence of the extraction of the cellular content of the tissues, therefore the objective of the present work was, the determination of the spatial pattern that keeps this plague, with the help of the Geostatistics and the SADIE indexes. The results show that the red spider mite is distributed in aggregation centers and conform to Gaussian and Spherical models, likewise the infested surface was determined through maps, with which control programs can be made directing the control measures to the areas with the highest incidence.

Key words: Mite, Geostatistics, Kriging, Density maps, SADIE.

Introducción

El aguacate (*Persea americana* Mill) Cv. Hass, es uno de los principales cultivos frutícolas de México, por la importancia que tiene en los mercados nacional e internacional. Se estima su

producción a nivel mundial en 4,2 millones de toneladas, siendo México el país más representativo con una producción promedio anual de 1,8 millones de toneladas distribuidas en 205 mil ha, obteniendo un rendimiento de 10,18 ton/ha (SIAP 2017).

El cultivo del aguacate presenta un gran número de plagas entre las que se encuentra: trips (*Frankliniella* spp.), ácaros (*Oligonychus punicae* Hirst. y *O. perseae* Tuttle), barrenador del tronco y ramas (*Copturus aguacatae* Kissinger), chicharritas (*Idona minuenda* Ball), mosca blanca (*Tetraleurodes* spp.), enrollador de la hoja (*Amorbia cunneana* Walsingham) y minador de la hoja (*Gracilaria perseae* Busck), barrenadores de la semilla (*Conotrachelus perseae* Barber y *C. aguacatae* Barber) entre otras (Equihua-Martínez *et al.* 2016)

Dentro de las plagas mencionadas se tiene al ácaro *Oligonychus punicae* (Hirst) (Acari: Tetranychidae), conocido como araña roja, este ha adquirido una importancia para el aguacate debido que se alimenta del follaje, introduciendo sus estiletes en los tejidos de la planta provocando manchas de color rojizo, cuando el daño es severo ocasiona el colapso del mesófilo, dando por resultado la defoliación y la pérdida de producción, se presenta todo el año, pero con mayor incidencia en primavera y otoño. Para su control tradicionalmente se utilizan productos químicos sin embargo estos están perdiendo gradualmente su eficiencia debido a la resistencia, provocando problemas de residualidad. Se encuentra distribuido en Norte y Sudamérica, así como en países Europeos y Asiáticos (Cerna *et al.* 2009; Lemus-Soriano *et al.* 2016).

El monitoreo de las poblaciones de *O. punicae* es necesario para saber cómo se distribuyen las poblaciones de este ácaro en las parcelas, conociendo el impacto real que tiene sobre el aguacate, ayudando a la elaboración de estrategias de control. Por lo tanto el presente trabajo tuvo por objetivo determinar la distribución espacial de las poblaciones de *O. punicae* en aguacate mediante el uso de técnicas geoestadísticas.

Materiales y métodos

El estudio se llevó en a cabo en los municipios de Tenancingo de Degollado (18°57' N, y 99°35' W) altitud media 2031 msnm y Temascaltepec (19°02' N, y 100°02' N) altitud media 1,740 msnm, en ocho parcelas cuatro por municipio de dos hectáreas cada una, el manejo agronómico que se les dio fue similar, no conto con aplicación de pesticidas. El muestreo se realizó mediante la metodología por cuadrantes, el cual consiste en dividir la parcela en 50 cuadrantes de 20 x 20 m, se tomaron 25 cuadrantes al azar por parcela donde se seleccionaron dos árboles, cada árbol de los 50 por parcela fue marcado y georreferenciado utilizando un GPSmap60 de la marca Garmin para obtener sus coordenadas. Se realizó un muestreo por mes, a partir de octubre 2016 a mayo 2017. Se contó el número de ácaros por hoja con un lente de aumento de 20X, en cada árbol se seleccionaron 60 hojas tomando quince divididas en tres estratos (inferior, medio y superior), por cada punto cardinal del árbol (Norte, Este, Oeste y Sur). (González-Olmos 2012; Ramírez *et al.* 2013a; Maldonado *et al.* 2016).

Análisis Geoestadístico. Con los datos obtenidos en los diferentes muestreos de las poblaciones de *O. punicae*, se estimó el semivariograma experimental (Isaaks y Srivastava 1989). El valor del semivariograma experimental fue calculado con la siguiente formula.

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

Donde: $\gamma^*(h)$ es el valor experimental del semivariograma para el intervalo de distancia h ; $N(h)$ es el número de pares de puntos muestrales separados por el intervalo de distancia h ; $z(x_i)$ es el valor de la variable de interés en el punto muestral x_i ; $z(x_i+h)$ es el valor de la variable de interés en el punto muestral x_i+h . La obtención de los semivariogramas experimentales se realizó con el

software Variowin 2,2 (Software For spatial Data Analysis en 2D. Springer Verlag, New York USA) (Journel y Huijbregts 1978; Maldonado *et al.* 2016).

El semivariograma experimental obtenido, se le realizó su ajuste a un semivariograma teórico. Los modelos teóricos comúnmente usados para ajustar los semivariogramas experimentales son: esférico, exponencial, gaussiano, logarítmico, efecto pepita puro, efecto agujero y monómico. Una vez obtenido el semivariograma experimental, se realizó su ajuste al semivariograma teórico, por último se determinaron los valores del efecto pepita, meseta y rango o alcance (Englund y Sparks 1988; Esquivel y Jasso 2014; Maldonado *et al.*, 2016).

La validación del modelo teórico se realizó de forma interactiva, variando los valores 'Co' (efecto de pepita), 'C + Co' (meseta) y 'a' (alcance o rango), hasta coincidir con el mejor ajuste. Una vez determinado se validó a través de la determinación de los parámetros estadísticos de validación cruzada como son: Media de los errores de estimación (MEE), error cuadrático medio (ECM) y error cuadrático medio adimensional (ECMA) (Hevesi *et al.* 1992; Samper y Carrera 1996; Ramírez *et al.* 2013a), estos estadísticos son los siguientes:

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

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

Donde: $z^*(x_i)$ es el valor estimado de la variable de interés en el punto x_i ; $z(x_i)$ es el valor medido de la variable de interés en el punto x_i y n es el número de puntos muestrales utilizado en la interpolación. La MEE no debe ser significativamente distinta de 0 (Prueba de t), en cuyo caso, indicaría que el modelo de semivariograma permite el cálculo de estimadores no sesgados.

b) Error cuadrático medio (ECM):

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

Un modelo de semivariograma se considera adecuado si, como regla práctica, el valor del estadístico es cercano a cero

c) Error cuadrático medio adimensional (ECMA):

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

Donde: σk es la desviación estándar del error esperado en la estimación con el krigeado. La validez del modelo se satisface si ECMA está comprendido entre los valores $1 \pm 2 (2/N)^{0.5}$.

d) Otro estadístico para validar el ajuste del modelo consiste en que el valor de la varianza de los errores sea menor a la varianza muestral.

El nivel de dependencia espacial se calculó con el fin de determinar el grado de relación que guardan los datos correspondientes, este valor se obtiene al dividir el efecto de pepita entre la meseta, expresado en porcentaje el resultado, menos de 25% es alto, entre 26 y 75% es moderada y superior al 76% bajo (López-Granados *et al.* 2002; Maldonado *et al.* 2016).

Por último se elaboraron mapas de densidad, una vez que los modelos de los semivariogramas fueron validados se realizó la interpolación de valores a través del krigeado el cual nos permite la estimación no sesgada de valores asociados a puntos que no fueron muestreados, para la elaboración de los mapas se utilizó el programa Surfer 9 (Surface Mapping System, Golden Software Inc. 809, 14th Street. Golden, Colorado 80401-1866. USA). Las estimaciones de la superficie infestada se realizó con los mapas de densidad para cada fecha muestreada (Sánchez *et al.*, 2011; Ramírez *et al.* 2013b).

SADIE. (Spatial Analysis by Distance Indices). La base teórica de este tipo de análisis consiste en la evaluación de objetos o entidades, sobre la base de conocimiento de su situación en el

espacio, siendo una metodología de la estadística espacial, la cual identifica un 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. Es un índice biológicamente más descriptivo e informativo de la distribución espacial de las poblaciones de insectos que el índice de dispersión (cociente media varianza) y el Índice de Green, los cuales dependen directamente de la abundancia de la población (Perry *et al.* 1996; Quero 2006). Perry (1995) indicó que para datos recolectados en ubicaciones específicas el uso de la distancia para la regularidad es muy adecuado y demostró cómo distinguir no aleatoriedad en la forma de heterogeneidad estadística, de la no aleatoriedad espacial, desarrolló y extendió el uso del índice de la distancia para la regularidad (I_a) para el establecimiento de la estructura espacial de las poblaciones de insectos y el índice para estimar el número de focos de agrupamiento de una población (J_a).

Por lo tanto la muestra es agregada si $I_a > 1$, es aleatoria si $I_a = 1$ y regular si $I_a < 1$; por otra parte si de $J_a > 1$ es una muestra agregada, $J_a = 1$ los datos son espacialmente aleatorios y $J_a < 1$ la muestra es regular. Los valores del índice J_a sirven para corroborar los resultados obtenidos con el índice I_a . Para determinar la significación con respecto a la unidad se utiliza su probabilidad respectiva (Q_a) (Perry 1998). El programa utilizado fue el SADIE 1,22 (Perry *et al.* 1996).

Resultados

El comportamiento espacial que tienen diferentes plagas que atacan al cultivo del aguacate, están estrechamente relacionadas a los factores ambientales, tales como la distribución del hábitat, el microclima y la disponibilidad de alimento. Con los resultados de los muestreos mensuales que se realizaron, fue posible realizar la modelización y el mapeo de las poblaciones de *O. punicae* en las parcelas de aguacate. Se logró determinar el comportamiento espacial de este ácaro a corto plazo, estableciendo el porcentaje de infestación en cada muestreo por parcela.

La media de las poblaciones de *O. punicae* vario de parcela y fecha de muestreo; para el municipio de Tenancingo las densidades más bajas se registraron en el mes de diciembre en la parcela uno con 21,62; para el municipio de Temascaltepec la densidad más baja se presentó en la parcela cinco en el mes de noviembre con 41,02. Las densidades más altas se registraron en los meses de Mayo con 288,64 y 328,58 en las parcelas cuatro y cinco pertenecientes a los municipios de Tenancingo y Temascaltepec respectivamente (Tabla 1).

La distribución espacial que presenta *O. punicae*, en las parcelas comerciales de aguacate es de tipo agregada en cada una de las fechas muestreadas. Los semivariogramas experimentales que se obtuvieron en las parcelas del municipio de Tenancingo, se ajustaron al modelo Esférico (17) y Gaussiano (15); para el caso de la parcela uno en los meses de noviembre y mayo se ajustaron al modelo Gaussiano, en los meses restantes se ajustaron al modelo Esférico. En el municipio de Temascaltepec los semivariogramas experimentales se ajustaron al modelo Esférico (22) y Gaussiano (10), en la parcela ocho en el mes de octubre, abril y mayo se ajustaron al modelo Gaussiano, el resto al modelo Esférico (Tabla 1). Para todos los modelos ajustados se presentó un efecto pepita igual a cero, por lo que el error de muestreo se consideró mínimo y la escala de muestreo para cada localidad fue la adecuada.

El rango nos indica cual es la distancia máxima hasta la cual existe relación espacial entre los datos; los valores de rango que se presentaron para la parcela uno perteneciente a Tenancingo se ubicaron entre 22,00 m en enero y 39,10 m en diciembre, en este municipio el rango mínimo fue 12,79 m y el máximo 49,70 m correspondiente a la parcela dos en el mes de octubre y en el mes de diciembre en la parcela tres respectivamente. Para el municipio de Temascaltepec en la parcela seis los valores de los rangos fluctuaron entre 25,50 m y 43,5 m en los meses noviembre y febrero respectivamente, para el total de los muestreos en el municipio, el rango mínimo fue en 13,87 m en la parcela ocho en el mes de noviembre, el valor máximo se presentó en la parcela cinco en el mes de marzo con 45,00 m (Tabla 1).

Tabla 1. Parámetros de los modelos teóricos ajustados a los semivariogramas de *O. punicae*, en el Municipio Tenancingo (Parcelas 1, 2, 3 y 4) y Temascaltepec (Parcelas 5, 6, 7 y 8).

Table 1. Parameters of the theoretical models adjusted to the semivariograms of *O. punicae*, in the Tenancingo Municipality (Plots 1, 2, 3 and 4) and municipality Temascaltepec (Plots 5, 6, 7 and 8).

P.	Fecha	Modelo	Densidad Promedio	Mín.	Máx.	Pepita	Meseta	Rango	Pepita/Meseta	Nivel de dependencia espacial	%
1	Octubre 2016	Esférico	32,90	1	69	0	302,46	25,70	0	Alta	92
	Noviembre 2016	Gaussiano	24,72	0	62	0	270,00	26,64	0	Alta	90
	Diciembre 2016	Esférico	21,62	0	55	0	228,15	39,10	0	Alta	88
	Enero 2017	Esférico	24,14	4	59	0	176,00	22,00	0	Alta	91
	Febrero 2017	Esférico	52,58	27	94	0	285,80	32,56	0	Alta	86
	Marzo 2017	Esférico	64,52	38	113	0	324,17	29,60	0	Alta	84
	Abril 2017	Esférico	98,18	47	180	0	662,20	32,56	0	Alta	85
	Mayo 2017	Gaussiano	283,76	148	528	0	2571,40	22,95	0	Alta	95
2	Octubre 2016	Esférico	31,38	1	65	0	319,43	12,79	0	Alta	89
	Noviembre 2016	Esférico	31,32	0	68	0	392,59	31,91	0	Alta	91
	Diciembre 2016	Gaussiano	38,88	4	82	0	497,28	15,59	0	Alta	94
	Enero 2017	Esférico	39,68	4	83	0	622,50	29,40	0	Alta	90
	Febrero 2017	Gaussiano	49,7	5	104	0	960,00	31,17	0	Alta	92
	Marzo 2017	Gaussiano	79,44	15	133	0	1344,76	24,00	0	Alta	97
	Abril 2017	Gaussiano	132,70	63	193	0	845,32	31,73	0	Alta	98
	Mayo 2017	Esférico	287,00	132	490	0	2630,61	26,60	0	Alta	95
3	Octubre 2016	Gaussiano	28,94	1	59	0	273,98	20,61	0	Alta	88
	Noviembre 2016	Gaussiano	29,04	2	60	0	285,60	28,88	0	Alta	87
	Diciembre 2016	Esférico	33,32	5	62	0	289,57	49,70	0	Alta	90
	Enero 2017	Esférico	34,00	4	68	0	348,30	34,00	0	Alta	91
	Febrero 2017	Gaussiano	41,66	7	79	0	508,40	26,60	0	Alta	86
	Marzo 2017	Esférico	72,52	20	117	0	65373	33,44	0	Alta	93
	Abril 2017	Gaussiano	116,76	55	190	0	1130,59	26,67	0	Alta	90
	Mayo 2017	Esférico	282,30	130	467	0	3333,33	28,94	0	Alta	96
4	Octubre 2016	Esférico	32,12	1	62	0	270,00	17,88	0	Alta	87
	Noviembre 2016	Esférico	33,02	2	75	0	370,92	35,45	0	Alta	83
	Diciembre 2016	Gaussiano	36,00	1	73	0	379,16	28,79	0	Alta	87
	Enero 2017	Gaussiano	40,40	3	83	0	397,34	25,85	0	Alta	93
	Febrero 2017	Gaussiano	56,58	16	104	0	489,75	24,85	0	Alta	95
	Marzo 2017	Esférico	65,50	21	113	0	570,00	35,25	0	Alta	94
	Abril 2017	Gaussiano	104,68	52	172	0	861,26	30,75	0	Alta	89
	Mayo 2017	Gaussiano	288,64	175	520	0	2283,31	28,69	0	Alta	91
5	Octubre 2016	Gaussiano	43,94	13	63	0	256,00	26,62	0	Alta	92
	Noviembre 2016	Esférico	41,02	3	74	0	247,77	30,75	0	Alta	91
	Diciembre 2016	Esférico	44,56	12	82	0	230,33	30,00	0	Alta	88
	Enero 2017	Esférico	46,64	14	82	0	206,30	39,75	0	Alta	89
	Febrero 2017	Gaussiano	57,72	18	86	0	329,89	28,50	0	Alta	95
	Marzo 2017	Esférico	67,66	17	97	0	405,00	45,00	0	Alta	96
	Abril 2017	Esférico	143,14	79	179	0	619,47	27,99	0	Alta	89

	Mayo 2017	Gaussiano	328,58	185	480	0	2628,37	24,08	0	Alta	94
	Octubre 2016	Esférico	48,98	17	82	0	344,64	27,59	0	Alta	84
	Noviembre 2016	Gaussiano	45,14	9	87	0	367,50	25,50	0	Alta	87
	Diciembre 2016	Esférico	47,06	14	81	0	286,99	36,49	0	Alta	85
6	Enero 2017	Esférico	54,04	17	83	0	272,89	33,00	0	Alta	86
	Febrero 2017	Esférico	59,54	16	86	0	264,66	43,50	0	Alta	91
	Marzo 2017	Esférico	76,14	37	97	0	200,82	40,50	0	Alta	93
	Abril 2017	Esférico	104,98	55	230	0	768,48	37,50	0	Alta	90
	Mayo 2017	Esférico	292,28	80	539	0	3530,96	37,48	0	Alta	95
	Octubre 2016	Esférico	53,64	17	85	0	410,34	20,68	0	Alta	81
	Noviembre 2016	Gaussiano	53,42	13	84	0	369,61	14,60	0	Alta	93
	Diciembre 2016	Gaussiano	58,48	22	93	0	436,71	17,52	0	Alta	90
7	Enero 2017	Esférico	61,80	23	97	0	429,49	13,90	0	Alta	78
	Febrero 2017	Gaussiano	72,54	32	108	0	424,91	15,25	0	Alta	93
	Marzo 2017	Esférico	84,06	48	118	0	386,07	21,17	0	Alta	90
	Abril 2017	Esférico	106,84	60	245	0	895,93	31,20	0	Alta	92
	Mayo 2017	Esférico	292,86	140	461	0	3786,93	23,60	0	Alta	91
	Octubre 2016	Gaussiano	50,19	7	74	0	453,70	14,56	0	Alta	88
	Noviembre 2016	Esférico	58,72	13	95	0	480,76	13,87	0	Alta	90
	Diciembre 2016	Esférico	60,94	18	100	0	430,08	18,25	0	Alta	92
8	Enero 2017	Esférico	70,00	24	104	0	469,80	16,79	0	Alta	91
	Febrero 2017	Esférico	82,64	25	110	0	375,07	17,76	0	Alta	95
	Marzo 2017	Esférico	92,76	37	120	0	330,30	24,09	0	Alta	97
	Abril 2017	Gaussiano	127,20	76	225	0	959,07	23,90	0	Alta	86
	Mayo 2017	Gaussiano	294,56	145	520	0	3383,73	19,23	0	Alta	92

P. = parcela, Mín. = cantidad mínima de ácaros por árbol, Máx. = cantidad máxima de ácaros por árbol, D.P. = dependencia espacial, %=Superficie infestada.

Los modelos ajustados en cada uno de los muestreos presentaron un alto nivel de dependencia espacial. Los modelos que resultaron de la distribución espacial de *O. punicae*, se validaron con los parámetros estadísticos al ubicarlos en los rangos permisibles (Tabla 2).

Tabla 2. Valores de los Estadísticos de la Validación Cruzada de los Semivariogramas de *Oligonychus punicae* Hirst, en el Municipio de Tenancingo (Parcela 1, 2, 3, y 4) y municipio de Temascaltepec (Parcela 5, 6, 7, y 8).

Table 2. Values of the Statistics of the Cross Validation of the Semivariograms of *Oligonychus punicae* Hirst, in the Municipality of Tenancingo (Plots 1, 2, 3, and 4) and municipality of Temascaltepec (Plots 5, 6, 7, and 8).

Parcela	Fecha	Varianza muestral	MEE*	Varianza de los errores	ECM	ECMA
1	Octubre 2016	33,09	0,11	11,56	0,07	1,11
	Noviembre 2016	29,28	0,06	17,48	0,11	1,13
	Diciembre 2016	22,59	0,14	11,05	0,12	1,06
	Enero 2017	18,96	0,10	11,37	0,14	1,12
	Febrero 2017	24,56	0,12	21,71	0,10	1,09
	Marzo 2017	30,88	0,08	24,58	0,09	1,07

Parcela	Fecha	Varianza muestral	MEE*	Varianza de los errores	ECM	ECMA
	Abril 2017	85,30	0,11	48,30	0,14	1,11
	Mayo 2017	29,34	0,07	19,22	0,10	1,12
2	Octubre 2016	34,63	0,13	16,41	0,12	1,14
	Noviembre 2016	40,81	0,12	31,52	0,07	1,11
	Diciembre 2016	58,98	0,09	39,85	0,09	1,10
	Enero 2017	67,81	0,13	43,87	0,11	1,09
	Febrero 2017	83,05	0,10	61,25	0,13	1,10
	Marzo 2017	11,60	0,08	10,28	0,10	1,14
	Abril 2017	88,65	0,11	79,59	0,08	1,12
	Mayo 2017	26,94	0,14	18,77	0,12	1,11
	3	Octubre 2016	30,73	0,10	21,65	0,10
Noviembre 2016		28,55	0,07	19,22	0,13	1,08
Diciembre 2016		29,85	0,12	15,93	0,11	1,06
Enero 2017		36,12	0,10	22,54	0,14	1,11
Febrero 2017		48,26	0,14	39,42	0,06	1,13
Marzo 2017		95,92	0,07	71,60	0,11	1,10
Abril 2017		13,82	0,12	11,36	0,13	1,11
Mayo 2017		38,81	0,10	27,81	0,10	1,09
4	Octubre 2016	35,26	0,09	21,66	0,12	1,12
	Noviembre 2016	40,45	0,13	32,25	0,08	1,07
	Diciembre 2016	39,28	0,11	24,71	0,13	1,14
	Enero 2017	43,24	0,09	29,53	0,10	1,12
	Febrero 2017	48,64	0,10	36,92	0,07	1,10
	Marzo 2017	65,57	0,13	51,31	0,11	1,13
	Abril 2017	98,81	0,10	78,46	0,13	1,11
	Mayo 2017	27,27	0,08	18,76	0,10	1,10
5	Octubre 2016	26,21	0,10	11,31	0,13	1,12
	Noviembre 2016	31,77	0,08	21,44	0,09	1,14
	Diciembre 2016	24,00	0,12	17,29	0,10	1,07
	Enero 2017	19,83	0,14	11,36	0,14	1,10
	Febrero 2017	30,00	0,09	23,82	0,06	1,11
	Marzo 2017	39,34	0,13	21,75	0,10	1,13
	Abril 2017	75,88	0,11	51,43	0,13	1,07
	Mayo 2017	28,28	0,07	16,29	0,10	1,10
6	Octubre 2016	34,83	0,14	20,83	0,14	1,09
	Noviembre 2016	36,64	0,13	27,04	0,11	1,12
	Diciembre 2016	28,69	0,10	19,66	0,09	1,14
	Enero 2017	31,15	0,06	24,27	0,06	1,13
	Febrero 2017	24,68	0,11	16,35	0,10	1,10
	Marzo 2017	18,36	0,12	11,77	0,07	1,07
	Abril 2017	88,17	0,10	69,61	0,12	1,12
	Mayo 2017	37,96	0,09	19,84	0,08	1,09
7	Octubre 2016	42,47	0,13	31,51	0,13	1,13
	Noviembre 2016	40,12	0,10	29,62	0,11	1,11
	Diciembre 2016	43,16	0,14	30,56	0,14	1,08
	Enero 2017	38,48	0,07	23,29	0,10	1,14
	Febrero 2017	36,80	0,13	21,38	0,12	1,06
	Marzo 2017	34,37	0,12	28,25	0,07	1,10
	Abril 2017	99,29	0,08	71,38	0,11	1,07
	Mayo 2017	39,92	0,11	20,74	0,06	1,11
8	Octubre 2016	42,68	0,14	28,33	0,14	1,12
	Noviembre 2016	54,88	0,10	37,27	0,12	1,14
	Diciembre 2016	44,37	0,09	32,86	0,10	1,09
	Enero 2017	50,00	0,13	36,41	0,09	1,11
	Febrero 2017	32,27	0,06	17,92	0,11	1,13
	Marzo 2017	26,74	0,11	19,45	0,08	1,10
	Abril 2017	98,32	0,13	56,29	0,12	1,08
	Mayo 2017	39,32	0,10	23,67	0,06	1,12

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

Se realizaron mapas de densidad mediante el método geoestadístico denominado Krigeado ordinario, una vez que fueron validados los semivariogramas correspondientes. En ellos se observa que *O. punicae*, se agrupa en centros de agregación, pudiendo decir que su distribución se localiza en focos de agregación específicos en las diferentes zonas de las parcelas, este método se utilizó, porque nos permite visualizar el comportamiento que se tiene en puntos no muestreados con una estimación no sesgada. Para el caso de la parcela uno perteneciente al municipio de Tenancingo los mapas de la superficie para los meses de octubre, noviembre y diciembre se visualiza que los centros de agregación se encuentran distribuidos en la parte central de la parcela con una tendencia hacia el lado izquierdo, en los meses de enero, febrero y marzo los centros de agregación se distribuyeron de manera aleatoria en los bordos de la parcela, mientras que en el mes abril los focos de infestación se situaron en el lado derecho de la parcela con una tendencia hacia el centro; por último en el mes de mayo solo hubo un centro de agregación considerable del lado izquierdo, cabe señalar que los últimos dos meses (abril y mayo), es cuando hay un mayor número de *O. punicae*, debido a que en la zona de estudio en estos meses no hay lluvias favoreciendo el crecimiento poblacional (Figura 1).

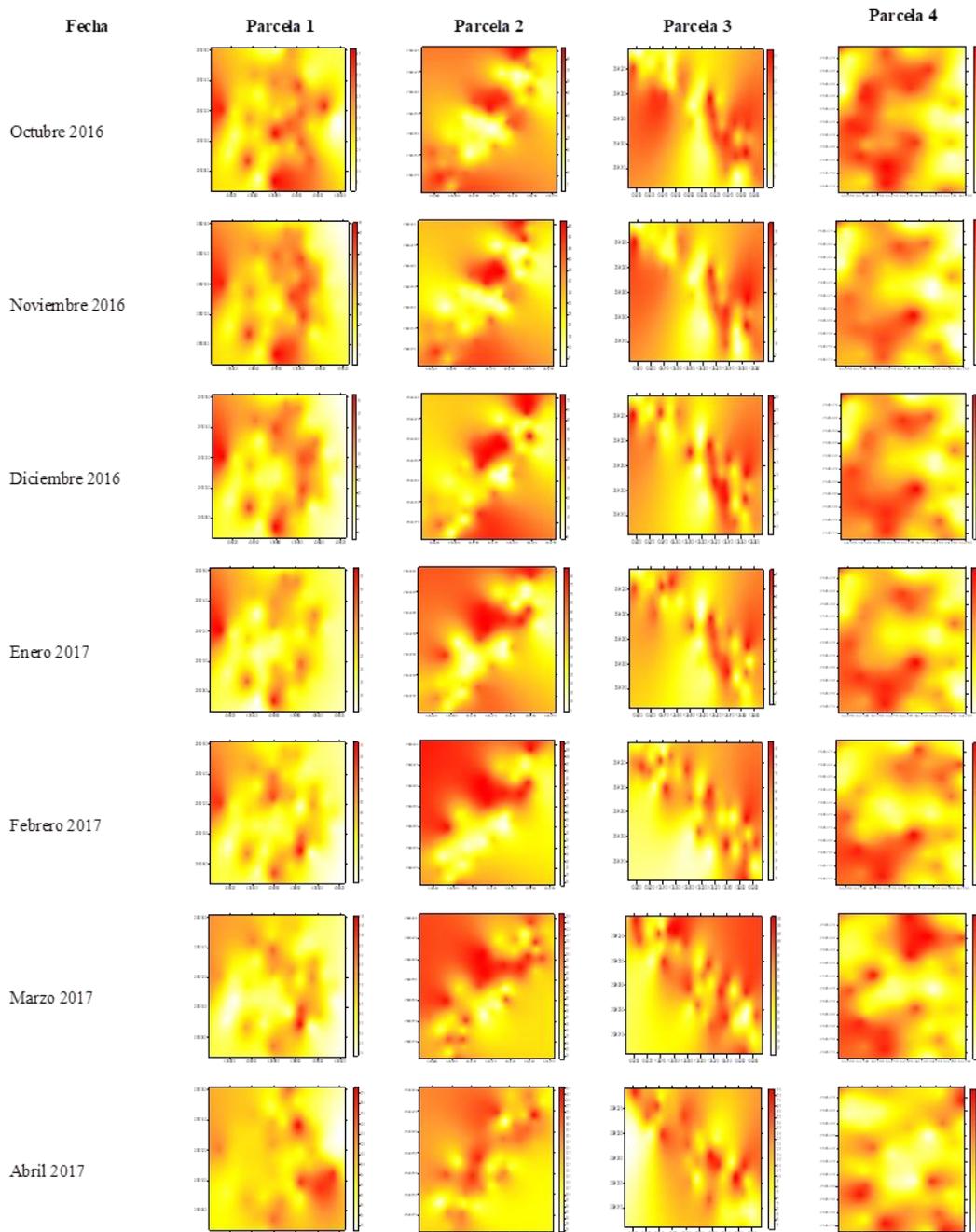


Fig. 1. Mapas de densidad de *Oligonychus punicae* Hirst, en el cultivo del aguacate, por fecha de muestreo en parcelas del Municipio de Tenancingo.

Fig. 1. Density maps of *Oligonychus punicae* Hirst, in avocado cultivation, by sampling date in plots of the Municipality of Tenancingo.

En la parcela cinco perteneciente al municipio de Temascaltepec, en los meses de octubre y noviembre los focos de infestación se localizaron en la parte central y en los bordes izquierdo y

derecho; con una tendencia a la parte inferior en el izquierdo y con una tendencia a la parte superior el derecho, el comportamiento es persistente con una mínima movilidad, en diciembre y enero los focos de infestación se concentran en la parte central con una tendencia hacia el bordo izquierdo parte inferior y derecho parte superior, mientras que en los meses febrero, marzo y abril los centros de agregación se empiezan a reagrupar a partir del mes de febrero, teniendo focos de infestación en la parte central de la parcela con una tendencia a hacia la parte inferior, los dos meses posteriores la distribución de los centros de agregación se distribuyen casi de manera uniforme en toda la parcela habiendo algunos manchones donde son mínimos los centros de agregación. Por último el mes de mayo los centros de agregación se encuentran en la parte central de la parcela (Figura 2).

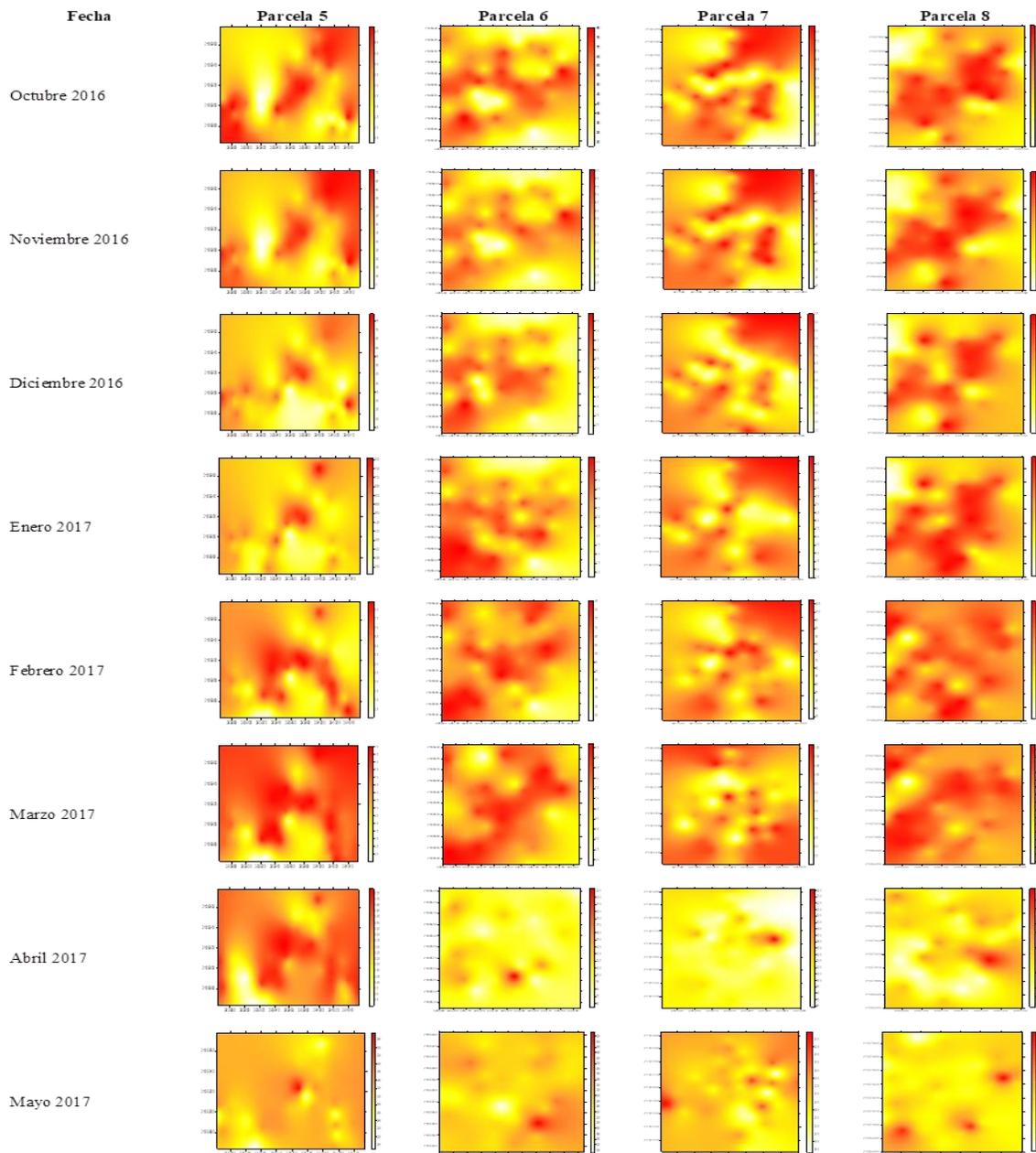


Fig. 2. Mapas de densidad de *Oligonychus punicae* Hirst, en el cultivo del aguacate, por fecha de muestreo en parcelas del Municipio de Temascaltepec.

Fig. 2. Density maps of *Oligonychus punicae* Hirst, in avocado cultivation, by sampling date in plots of the Municipality of Temascaltepec.

Los centros de agregación no se distribuyen de manera uniforme en toda la parcela habiendo superficie no infestada, con lo cual se pueden llevar a cabo la planeación de acciones encaminadas al control y combate de *O. punicae*. Con respecto al municipio de Tenancingo la parcela dos fue la que tuvo una mayor superficie infestada en el mes de abril con 98 %, la que

tuvo menor superficie infestada fue la parcela cuatro en el mes de noviembre con 83 %. En el municipio de Temascaltepec el mayor porcentaje de superficie infestada se presente en el mes marzo en la parcela ocho con 97 % y el menor porcentaje se dio en el mes de enero con 78 %, como se puede observar en el la Tabla 1.

En el análisis espacial por índice de distancia (SADIE) se observó que el índice I_a más alto, en el municipio de Tenancingo, se registró en la parcela tres en el mes de mayo 1,70, el más bajo en la parcela dos en el mes de noviembre 1,28; por otro lado el valor más alto del índice J_a se registró en la parcela cuatro en el mes de abril 1,24 y el más bajo 1,05 en la parcela uno en el mes de octubre.

En el municipio de Temascaltepec el valor más alto del índice I_a correspondió a la parcela ocho en el mes de noviembre 1,72, el más bajo en la parcela cinco en el mes de mayo 1,30; así mismo el valor más alto del índice J_a , se registró en la parcela cinco en el mes de abril 1,24 y el más bajo en el mes de enero en la misma parcela 1,06 (Tabla 3).

Tabla 3. Valor de los Índices I_a y J_a y sus Respectivas Probabilidades P_a y Q_a en la Población de Araña Roja (*Oligonychus punicae* Hirst), en los Municipios Tenancingo (Parcela 1, 2, 3, y 4) y Temascaltepec (Parcela 5, 6, 7, y 8).

Table 3. Value of the I_a and J_a Indices and their Respective P_a and Q_a Probabilities in the Red Spider mite Population (*Oligonychus punicae* Hirst), in the Tenancingo Municipalities (Plots 1, 2, 3, and 4) and Temascaltepec (Plot 5, 6, 7, and 8).

Parcela	Fecha	I_a	P_a	J_a	Q_a
1	Octubre 2016	1.34	0.005s	1.05	0.133ns
	Noviembre 2016	1.47	0.010s	1.10	0.178ns
	Diciembre 2016	1.65	0.014s	1.19	0.165ns
	Enero 2017	1.50	0.007s	1.06	0.209ns
	Febrero 2017	1.36	0.006s	1.14	0.226ns
	Marzo 2017	1.51	0.012s	1.15	0.249ns
	Abril 2017	1.29	0.011s	1.23	0.131ns
	Mayo 2017	1.42	0.010s	1.20	0.262ns
2	Octubre 2016	1.30	0.005s	1.10	0.275ns
	Noviembre 2016	1.28	0.014s	1.11	0.135ns
	Diciembre 2016	1.69	0.017s	1.09	0.280ns
	Enero 2017	1.36	0.009s	1.18	0.169ns
	Febrero 2017	1.59	0.014s	1.17	0.238ns
	Marzo 2017	1.33	0.011s	1.20	0.203ns
	Abril 2017	1.40	0.013s	1.08	0.153ns
	Mayo 2017	1.29	0.010s	1.16	0.266ns
3	Octubre 2016	1.56	0.016s	1.15	0.222ns
	Noviembre 2016	1.63	0.007s	1.23	0.241ns
	Diciembre 2016	1.48	0.015s	1.12	0.138ns
	Enero 2017	1.32	0.011s	1.11	0.271ns
	Febrero 2017	1.49	0.018s	1.13	0.284ns

Parcela	Fecha	I_a	P_a	J_a	Q_a
	Marzo 2017	1.67	0.008s	1.10	0.257ns
	Abril 2017	1.38	0.013s	1.09	0.156ns
	Mayo 2017	1.70	0.015s	1.20	0.246ns
4	Octubre 2016	1.30	0.011s	1.21	0.142ns
	Noviembre 2016	1.55	0.005s	1.14	0.218ns
	Diciembre 2016	1.43	0.019s	1.13	0.204ns
	Enero 2017	1.64	0.008s	1.22	0.233ns
	Febrero 2017	1.52	0.010s	1.19	0.188ns
	Marzo 2017	1.41	0.013s	1.16	0.213ns
	Abril 2017	1.59	0.009s	1.24	0.147ns
	Mayo 2017	1.60	0.012s	1.18	0.159ns
5	Octubre 2016	1.32	0.011s	1.09	0.158ns
	Noviembre 2016	1.43	0.18s	1.13	0.134ns
	Diciembre 2016	1.62	0.010s	1.17	0.175ns
	Enero 2017	1.53	0.013s	1.06	0.167ns
	Febrero 2017	1.49	0.014s	1.12	0.142ns
	Marzo 2017	1.66	0.012s	1.08	0.208ns
	Abril 2017	1.57	0.007s	1.24	0.149ns
	Mayo 2017	1.30	0.013s	1.19	0.229ns
6	Octubre 2016	1.44	0.017s	1.15	0.289ns
	Noviembre 2016	1.69	0.015s	1.11	0.191ns
	Diciembre 2016	1.47	0.007s	1.22	0.242ns
	Enero 2017	1.45	0.012s	1.20	0.139ns
	Febrero 2017	1.64	0.018s	1.16	0.251ns
	Marzo 2017	1.34	0.011s	1.08	0.235ns
	Abril 2017	1.71	0.010s	1.14	0.132ns
	Mayo 2017	1.50	0.015s	1.18	0.263ns
7	Octubre 2016	1.65	0.010s	1.12	0.153ns
	Noviembre 2016	1.39	0.014s	1.11	0.180ns
	Diciembre 2016	1.51	0.016s	1.14	0.144ns
	Enero 2017	1.54	0.008s	1.09	0.196ns
	Febrero 2017	1.46	0.008s	1.07	0.164ns
	Marzo 2017	1.70	0.013s	1.23	0.214ns
	Abril 2017	1.65	0.011s	1.16	0.135ns
	Mayo 2017	1.48	0.010s	1.20	0.237ns
8	Octubre 2016	1.68	0.017s	1.18	0.172ns
	Noviembre 2016	1.72	0.019s	1.10	0.156ns
	Diciembre 2016	1.59	0.014s	1.13	0.257ns
	Enero 2017	1.41	0.009s	1.21	0.130ns
	Febrero 2017	1.61	0.013s	1.11	0.249ns
	Marzo 2017	1.37	0.006s	1.10	0.226ns
	Abril 2017	1.52	0.009s	1.15	0.143ns
	Mayo 2017	1.40	0.016s	1.19	0.182ns

ns: no significativo al 5%, s: significativo al 5

El índice I_a , y J_a en todos los muestreos fue significativamente superior a uno, lo cual nos indica que la distribución espacial de las poblaciones de *O. punicae*, presenta una distribución espacial en agregados (índice I_a), dispuesta en varios centros de agregación (índice J_a).

La distribución agregada de las poblaciones de araña roja se manifiesta en cada uno de los mapas obtenidos (Fig. 1 y 2), lo que corrobora lo establecido por los índices I_a y J_a ., dado que en los mapas obtenidos se puede apreciar los diferentes focos de agregación de las poblaciones en los meses muestreados.

Discusión

Como tal el patrón espacial refleja la propiedad ecológica característica de una especie por ello es importante identificar la dinámica espacio-temporal de una plaga para tener una mejor comprensión del patrón espacial de las poblaciones. (Morlans 2004).

Desde el punto de vista ecológico los seres vivos se organizan y se constituyen en conjunto de individuos de la misma especie, ocupando un área determinada entre los cuales se da un intercambio de información genética, en el caso del ácaro *O. punicae*, se le puede encontrar durante todo el año, pero con mayor incidencia en los meses secos y calurosos del año (Lemus-Soriano *et al.* 2016), para el caso de los municipios muestreados estas condiciones se dan en los meses de abril y mayo que es cuando hay más número de ácaros, los meses donde hay menor número de ácaros son los meses de octubre, noviembre y diciembre, dado que en estos meses las temperaturas son bajas; esto también fue observado por Reyes-Alemán *et al.* (1993) y Coria y Ayala (2010).

La determinación de una estructura agregada en la modelización de la distribución espacial se logró con el uso de la geoestadística. En comparación con la estimación de la distribución espacial que realiza la estadística clásica, los métodos geoestadísticos proporcionan una medida más directa de la dependencia espacial, debido a que tienen en cuenta la naturaleza bidimensional de la distribución de los organismos a través de su exacta localización espacial y es independiente de la relación entre la media y la varianza (Ramírez *et al.*, 2013a; Rivera-Martínez *et al.* 2017).

Con la geostadística se puede describir la continuidad espacial de cualquier fenómeno natural, con ello llegamos a conocer la forma en que varía cualquier variable continua en el espacio (patrón espacial) a una o varias escalas seleccionadas, con un nivel de detalle que permite cuantificar la variación espacial de la variable en distintas direcciones del espacio. La geostadística utiliza funciones para modelar esta variación espacial, y estas funciones son

utilizadas para interpolar en el espacio el valor de la variable en sitios no muestreados (Gallardo 2006), además permite elaborar mapas de gran utilidad de la distribución espacial de un organismo (Ramírez *et al.* 2013b).

Se han realizado numerosas investigaciones en las cuales han trabajado la modelización de distribución espacial con insectos, enfermedades y ácaros, en relación a insectos Acosta-Guadarrama *et al.* (2017), realizó su estudio utilizando las técnicas de la geoestadística, para estudiar la distribución espacial de *Trips* spp. (Thysanoptera) y Evaluación de su control mediante el depredador *Amblyseius swirskii* en el cultivo de aguacate; en enfermedades Osorio-Almazan *et al.* (2017) trabajo con la distribución espacial del riesgo potencial de marchitamiento del aguacate causado por *Phytophthora cinnamomi*; en ácaros Landeros *et al.* (2003) realizó su trabajo con la distribución espacial y fluctuación poblacional de *Phyllocoptruta oleivora* (ashmead) (acari: eriophyidae) en cítricos, López-López *et al.* (2011) también trabajo con la distribución espacial y efecto de densidades de Población del ácaro (*Tetranychus urticae* Koch) en el rendimiento de maíz forrajero. El uso de las técnicas para modelizar la distribución espacial ha demostrado ser una herramienta eficiente para determinar la distribución espacial de diversas plagas y enfermedades permitiendo localizar los focos de agregación en puntos específicos, con los cuales se pueden realizar estrategias de manejo en cultivos de importancia económica (Rivera-Martínez *et al.* 2017).

El comportamiento espacial bajo condiciones de infestaciones de *O. punicae* en aguacate, fue de tipo agregada encontrándose en el haz o en la cara superior de las hojas, en su mayoría maduras, lo anterior permite sugerir que el manejo de este ácaro, se puede lograr dirigiendo su control a puntos específicos o focos de infestación en donde se encuentran los puntos de agregación, evitando la aplicación generalizada de productos químicos en las parcelas comerciales de aguacate, ayudando a minimizar al deterioro ambiental y ahorros en insumos por parte de los productores, esto concuerda con Ramírez y Porcayo (2009), quienes trabajaron con

mosquito verde (*Jacobiasca lubica*) en vid, en donde indicaron que conociendo la superficie infestada en los mapas es posible establecer los gastos y ahorros económicos con respecto a la aplicación de insecticidas, llevando a cabo medidas de control dirigidas hacia las zonas realmente infestadas.

Los valores encontrados en el efecto pepita de los semivariogramas obtenidos de los diferentes modelos ajustados fue igual a cero, esto permite considerar que el error de muestreo fue mínimo y la escala de muestreo fue la adecuada por lo que se puede considerar que los modelos ajustados tienen un 98 % de confiabilidad, en consecuencia, es válido deducir que más del 90% de la variación total es debido a la dependencia espacial en la escala de muestreo utilizada; dicho de otra manera, más del 90 % de la variación de la distribución de las poblaciones de este ácaro se logró explicar por la estructura espacial establecida con los semivariogramas (Oliver y Webster 1991; Liebhold y Sharov 1998; Rivera-Martínez *et al.* 2017). Esquivel y Jasso (2014), en su trabajo de la distribución de la plaga de gusano soldado *Mythimna unipuncta* en el cultivo de maíz, encontraron valores del efecto pepita cercanos a cero, lo cual indica que en su totalidad la variación de la distribución de las plagas se explicó por la estructura espacial en los semivariogramas. Aunado a lo anterior las funciones geoestadísticas permiten validar los modelos experimentales que se obtuvieron en el presente trabajo “Esférico y Gaussiano” en los diferentes muestreos (Rossi *et al.* 1992; Ramírez *et al.* 2013b; Rivera-Martínez *et al.* 2017).

Los muestreos que se ajustaron al modelo gaussiano, nos demuestra que el comportamiento espacial de la agregación, se expresa en forma continua dentro de las parcelas de aguacate, lo que indica un continuo avance de las infestaciones de *O. punicae* de árboles vecinos, esto también fue observado por Jiménez *et al.* (2014), en su estudio de modelización espacial de huevos de Thrips, en tomate de cascara, en donde encontró que en la mayoría de las fechas de muestreadas, los semivariogramas se ajustaron al modelo gaussiano, señalando que los huevos de Thrips se presentan en forma continua dentro de las parcelas respecto de los

puntos muestreados, infiriendo la existencia de diversos factores que influyen en la diseminación de las hembras para ovipositar de una forma más rápida; así mismo Maldonado *et al.* (2017) en su trabajo de estabilidad espacial y temporal de la distribución de Trips en aguacate, señala que los muestreos que se ajustaron al modelo gaussiano reflejan que los centros de agregación se presentan de manera continua dentro de la parcela.

Los muestreos que se ajustaron al modelo esférico indican que la agregación de *O. punicae* se presenta en mayor cantidad en ciertas zonas de la parcela con respecto al resto de puntos considerados en el muestreo, es decir los centros de agregación son aleatorios dentro de la zona de infestación de la parcela, estos puntos de agregación presentan un crecimiento rápido cerca del origen pero conforme se van alejando va decreciendo como resultado de la desimanación del ácaro a través del viento lo que origina infestaciones en zonas específicas, Ramírez y Esquivel (2012), en su trabajo de modelación espacial de gusano soldado (*mythimna unipuncta*) en de maíz, con respecto a la distribución espacial en los muestreos ajustados al modelo esférico, indican que existen zonas donde se manifiesta más la plaga de gusano soldado. Lo anterior significa que los centros de agregación de la plaga son aleatorios dentro de la zona de infestación de la parcela, posiblemente como resultado del tipo de diseminación que se da a través de un crecimiento rápido cercano al origen, lo cual origina infestaciones en zonas específicas. Los incrementos marginales van decreciendo, esto debido a las condiciones de temperatura y fenología del cultivo de maíz. Acosta-Guadarrama *et al.* (2017), en su trabajo distribución espacial de trips y su control mediante el depredador *Amblyseius swirskii* en aguacate, en el cual evalúa la efectividad del depredador sobre las poblaciones de trips, señala que el modelo esférico es el que más se ajustó en los muestreos que realizó, indicando que las agregaciones de los insectos se presentan en ciertas zonas de la parcela respecto a los demás puntos. Los modelos que se ajustaron los muestreos (Esférico y Gaussiano), son indicativo que *O. punicae*, no presenta un comportamiento espacial establecido, debido a que los factores climáticos como: temperatura,

humedad, exposición del sol, entre otros factores, inciden en la distribución espacial de este ácaro, por ello el presente estudio es de gran interés, debido a que nos permite conocer los patrones de movimiento y permanencia en puntos específicos con los cuales se pueden realizar programas de manejo de tipo preventivo, en los centros de agregación y con ello mantener niveles de infestación bajos teniendo ahorros económicos.

La dependencia espacial que tiene *O. punicae* es alta debido a que al dividir el valor del efecto pepita entre el valor de la meseta fue menor al 25 % para todos los semivariogramas. Los valores del efecto pepita indicaron una alta dependencia espacial, lo cual permite su poner que las poblaciones de *O. punicae* dependen entre si y su nivel de agregación es alta (Rossi *et al.* 1992).

En los mapas de densidad obtenidos con la técnica de Krigado, se puede apreciar los centros de agregación de las poblaciones de *O. punicae*, con ellos podemos identificar de manera visualizar las áreas libres y con presencia del ácaro, con lo cual podemos deducir que *O. punicae* no invade el 100 % de las parcelas muestreadas. Esto también fue apreciado por Ramírez y Figueroa (2013), quienes modelizaron la distribución espacial de los estadios de huevos, ninfas y adultos de *Bactericera cockerelli* en papa, utilizando herramientas geoestadísticas que permitieron visualizar su distribución espacial a través de mapas por medio de krigado con los cuales observaron que el insecto no invade el 100 % de la superficie de la parcela, permitiendo identificar áreas infestadas y libres de infestación. Por otro lado Rivera-Martínez *et al.* (2017) indica que los mapas que generaron con los muestreos realizados a la modelización espacial de trips en el cultivo del aguacate, les permite identificar las áreas de infestación, encontrando que el trips se distribuye en el 100 % de la parcela, resultados similares encontraron Paz y Arrieche (2017), quienes investigaron mediante el uso de la geoestadística, la distribución geoespacial y densidad poblacional de *Thrips tabaci* en la producción de cebolla, encontrando que este insecto se encuentra presente en toda la parcela de estudio, aunque en niveles no significativos (población inferiores a diez individuos promedio por planta), siendo estas zonas donde no se

deberían realizar aplicaciones de insecticida por encontrarse niveles de población muy bajas, concluyendo que hay áreas donde se debería aplicar el control de forma focalizada en función de la densidad poblacional muestreada.

Los valores obtenidos con los índices de SADIE, para el caso del índice *Ia* fue significativamente mayor a uno en los diferentes muestreos, estos resultados nos permite inferir que *O. punicae* se encuentra distribuida de manera agregada. Para el caso del índice *Ja*, se obtuvieron resultados similares debido a que fue significativamente superior a uno, esto nos indica que la distribución espacial de *O. punicae* se encuentra dispuesta en toda la superficie concentrada en diferentes centros de agregación. Lo anterior se ve reflejado en los mapas obtenidos corroborando lo señalado por los índices *Ia* y *Ja* (Figura 1 y 2). La estabilidad temporal en la distribución espacial con SADIE, ha sido reportado en otros trabajos como el de Thomas *et al.* (2001), en el cual trabajo con la agregación y estabilidad temporal de la distribución de escarabajos carábidos en hábitats de campo, Esquivel y Jasso (2014), con la distribución espacial y mapeo de gusano soldado *Mythimna unipuncta* en el cultivo de maíz y Maldonado-Zamora *et al.* (2017) en la distribución de Trips en el cultivo de aguacate.

Conclusiones

La distribución espacial de *O. punicae*, en el cultivo de aguacate se logró determinar con los semivariogramas teóricos, en los cuales se puede interpretar que el comportamiento espacial de esta ácaro se encuentra en agregados en las parcelas, lo cual se corrobora con los índices de SADIE, debido a que en estos *O. punicae* presenta un patrón espacial en agregados con las poblaciones distribuidas en varios centros de agregación, esto se puede visualizar en los mapas de densidad generados con el Krigeado.

Con los mapas se puede generar programas de manejo, debido a que constituyen una herramienta útil para dirigir las medidas de control hacia zonas específicas y con ello optimizar recursos económicos y una reducción en el impacto ambiental por el uso de agroquímicos, además permite realizar acciones de tipo preventivo con las cuales se puede tener niveles de infestaciones bajas, por último si se hace un balance del ahorro económico y el impacto al ambiente, podríamos decir que este tipo de trabajos son importantes debido a que la agricultura tradicional no toma en cuenta las variables espacio-temporal.

Agradecimientos

Se agradece el apoyo al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por la beca otorgada para la realización de estudios de Doctorado, a la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México, así como a los productores de Aguacate de los municipios de Tenancingo y Temascaltepec, por todas las facilidades brindadas.

Literatura citada

- ACOSTA-GUADARRAMA, A. D.; RAMÍREZ-DÁVILA, J. F.; RIVERA-MARTÍNEZ, R.; FIGUEROA-FIGUEROA, D. K.; LARA-DÍAZ, A. V.; MALDONADO-ZAMORA, F. I.; TAPIA-RODRÍGUEZ, A. 2017. Distribución Espacial de *Trips* spp. (Thysanoptera) y Evaluación de su Control Mediante el Depredador *Amblyseius swirskii* en el Cultivo de Aguacate en México. Southwest. Entomol. 42(2):435-446.
- CERNA, E.; BADII, M.; OCHOA, Y.; AGUIRRE, L.; LANDEROS, U. 2009. Tabla de vida de *Oligonychus punicae* Hirst (Acari: Tetranychide) en hojas de aguacate (*Persea americana* Mill) variedad Hass, Fuerte y Criollo. Universidad y Ciencia. 25:133-140.
- CORIA, A.; AYALA, A. 2010 Manejo de ácaros del aguacate en México SAGARPA. Folleto Técnico Núm. 20. Uruapan Michoacán, México. p. 19.

- ENGLUD, E.; SPARKS, A. 1988. GEO-EAS (Geostatistical Environmental Assessment Software) User's Guide. U.S. Environmental Protection Agency document EPA/600/4-88/033. Environmental Monitoring Systems Laboratory, Las Vegas, NV. p. 130.
- EQUIHUA-MARTÍNEZ, A.; ESTRADA-VENEGAS, E.; CHAIRES-GRIJLAVA, M.; ACUÑA-SOTO J. A. 2016. Comportamiento de *Araptus schwartzi* blackman (coleoptera: curculionidae: scolytinae) en semillas de aguacate (Hass) en diferentes estados de madurez. Folia Entomológica Mexicana (nueva serie). 2(2):33-38.
- ESQUIVEL, V.; JASSO, Y. 2014. Distribución espacial y mapeo de gusano soldado en seis localidades del Estado de México, en el año 2011. Rev Mex De Cienc Agric. 5:923-935.
- GALLARDO, A. 2006. Geoestadística. Ecosistemas.15: 48-58.
- GONZÁLEZ-OLMOS, E. 2012. Estudio Geoestadístico de la distribución espacial de adultos de araña roja (*Oligonychus punicae* Hirst) y su daño sobre el cultivo de aguacate (*Persea americana* Mill.) en la zona oriente del Estado de Michoacán, México (tesis profesional). México, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma del Estado de México; 117 p.
- HEVESI, J.; ISTOK, J.; FLINT, A. 1992. Precipitation estimation in mountainous terrain using multivariate geostatistics, part I, structural analysis. J. Appl. Meteorol.31:661-676.
- ISAAKS, E.; SRIVASTAVA, M. 1989An introduction to applied geostatistics. 1° ed. Oxford Univ. Press. New York, USA. p. 35-38.
- JIMÉNEZ, R.; RAMÍREZ, J. F.; SÁNCHEZ, J.; SALGADO, M.; LAGUNA, A. 2014. Modelización espacial de huevos de Thrips (Thysanoptera: Frankliniella occidentalis) en tomate de cáscara por medio de técnicas geoestadísticas. Rev Fac Cienc Agrar. 46: 29-44.

- JOURNEL, A.; HUIJBREGTS, J.; MINING, C. 1978. geostatistics. Second ed. Academic Press. Londres, Reino Unido. p. 600.
- LANDEROS, J.; BALDERAS, J.; MOHAMMAD, H. B.; SÁNCHEZ, V. M.; GUERRERO, E.; FLORES, A. E. 2003. Distribución espacial y fluctuación poblacional de *Phyllocoptruta oleivora* (ashmead) (acari: eriophyidae) en cítricos de güemez, Tamaulipas. Acta Zool. Mex.89:129-138.
- LEMUS-SORIANO, B.; PÉREZ-AGUILAR, D. 2016. Control químico del ácaro café del aguacate *Oligonychus punicae*. Entomología mexicana. 3:349-353.
- LIEBHOLD, A.; SHAROV, A. 1998. Testing for correlation in the presence of spatial autocorrelation in insect count data. in: Population and community Ecology for insect management and conservation (J. Baumgartner, P. Brandmayr y B. F. J. Manly eds.) Balkema, Rotterdam. p, 1-17,
- LÓPEZ-GRANADO, S. 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.
- LÓPEZ-LÓPEZ, O.V.; CERNA-CHÁVEZ, E.; FLORES-CANALES, R.; GEVARA-ACEVEDO, L. P.; LANDEROS-FLORES, J. 2011. Distribución Espacial y Efecto de densidades de Población de *Tetranychus urticae* Koch en el rendimiento de Maíz Forrajero. Revista Agraria. 8(1): 18-23.
- MALDONADO, F. I.; RAMÍREZ, J. F.; RUBÍ, M.; XANAT, N.; LARA, V. 2016. Distribución espacial de trips en aguacate en Coatepec Harinas, Estado de México. Rev Mex De Cienc Agric7: 845-856.

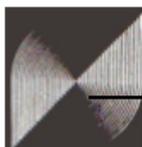
- MALDONADO-ZAMORA, F. I.; RAMÍREZ-DÁVILA, J.F.; LARA-DÍAZ, A.V.; RIVERA-MARTÍNEZ, R.; ACOSTA-GUADARRAMA, A. D.; FIGUEROA-FIGUEROA, D. K.; RUBÍ-ARRIAGA, M.; TAPIA-RODRÍGUEZ, A. 2017. Estabilidad Espacial y Temporal de la Distribución de Trips 1 en el Cultivo de Aguacate en el Estado de México. *Southwest Entomol.* 42(2):446-462.
- MORLANS, M.C. 2004. Introducción a la ecología de poblaciones. Editorial Científica Universitaria - Universidad Nacional de Catamarca 16p.
- OLIVER, M.; WEBSTER, R. 1991. How geostatistics can help you. *Soil Use Manag.* 7: 206-217.
- OSORIO-ALMAZA, N. L.; BURBANO-FIGUEROA, O.; ARCILLA, A. M.; VÁZQUEZ, A. M.; CARRASCAL-PÉREZ, F.; ROMERO, J. 2017. Distribución espacial del riesgo potencial de marchitamiento del aguacate causado por *Phytophthora cinnamomi* en la subregión de Montes de María, Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Horticola.* 11(2): 273-285.
- PAZ, R.; ARRIECHE, N. 2017. Distribución espacial de *Thrips tabaci* (Lindeman) 1888 (thysanoptera: thripidae) en Quibor, Estado Lara, Venezuela. *Bioagro* 29:123-128.
- PERRY, J.; BELL, E.; SMITH, R.; WOIWOD, I. 1996. SADIE Software to measure and model spatial pattern. *Asp Appl Biol.* 46: 95-102.
- PERRY, J. 1998. Measures of Spatial Pattern for Counts. *Ecology.*79(3):1008-1017.
- PERRY, J. 1995. Spatial Analysis by distance indices. *J Anim Ecol.* 64(3): 303-314.
- QUERO, J. L. 2006. SADIE como herramienta de cuantificación de la heterogeneidad espacial: casos prácticos en el Parque Nacional de Sierra Nevada (Granada, España). *Ecosistemas.* 15:40-47.

- RAMÍREZ, J.F.; ESQUIVEL, V. 2012. Modelación espacial de gusano soldado (*Mythimna unipuncta*) en el cultivar del maíz, en tres municipios del Estado de México, Boletín del Museo de Entomología en el 2008. 13(1):1-15.
- RAMÍREZ, J.F.; PORCAYO, E. 2009. Comportamiento espacial de larvas del mosquito verde *Jacobiasca lybica*, en un viñedo de secano en Andalucía, España. *Ciencia ergo sum*. 16: 164-170.
- RAMÍREZ, J. F.; FIGUEROA, D. K. 2013. Modelización y mapeo de la distribución espacial de *Bactericera cockerelli* Sulc (Hemiptera: Triozidae) en papa en el Estado de México. *Centro Agrícola*.40(3):57-70.
- RAMÍREZ, J.F.; SOLARES, V.; FIGUERO, A. K.; SÁNCHEZ, J. 2013a. Comportamiento especial de Trips (Insecta: Thysanoptera), en plantaciones comerciales de aguacate (*Persea americana* Mill.) en Zitácuaro, Michoacán, México. *Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)*. 29:545-562.
- RAMÍREZ, J. F.; PORCAYO, E.; SÁNCHEZ, J. R. 2013b. Modelización de la distribución espacial de *Bactericera cockerelli* Sulc. (Hemiptera: Triozidae) en *Solanum tuberosum* L. (Solanales: Solanaceae). *Rev Fac Cienc Agrar*. 45: 13-27.
- REYES, J.; RUBÍ, M.; SALGADO, M. 1993. Dinámica población de araña roja (*Oligonychus punicae* Hirst) en 16 selecciones de aguacate. Fundación Salvador Sánchez Colín CICTAMEX, S.C. p. 213-223.
- RIVERA-MARTÍNEZ, R.; RAMÍREZ-DÁVILA, J. F.; RUBÍ-ARRIAGA, M. DOMINGUEZ-LÓPEZ, A.; ACOSTA-GUADARRAMA, A. D.; FIGUEROA-FIGUEROA, D. K. 2017. Modelización espacial de trips (Insecta:Thysanoptera) en el cultivo del Aguacate (*Persea americana*). *Revista Colombiana de Entomología*. 43(2):131-140.

- ROSSI, R.; MULLA, J.; JOURNEL, G.; FRANZ H. 1992. Geostatistical tools for modeling and interpreting ecological spatial dependence. *Ecol Monogr.* 62:277-314.
- SAMPER, F.; CARRERA, J. 1996. *Geoestadística: aplicaciones a la hidrología subterránea.* 2ª Ed. p. 180.
- SÁNCHEZ, P.; RAMÍREZ, J. F.; GONZÁLEZ, A.; DE LEÓN, C. 2011. Spatial distribution of head smut (*Sporisorium reilianum*) of corn in Mexico. *Cienc. Investig. Agrar.* 38: 5-14.
- SIAP, 2017. Anuario estadístico de la producción agrícola (Aguacate). En línea: http://infosiap.siap.gob.mx/aaagricola_siap_gb/icultivo/index.jsp. Consulta en 2 de octubre 2017.
- THOMAS, C. F.G.; PARKINSON, L.; GRIFFITHS, G. J. K.; FERNANDEZ, A.; MARSHALL, E. J. P. 2001. Aggregation and temporal stability of carabid beetle distributions in field and hedgerow habitats. *J Appl Ecol.* 38:100-116.

7.3 Capítulo 3

Resultado del análisis de información proveniente de los muestreos a dos municipios del Estado de Mexico “Coatepec Harinas y Donato Guerra”, correspondiente al período de octubre 2017 a mayo 2018, se envió para sometimiento a la revista *Agricultura Sociedad y Desarrollo*.



CARTA RECEPCIÓN

Fidel Lara Vázquez

Le comunico haber recibido su contribución para iniciar el proceso en la revista Agricultura, Sociedad y Desarrollo (ASyD). Al artículo se la asigno la clave ASD-19-022

Título: “**DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL DAÑO POR ARAÑA ROJA *Oligonychus punicae*** (Acari: Tetranychidae) **EN AGUACATE; ESTADO DE MÉXICO**”

Autores: Fidel Lara-Vázquez, José Francisco Ramírez-Dávila, Agustín David Acosta-Guadarrama, Roberto Rivera-Martínez, Dulce Karen Figueroa-Figueroa, Delfina De Jesús Pérez López

Su contribución ha sido formalmente recibida. Copias de la misma serán enviadas a dos árbitros y a un editor, quienes evaluarán su contenido. Oportunamente se le comunicará los dictámenes respectivos.

El Director de ASyD

Dr. Benito Ramírez Valverde



**DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL DAÑO POR ARAÑA ROJA *Oligonychus punicae*
(Acari: Tetranychidae) EN AGUACATE; ESTADO DE MÉXICO**

**SPACE DISTRIBUTION OF DAMAGE BY RED SPIDER MITE *Oligonychus punicae*
(Acari: Tetranychidae) IN AVOCADO; MEXICO STATE**

FIDEL LARA-VÁZQUEZ^{3§}, JOSÉ FRANCISCO RAMÍREZ-DÁVILA^{4*}, AGUSTÍN DAVID ACOSTA-GUADARRAMA¹, ROBERTO RIVERA-MARTÍNEZ¹, DULCE KAREN FIGUEROA-FIGUEROA¹, DELFINA DE JESÚS PÉREZ LÓPEZ²

Resumen

El aguacate (*Persea americana* Mill.) es un cultivo susceptible a diferentes plagas, entre las que se destaca el ácaro conocido como araña roja (*Oligonychus punicae* Hirst); es de la plagas más comunes en cualquier plantación aguacatera, más aún, si se descuidan las plantaciones se presentan infestaciones tan severas que pueden llegar a secar el follaje o manchar los frutos. Las alternativas de control han carecido de eficacia debido a que se desconoce la distribución espacial del daño que provoca este ácaro en las huertas de aguacate. El presente trabajo tuvo por objetivo determinar la distribución espacial del daño en el cultivo de aguacate, variedad hass provocado por las poblaciones de araña roja, en dos localidades del Estado de México. Dicho comportamiento espacial permitirá focalizar las alternativas de control haciéndolas estas más eficientes. El comportamiento espacial se identificó a través de las técnicas de estadística espacial índice de SADIE. Permitió determinar el daño en aguacate provocado por (*Oligonychus p.*), el cual tuvo una distribución agregada, en varios centros de agregación, observándose en los mapas elaborados. Se determinó que el grado de daño no alcanza el 100% de las parcelas, lo cual resulta interesante para dirigir medidas de control sobre áreas específicas.

³ Estudiante del Programa de Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales. Universidad Autónoma del Estado de México, UAEM. Toluca, México C.P. 50200. §fidel.lara@hotmail.com.

⁴ Programa de Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales; Facultad de Ciencias Agrícolas, UAEM. Cerrillo Piedras Blancas s/n km 15 Carr. Toluca - Ixtlahuaca, C.P. 50200; Toluca, México.

* Autor para correspondencia / Corresponding autor: jframirez@uaemex.mx.

Palabras clave: Ácaros, Mapas de densidad, SADIE.

Abstract:

Avocado (*Persea americana* Mill.) Is a crop susceptible to different pests, among which stands out the mite known as red spider mite (*Oligonychus punicae* Hirst); It is one of the most common pests in any avocado plantation, moreover, if the plantations are neglected, infestations are so severe that they can dry up the foliage or stain the fruits. The control alternatives have lacked efficacy because the spatial distribution of the damage caused by this mite in the avocado orchards is unknown. The objective of this work was to determine the spatial distribution of damage in avocado cultivation, variety hass caused by red spider mite populations, in two locations in the State of Mexico. Said spatial behavior will allow to focus the control alternatives making them more efficient. Spatial behavior was identified through SADIE's spatial statistics techniques. It allowed to determine the damage in avocado caused by (*Oligonychus p.*), Which had an aggregate distribution, in several aggregation centers, observed in the elaborated maps. It was determined that the degree of damage does not reach 100% of the plots, which is interesting to direct control measures on specific areas.

Key words: Mites, density maps, SADIE.

Introducción

El aguacate (*Persea americana* Mill) ha adquirido una gran importancia en el mercado nacional e internacional dejando de ser una fruta exótica para incorporarse a la dieta de muchos países, generando empleos al demandar mano de obra en: riegos, cuidado nutritivo y fitosanitario, cosecha, movilización, empaque, selección, transporte, mercado, entre otros (Guzmán, 2012). A nivel mundial los principales productores de aguacate, produjeron 3.5 millones de toneladas. México es el principal productor ya que aporta poco más del 30% de la producción mundial, Chile es el segundo país productor aportando el 9% de la producción mundial. En el 2014 México, obtuvo una producción de 1,520,694.50 ton., con un valor en la producción de 20,715,986,300 pesos. La producción nacional de Aguacate al mes de enero de 2019, fue de 205 mil 440 toneladas, con una superficie total cosechada de 149 185 hectáreas, siendo Michoacán el líder productor con 167 mil 745

hectáreas, Jalisco es el segundo productor en importancia, aunque con una aportación mucho menor respecto de Michoacán apenas con 8 157 toneladas que equivalen a 4.0% de la producción total (Bouriga-Valdivia et al., 2016; SIAP, 2019).

Este cultivo presenta plagas y enfermedades entre las que se tiene al ácaro *Oligonychus punicae* (Hirst) (Acari: Tetranychidae), este ácaro conocido como araña roja inicia su daño con puntos rojizos que se distribuyen e incrementan por toda la hoja hasta llegar a ocasionar un bronceado total, es una plaga de importancia significativa ya que el daño puede causar el 30 % de reducción de la actividad fotosintética y las hojas afectadas puedan caer después de soportar 45 a 60 días de infestación. Cuando se descuidan las huertas, la plaga puede atacar retoños, flores, el envés de las hojas y frutos en formación; se le puede encontrar durante todo el año, pero con mayor incidencia en los meses secos y calurosos del año (Cerna et al., 2009; Coria y Ayala, 2010; Lemus-Soriano et al., 2016; Bouriga-Valdivia et al., 2016).

Por lo anterior es necesario saber cuál es la distribución espacial del daño en hojas de aguacate ocasionado por *O. Pinicae*, en las parcelas de estudio, a través de mapas de distribución espacial, con los cuales se pueden generar programas de manejo, debido a que constituyen una herramienta útil para dirigir las medidas de control y con ello optimizar recursos económicos y una reducción en el impacto ambiental por el uso de agroquímicos, además permite realizar acciones de tipo preventivo con las cuales se puede tener niveles de infestaciones bajas. Por ello el objetivo del presente trabajo fue determinar la distribución espacial del daño en hojas de aguacate ocasionado por *O. Pinicae*, en los municipios de Coatepec Harinas y Donato Guerra, pertenecientes al Estado de México, mediante el uso de técnicas de SADIE, con la visualización en mapas, para establecer los grados de ataque de las hojas, así como detectar zonas que no presentan (Maestre et al., 2003; Ramírez-Dávila et al., 2014).

Capítulo descriptivo y metodológico

El estudio se llevó en a cabo en dos municipios del Estado de México, Coatepec Harinas y Donato Guerra, los cuales se encuentran a 18°54'00"N 99°43'00"O y 19°24'07"N 100°19'13"O a una altitud media 2260 y 2200 msnm respectivamente, en ocho parcelas cuatro por municipio, de dos hectáreas cada una, en las cuales el manejo agronómico es similar. Las parcelas se dividieron en 50 cuadrantes (20 x 20 m), en forma aleatoria se seleccionaron 25 para realizar el muestreo, en cada cuadrante seleccionado se consideraron dos árboles, para un total de 50 árboles por parcela; la edad de los árboles de aguacate variedad Hass fue de ocho años en promedio; cada árbol se georeferenció utilizando un GPSmap60 de la marca Garmin para obtener sus coordenadas (Maldonado *et al.*, 2016).

Los muestreos se realizaron en forma mensual a partir del mes octubre 2017 a mayo 2018. Se seleccionaron 60 hojas por árbol, tomando quince hojas divididas en tres estratos (inferior, medio y superior), por cada punto cardinal del árbol (Norte, Este, Oeste y Sur), determinando el daño ocasionado por la araña roja en cada una de ellas, utilizando la siguiente escala: Nivel 0: 0% de daño, las hojas no presentan ningún nivel de daño, nivel 1: 1-20% de daño, las hojas se encuentran levemente dañadas por la plaga, nivel 2: 21-35% de daño, las hojas presentan un daño más notable, nivel 3: 36-59% de daño, las hojas presentan un daño medio, normalmente cubren el 50% de la hoja, nivel 4: 60-100% de daño, las hojas se encuentran gravemente dañadas (Reyes-Alemán *et al.*, 1993; González-Olmos, 2012)

SADIE. (Spatial Analysis by Distance Indices). La base teórica de este tipo de análisis consiste en la evaluación de objetos o entidades, sobre la base de conocimiento de su situación en el espacio, siendo una metodología de la estadística espacial, la cual identifica un 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. Es un índice biológicamente más descriptivo e informativo de la distribución espacial de las poblaciones de insectos que el índice de dispersión (cociente media varianza) y el Índice

de Green, los cuales dependen directamente de la abundancia de la población (Perry *et al.* 1996; Quero, 2006). Perry (1995) indicó que para datos recolectados en ubicaciones específicas el uso de la distancia para la regularidad es muy adecuado y demostró cómo distinguir no aleatoriedad en la forma de heterogeneidad estadística, de la no aleatoriedad espacial, desarrolló y extendió el uso del índice de la distancia para la regularidad (I_a) para el establecimiento de la estructura espacial de las poblaciones de insectos. Además, introdujo dos diagramas de diagnóstico como ayuda a la interpretación y un índice nuevo para estimar el número de focos de agrupamiento de una población, el índice J_a .

En el presente trabajo se utilizó el índice basado en la distancia para la regularidad I_a y el índice J_a , en la distancia del agrupamiento (Perry, 1995). Una muestra es agregada si $I_a > 1$, la muestra es espacialmente aleatoria si $I_a = 1$, y la muestra es regular si $I_a < 1$. 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. 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). El programa utilizado en este trabajo para determinar los valores y las probabilidades de ambos índices fue el SADIE 1.22 (Perry *et al.*, 1996).

Elaboración de mapas: Se realizará la interpolación de valores a través del krigado que permite la estimación no sesgada de valores asociados a puntos que no fueron muestreados, para ello se utilizó el programa Surfer 9 (Surface Mapping System, Golden Software Inc. 809, 14th Street. Golden, Colorado 80401-1866. USA). Las estimaciones obtenidas serán representadas en forma de mapa para cada muestreo por plaga y daño mediante el uso del programa Surfer 9. Con los mapas obtenidos se calculará la superficie infestada (Ramirez-Davila *et al.*, 2011; Sánchez-Pale *et al.*, 2011).

Resultados y Discusión

Los datos obtenidos con la aplicación de los índices de SADIE (Tabla 1), permitieron conocer los distintos valores de los índices (I_a y J_a). Para el caso del índice I_a el valor más bajo que se registró en el municipio de Coatepec Harinas, correspondió a la parcela uno en el mes de abril (1.26); para el caso del municipio de Donato Guerra el valor más bajo que se registró, correspondió a la parcela ocho en el mes de enero (1.29). Los valores más altos se registraron en la parcela tres del mes de abril (1.78) y la parcela cinco del mes de abril (1.78), de los municipios Coatepec Harinas y Donato Guerra respectivamente. Cabe señalar que en todos los casos el índice I_a fue significativamente superior a uno, lo cual nos indica que la distribución espacial del daño a las hojas causado por el ácaro (*O. punicae*), se da de manera agregada en las diferentes parcelas de estudio (Perry, 1998). Los resultados de los datos procesados que se obtuvieron para el índice I_a se observan en la tabla 1.

Para el caso del índice J_a , el valor más bajo que se registró en el municipio de Coatepec Harinas, correspondió a la parcela uno, en el mes de diciembre (1.06) y el valor más alto en la parcela tres, en el mes de febrero (1.24); para el municipio de Donato Guerra, el valor más bajo se registró en la parcela siete en el mes diciembre (1.05) y el valor más alto en la parcela cinco, en el mes de octubre (1.24), tal y como se detalla en la tabla 1. Para el presente estudio el índice J_a también registró valores por encima de la unidad, lo que permite corroborar la agregación hallada con el índice I_a . El hecho de que los valores del índice J_a en todos los casos sea significativamente mayor a uno, nos está indicando que la distribución del daño a las hojas de aguacate ocasionado por *Oligonychus p.*, se presentan en las parcelas de estudio en varios centros de agregación (Ramírez y Porcayo, 2009). El índice J_a también indica si la estructura espacial agregada se encuentra dispuesta en uno o varios centros de agregación (Quero, 2006). En nuestro estudio, basándonos en el índice J_a encontramos la existencia de varios centros de agregación.

Tabla 1. Valor de los Índices I_a y J_a y sus Respectivas Probabilidades P_a y Q_a , en el daño causado por el ácaro (*Oligonychus punicae* Hirst), en los Municipios Coatepec Harinas (Parcela 1, 2, 3, y 4) y Donato Guerra (Parcela 5, 6, 7, y 8)

Table 1. Value of the I_a and J_a Indices and their Respective Probabilities P_a and Q_a , in the damage caused by the mite (*Oligonychus punicae* Hirst), in the Coatepec Harinas Municipalities (Plots 1, 2, 3, and 4) and Donato Guerra (Plots 5, 6, 7, and 8)

No.	Fecha	varianza	Densidad Promedio	Mín	Máx	I_a	P_a	J_a	Q_a
1	Octubre 2016	.015	1.37	1.1	1.56	1.27	0.017s	1.11	0.137ns
	Noviembre 2016	.027	1.60	1.2	1.95	1.45	0.009s	1.20	0.211ns
	Diciembre 2016	.021	1.38	1.0	1.72	1.36	0.014s	1.06	0.238ns
	Enero 2017	.044	1.02	0.5	1.58	1.58	0.006s	1.15	0.267ns
	Febrero 2017	.047	1.26	.68	1.8	1.42	0.015s	1.18	0.149ns
	Marzo 2017	.064	1.67	.97	2.13	1.66	0.008s	1.23	0.249ns
	Abril 2017	.063	2.14	1.53	2.67	1.26	0.002s	1.20	0.195ns
	Mayo 2017	.062	2.44	1.77	2.96	1.53	0.004s	1.09	0.230ns
2	Octubre 2016	.037	1.11	.80	1.42	1.64	0.005s	1.16	0.161ns
	Noviembre 2016	.042	1.30	.94	1.6	1.32	0.012s	1.17	0.280ns
	Diciembre 2016	.045	1.45	1.09	1.8	1.57	0.003s	1.13	0.257ns
	Enero 2017	.054	1.18	1.92	.79	1.48	0.010s	1.22	0.182ns
	Febrero 2017	.063	1.53	1.17	2.33	1.71	0.013s	1.08	0.296ns
	Marzo 2017	.065	1.86	2.33	1.47	1.69	0.011s	1.11	0.289ns
	Abril 2017	.085	2.21	1.68	2.97	1.28	0.016s	1.15	0.223ns
	Mayo 2017	.082	2.4	1.93	2.97	1.39	0.006s	1.19	0.139ns
3	Octubre 2016	.010	1.63	1.42	1.85	1.73	0.003s	1.07	0.185ns
	Noviembre 2016	.016	1.75	1.47	2.03	1.31	0.012s	1.12	0.290ns
	Diciembre 2016	.022	1.22	.97	1.8	1.75	0.013s	1.21	0.201ns
	Enero 2017	.056	0.88	0.50	1.45	1.51	.015s	1.15	0.172ns
	Febrero 2017	.064	1.14	0.65	1.73	1.62	0.010s	1.24	0.150ns
	Marzo 2017	.073	1.62	1.12	2.21	1.70	0.009s	1.11	0.273ns
	Abril 2017	.090	2.17	1.63	2.85	1.78	0.007s	1.21	0.179ns
	Mayo 2017	.103	2.50	1.73	2.97	1.68	0.011s	1.09	0.244ns
4	Octubre 2016	.024	1.08	.80	1.32	1.47	0.004s	1.16	0.144ns
	Noviembre 2016	.013	1.73	1.47	2.0	1.35	0.014s	1.10	0.293ns
	Diciembre 2016	.043	1.31	1.03	1.8	1.40	0.004s	1.13	0.188ns
	Enero 2017	.054	1.12	0.75	1.72	1.55	0.011s	1.22	0.252ns
	Febrero 2017	.073	1.43	1.00	2.22	1.29	0.011s	1.07	0.262ns
	Marzo 2017	.080	1.85	1.33	2.57	1.49	0.007s	1.14	0.283ns
	Abril 2017	.087	2.18	1.5	2.63	1.44	0.005s	1.17	0.225ns
	Mayo 2017	.097	2.35	1.73	2.98	1.38	0.008s	1.10	0.153ns
5	Octubre 2016	.029	.96	.64	1.29	1.51	0.004s	1.24	0.216ns
	Noviembre 2016	.088	1.17	.70	1.84	1.30	0.008s	1.14	0.292ns
	Diciembre 2016	.064	.72	.41	1.3	1.64	0.011s	1.10	0.183ns
	Enero 2017	.08	.78	.49	1.58	1.59	0.014s	1.16	0.248ns
	Febrero 2017	.10	1.21	.73	2.12	1.32	0.003s	1.07	0.233ns
	Marzo 2017	.097	1.59	.90	2.39	1.71	0.007s	1.13	0.173ns
	Abril 2017	.084	2.07	1.13	2.66	1.78	0.012s	1.20	0.259ns
	Mayo 2017	.078	2.29	1.52	2.87	1.62	0.010s	1.12	0.196ns
6	Octubre 2016	.05	1.3	.92	1.77	1.40	0.002s	1.18	0.273ns
	Noviembre 2016	.075	1.45	.93	1.97	1.37	0.017s	1.11	0.180ns
	Diciembre 2016	.15	1.29	.52	1.85	1.68	0.016s	1.13	0.284ns
	Enero 2017	.09	1.01	.54	1.55	1.46	0.015s	1.09	0.266ns
	Febrero 2017	.108	1.29	0.73	1.97	1.74	0.013	1.19	0.208ns
	Marzo 2017	.099	1.61	.89	2.28	1.35	0.012s	1.17	0.290ns
	Abril 2017	.130	1.91	1.19	2.68	1.49	0.007s	1.11	0.281ns
	Mayo 2017	.128	2.27	1.40	2.94	1.43	0.009s	1.15	0.190ns
7	Octubre 2016	.045	1.2	.98	1.62	1.51	0.010s	1.19	0.295ns

No.	Fecha	varianza	Densidad Promedio	Mín	Máx	I _a	P _a	J _a	Q _a
	Noviembre 2016	.051	1.4	1.05	1.80	1.70	0.004s	1.20	0.270ns
	Diciembre 2016	.048	1.2	.85	1.6	1.56	0.015s	1.05	0.211ns
	Enero 2017	.050	0.81	0.40	1.2	1.50	0.013s	1.08	0.175ns
	Febrero 2017	.080	1.25	0.65	1.83	1.75	0.016s	1.21	0.204ns
	Marzo 2017	.103	2.06	1.39	2.86	1.67	0.010s	1.14	0.225ns
	Abril 2017	.120	2.38	1.69	3.18	1.34	0.005s	1.11	0.292ns
	Mayo 2017	.086	2.68	1.97	3.07	1.73	0.015s	1.18	0.240ns
	Octubre 2016	.012	1.47	1.22	1.65	1.61	0.011s	1.10	0.200ns
	Noviembre 2016	.024	1.67	1.36	2.16	1.41	0.003s	1.07	0.286ns
	Diciembre 2016	.016	1.38	1.07	1.87	1.55	0.009s	1.16	0.251ns
8	Enero 2017	.030	1.58	1.18	2.04	1.29	0.014s	1.06	0.185ns
	Febrero 2017	.031	1.35	1.01	1.78	1.69	0.008s	1.17	0.277ns
	Marzo 2017	.035	1.66	1.22	2.14	1.31	0.012s	1.09	0.227ns
	Abril 2017	.045	2.11	1.60	2.63	1.44	0.006s	1.12	0.177ns
	Mayo 2017	.043	2.20	1.69	2.71	1.38	0.010s	1.07	0.262ns

ns: no significativo al 5%, s: significativo al 5%.

La utilización del SADIE, nos sirvió para establecer el tipo de distribución que guarda este ácaro con respecto al daño que provoca a las hojas de aguacate y comprender un poco más la dinámica espacial que guarda con respecto a los diferentes factores físicos y bióticos que se encuentran en su entorno en los diferentes intervalos de tiempo. SADIE, desde el punto de vista metodológico, es una herramienta geoestadística que nos permite explorar si una variable sigue un patrón espacial determinado, ya sea homogéneo, heterogéneo o aleatoria. La base teórica de este tipo de análisis, consiste en la evaluación de objetos o entidades, sobre la base de conocimiento de su situación en el espacio; teniendo ventaja con la estadística clásica, ya que esta no toma en cuenta la localización espacial de la muestra, además de ser más intuitivos y biológicos que los índices no espaciales (Perry, 1995; Quiero, 2006; Esquivel y Jasso, 2011). Sería interesante en trabajos posteriores analizar el patrón espacial con datos a diferentes escalas y a través de diversos periodos de tiempo, de esta manera se podrían comparar los resultados obtenidos y conocer con mayor detalle la distribución *Oligonychus p.* y las bondades del método, ya que la comprensión de la dinámica espacial de las distribuciones de insectos, ácaros, nematodos, entre otros, en las tierras de cultivo puede proporcionar información sobre sus requisitos ecológicos y su potencial de manejo. La identificación de la escala, la ubicación y la persistencia de las agregaciones de especies es un paso importante hacia la comprensión de los factores que impulsan la distribución de la población (Parkinson *et al.*, 2001; Ramírez y Porcayo, 2009)

Este tipo de metodología se ha utilizado en diferentes estudios, pese a que SADIE fue inicialmente concebido para el análisis espacial en entomología, siendo los insectos el principal objeto de análisis utilizando esta técnica, en los últimos años ha llegado a ser un método bastante popular entre ecólogos pertenecientes a otras disciplinas científicas. Así, se ha empleado con éxito en el análisis espacial de propiedades edáficas (musgos, líquenes), hongos patógenos de plantas, virus, lombrices, ácaros y nematodos. Asimismo, también ha sido utilizado para el análisis espacial de procesos como la mortalidad de plántulas de especies forestales, las interacciones planta-planta, las interacciones depredador presa, las relaciones espacio-temporales entre el patrón espacial y la abundancia de las poblaciones de una especie y los efectos de distintos tratamientos experimentales en la estructura genética de poblaciones de plantas (Maestre y Quero, 2008). Los resultados obtenidos con el índice *Ja* concuerdan con lo observado en cada uno de los mapas, es decir, hay gran cantidad de centros de agregación en cada uno de ellos (Ramírez y Porcayo, 2009).

Elaboración de mapas de densidad; la elaboración de los mapas de estima de la distribución espacial del daño a las hojas causado por el ácaro (*O. punicae*), que se presentan en el presente estudio (Figura 1 y 2), dan prueba del comportamiento del daño en las diferentes parcelas que se trabajaron, ya que se pueden distinguir con claridad de manera visual el comportamiento espacial del daño de este ácaro en las parcelas de aguacate al momento del muestreo. La elaboración de los mapas se realizó con diferentes colores con la intención de identificar el comportamiento espacial del daño; el color rojo indica el mayor porcentaje de daño causado por (*O. punicae*) en cada caso, por el contrario el color blanco indica ausencia del daño, cabe señalar que también se utilizaron los colores naranja y amarillo.

En la Figura 1 se observa la tendencia de distribución del daño en los diferentes muestreos para el municipio de Coatepec Harinas. Para el caso de la parcela uno en los mapas obtenidos de la superficie con daño por (*O. punicae*), se puede apreciar que existe una tendencia similar en los meses de octubre, noviembre y diciembre, ya que la distribución de los centros de agregación o focos de daño se distribuyen en la parte central de la parcela con una tendencia hacia las orillas (izquierdo y Derecho); para los

meses de enero, febrero, marzo y abril los centros de agregación se concentran en la parte central con una tendencia hacia las orillas en los cuatro puntos cardinales por último para el mes de mayo la tendencia de la distribución espacial es más homogénea con una tendencia hacia el lado superior izquierdo. Con respecto al municipio de Donato Guerra (Figura 2), en la parcela dos en los mapas que se elaboraron con los datos obtenidos de los diferentes muestreos, se puede apreciar de manera visual correspondiente a los meses octubre, noviembre, diciembre y enero que la distribución de los centros de agregación o focos del daño se distribuyen en la orilla izquierda y derecha, con una tendencia a la parte izquierda de la parcela, teniendo un comportamiento similar en los cuatro meses; en los meses febrero y marzo, el comportamiento espacial del daño se sitúa en la parte izquierda, por último en los meses de abril y mayo la tendencia cambia hacia el otro lado de la parcela con una tendencia hacia la parte superior teniendo un comportamiento espacial similar en los dos meses.

Las bases de la agricultura de precisión es determinar las áreas con necesidad de manejo. Para ello es importante conocer las áreas dañadas y el porcentaje que representan del total de la superficie. Las características de los cultivos varían en el espacio y en el tiempo. La agricultura de precisión es un conjunto de técnicas orientado a optimizar el uso de los insumos agrícolas en función de la cuantificación de la variabilidad espacial y temporal de la producción agrícola. Esta optimización se logra con la distribución de la cantidad correcta de esos insumos, dependiendo del potencial y de la necesidad de cada punto de las áreas de manejo. Es crucial para dilucidar la densidad de la población, el tipo y el daño actual y potencial antes de elegir e implementar una práctica de manejo factible. El conocimiento de la distribución espacial, la ecología y la genética de cualquier población de patógenos puede aumentar nuestra comprensión de la dinámica de las especies y acelerar el manejo de las poblaciones de patógenos en el campo al mejorar las estrategias de despliegue de resistencia de cultivos (Bongiovanni *et al.*, 2006; Kabir *et al.*, 2018).

Algunos ejemplos estudiados del control natural de ácaros es el del Patrón de distribución espacial y fluctuación poblacional de *Eutetranychus banksi* y su depredador *Euseius mesembrinus* en una huerta de naranjos. Este ácaro constituye uno

de los problemas fitosanitarios de mayor relevancia en el cultivo de los cítricos, que se ha incrementado por el uso irracional de los agroquímicos, de tal manera que en algunas áreas frutícolas se ha convertido en una plaga clave. Este ácaro se alimenta principalmente del follaje, causando amarillamiento, defoliación y pérdida general del vigor del árbol, lo que provoca mermas en la producción. Dentro de los agentes de control biológico se encuentran los ácaros depredadores, *E. mesembrinus*, el cual es una de las especies más frecuentemente encontrada en cítricos

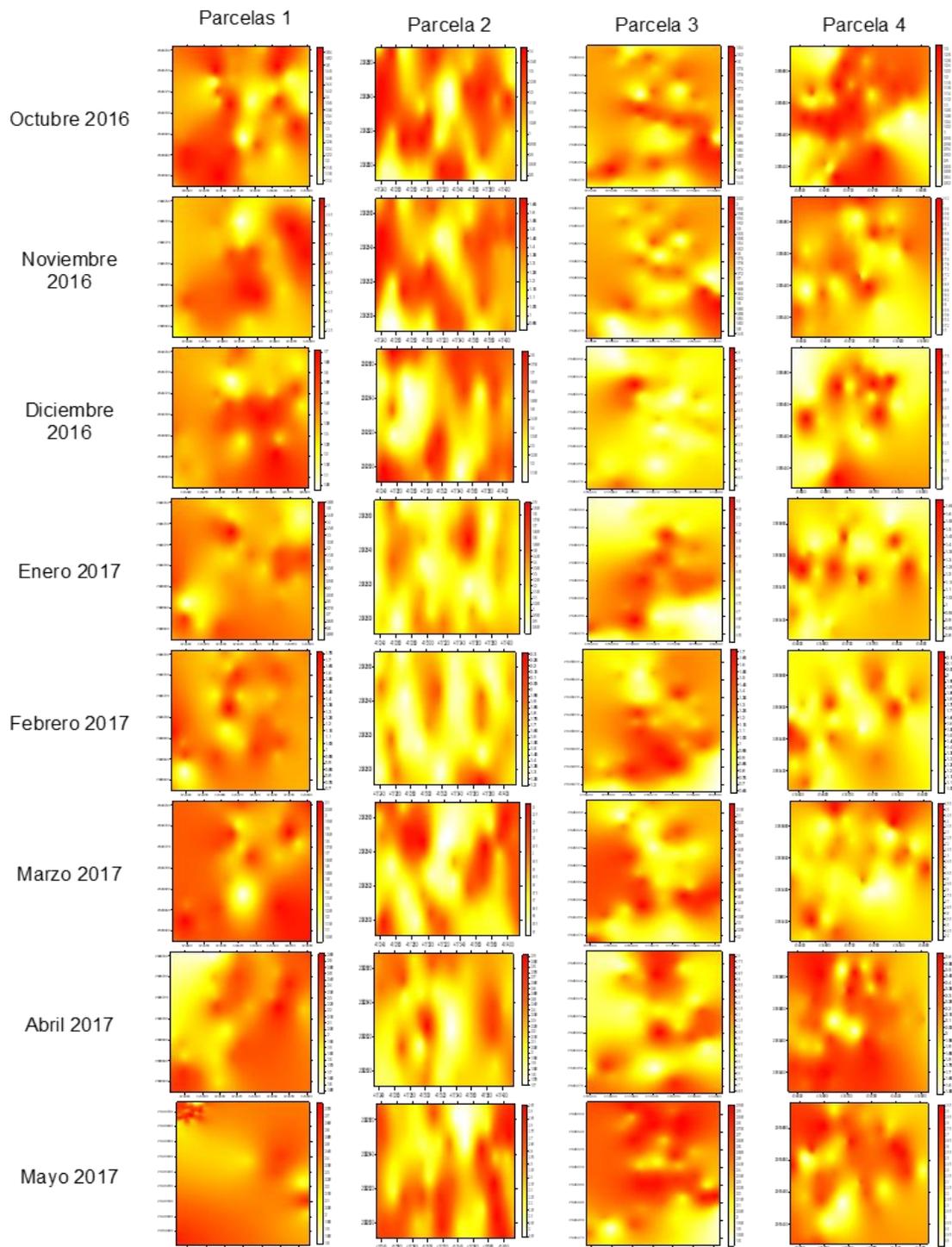


Fig. 1. Mapas de daño de *Oligonychus punicae* Hirst, en el cultivo del aguacate, por fecha de muestreo en parcelas del Municipio Coatepec Harinas.

Fig. 1. Damage maps of *Oligonychus punicae* Hirst, in avocado cultivation, by date of sampling in plots of the Municipality of Coatepec Harinas.

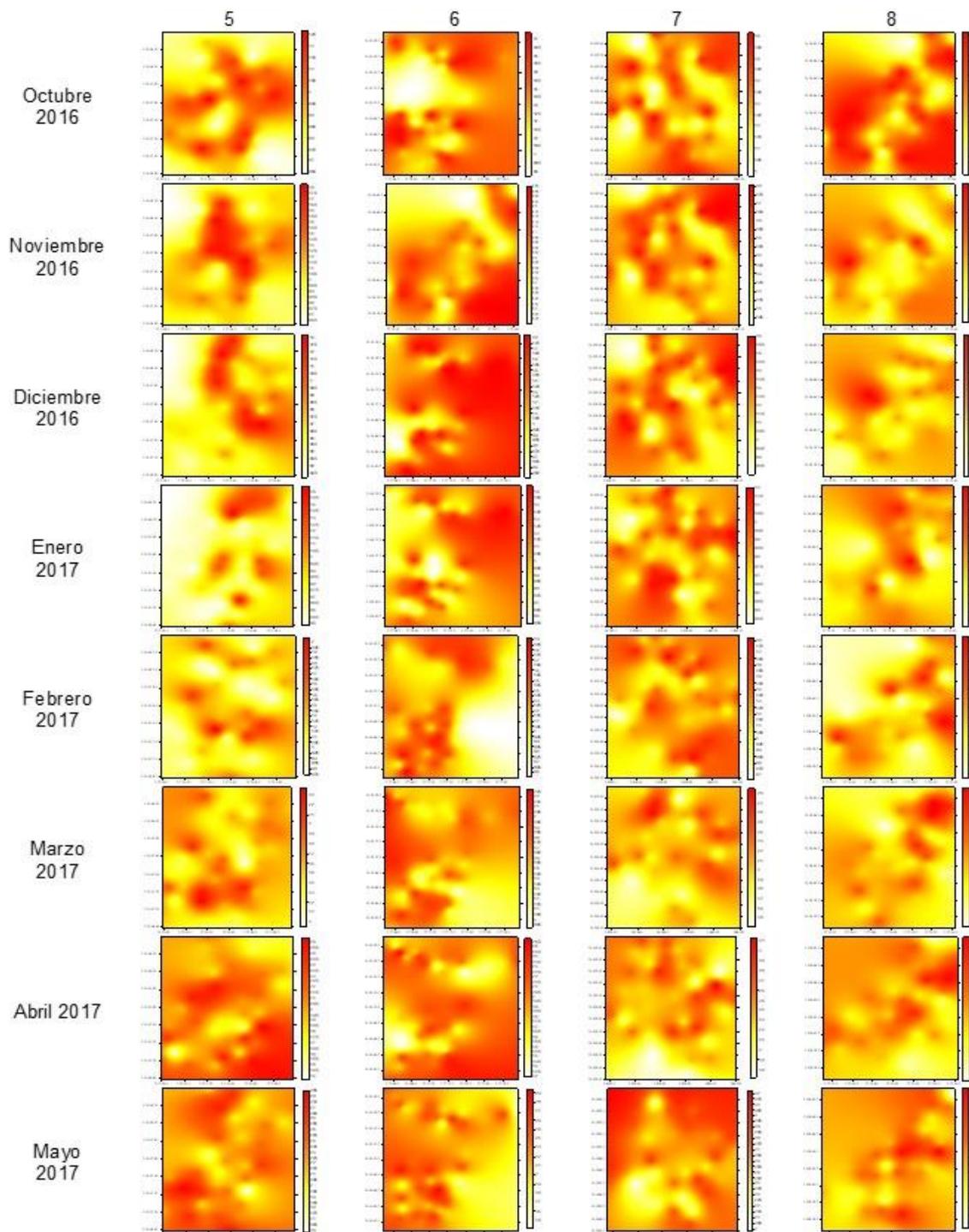


Fig. 2. Mapas de daño de *Oligonychus punicae* Hirst, en el cultivo del aguacate, por fecha de muestreo en parcelas del Municipio Donato Guerra.

Fig. 1. Damage maps of *Oligonychus punicae* Hirst, in avocado cultivation, by date of sampling in plots of the Municipality of Donato Guerra.

Sin embargo, no se sabe la posible asociación espacial y temporal de ambas especies. Al respecto se han desarrollado varios modelos que intentan comprender la dinámica depredador-presa, se ha encontrado que las temperaturas altas en relación con la baja humedad incrementan las poblaciones haciendo la posible asociación espacio temporal de ambas poblaciones (Landeros *et al.*, 2004).

Mari *et al.*, (1991) en su trabajo hecho con la distribución espacial y asociación entre especies de ácaros fitófagos y depredadores en hojas de fresón; nos indica que los ácaros que atacan al follaje del cultivo del fresón, al momento de dañar las hojas acarrear una disminución de la capacidad de fotosintetizar y por tanto de la cosecha, llegando en infestaciones altas a la destrucción de la planta; al aplicar un gran cantidad de productos químicos, trae consigo el peligro de la aparición de razas resistentes y el depósito de residuos de productos tóxicos sobre frutos de consumo en fresco, por ello el objetivo de dicho trabajo pretendió conocer la identidad de las especies de ácaros fitófagos y depredadores presentes en las hojas del fresón, la posible relación o asociación entre éstas, pudiendo identificar el comportamiento espacial sirviendo como base para aumentar el conocimiento sobre su comportamiento y biología, y elaborar métodos de muestreo, imprescindibles en cualquier programa de manejo integrado de plagas.

Así mismo González, (2005) en su estudio del comportamiento poblacional y distribución espacial del ácaro *Brevipalpus chilensis*, en vid y dispersión del depredador *Typhlodromus pyri*. De lo cual indica que la vid es uno de los frutales con mayor crecimiento y desarrollo tecnológico en Chile, de lo cual la búsqueda de nuevos mercado ha hecho que el sector productor de este cultivo tenga una producción de mayor calidad. Así, una herramienta necesaria es el manejo integrado de plagas (MIP), que considera al control biológico como un punto importante de tratar. Una de las plagas más importantes de la vid es *B. chilensis*, ya que produce un envejecimiento prematuro de las hojas con la consiguiente merma en la calidad del vino. Por lo cual se identificó el comportamiento poblacional y distribución de la plaga evaluando la dispersión del acaro depredador; de los cual concluyo, que el ácaro fitófago no tiene una distribución definida en el huerto, pudiendo presentarse en cualquier sector del mismo.

Los mapas obtenidos en el presente estudio demuestran que el daño a las hojas causado por el ácaro (*O. punicae*), no se distribuyó en el 100% en las parcelas de estudio, es decir, la distribución no es uniforme, esto se puede ver en los porcentajes de daño ocurrido por *O. punicae*, ya que cada parcela varía según las condiciones abióticas y bióticas con las que cuenta en el momento de realizar la toma de datos. Para el caso del municipio de Coatepec Harinas, el muestreo que tuvo más porcentaje de daño fue cuando se realizó la toma de datos de la parcela tres en el mes de abril (96 %) y la de menor daño fue la parcela dos en la toma de datos del mes de febrero (67 %); en relación al municipio de Donato Guerra, el muestreo que tuvo mayor daño fue la parcela ocho en el mes de mayo (97 %) y la menor daño la parcela seis en el muestreo del mes de febrero (74 %); tal y como se puede apreciar en Tabla 2. Esto resultados concuerdan con los de Solano *et al.*, (2008) quienes obtuvieron mapas de Distribución espacial del ácaro *Brevipalpus phoenicis*, vector de la leprosis de los cítricos en el cultivo de naranja Valencia (*Citrus sinensis*), teniendo una distribución no uniforme en las parcelas experimentales.

Tabla 2. Superficie con daño (%), de *Oligonychus punicae* Hirst en las Parcelas de Estudio en los Municipios Coatepec Harinas (Parcela 1, 2, 3, y 4) y Donato Guerra (Parcela 5, 6, 7, y 8).

Table 2. Surface with damage (%), of *Oligonychus punicae* Hirst in the Study Plots in the Coatepec Harinas Municipalities (Plots 1, 2, 3, and 4) and Donato Guerra (Plots 5, 6, 7, and 8)

Fecha	Coatepec Harinas				Donato Guerrero			
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
Octubre 2017	80	81	79	88	77	77	87	86
Noviembre 2017	94	77	90	92	81	81	88	91
Diciembre 2017	92	72	82	81	88	88	86	92
Enero 2018	87	78	76	90	86	82	89	90
Febrero 2018	95	67	89	88	75	74	90	84
Marzo 2018	91	70	92	86	95	95	87	93
Abril 2018	90	80	96	91	79	86	81	96
Mayo 2018	89	82	91	89	94	94	88	97

P=Parcela

Conclusiones

1. Con los índices de SADIE, podemos inferir que el patrón espacial del daño en hojas generado por *Oligonychus punicaes* se distribuye en varios centros de agregación.
2. Al contar con la identificación de áreas con menor presencia de daño, se puede planear las medidas de control ya sean preventivas o correctivas con la utilización de técnicas de agricultura de precisión.
3. Contando con la distribución espacial del daño generado por *Oligonychus punicaes*, se pueden planear el combate de este ácaro, con lo cual se puede tener ahorros económicos, ya que los productos químicos a utilizar se utilizarían de manera dirigida.

Literatura Citada

- Bouriga-Valdivia, E., M. Vargas-Sandoval, J. J. yala-Ortega, M. Lara-Chávez, y M. Contreras-Gutiérrez. 2016. Evaluación de insecticidas orgánicos para el control de ácaros en el cultivo del aguacate. *Entomología mexicana*. 3: 125–130.
- SIAP. 2019. Boletín mensual de producción Aguacate. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/438986/Bolet_n_mensual_de_la_producci_n_de_aguacate_enero_2019.pdf. (Consultado el 17 de marzo de 2019).
- Cerna, E., M. Badii, Y. Ochoa, L. Aguirre, y U. Landeros. 2009. Tabla de vida de *Oligonychus punicae* Hirst (Acari: Tetranychide) en hojas de aguacate (*Persea americana* Mill) variedad Hass, Fuerte y Criollo. *Universidad y Ciencia* 25: 133-140.
- Coria, A., y A. Ayala. 2010. Manejo de ácaros del aguacate en México SAGARPA. Folleto Técnico Núm. 20. Uruapan Michoacán, México.
- Lemus-Soriano, B., y D. Pérez-Aguilar. 2016. Control químico del ácaro café del aguacate *Oligonychus punicae*. *Entomología Mexicana* 3: 349-353.

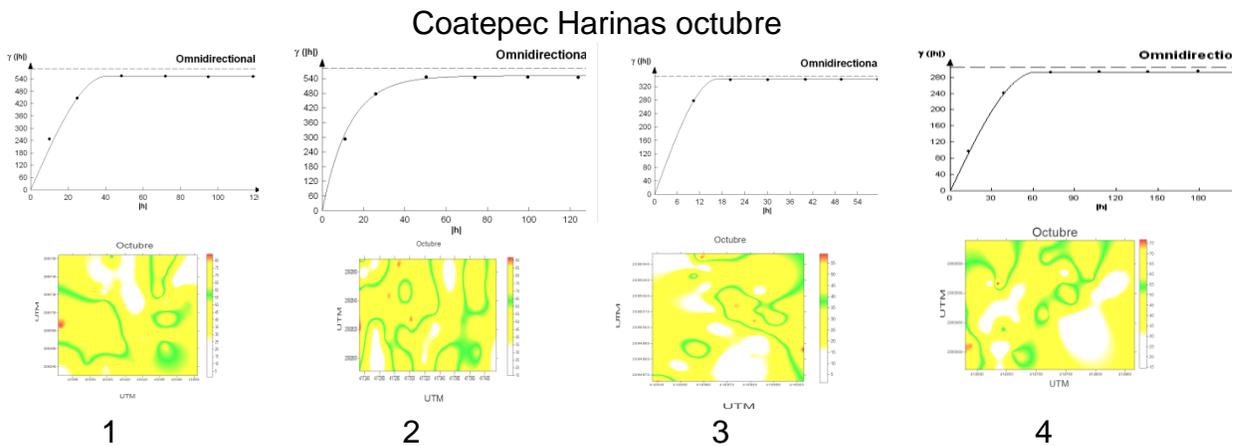
- Maestre, F. T., F. Rodríguez, S. Bautista, y J. Cortina. 2003. Análisis del patrón espacial de la vegetación en un espartal semiárido (Alicante, SE España) utilizando distintos métodos de análisis espacial y mallas de muestreo. I. Patrones individuales. Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural. Sección biológica. 98(1):159-172.
- Ramírez-Dávila, J. F., R. A. Jiménez-Carrillo, J.R. Sánchez-Pale, M. Rubí Arriaga, y D. K. Figueroa-Figueroa. 2014. Distribución espacial de *Asclepias curassavica* L., en el Estado de México, México. Phytón (Buenos Aires). 83(1): 193-202.
- Maldonado, F. I., J. F. Ramírez, M. Rubí, N. Xanat, y V. Lara. 2016. Distribución espacial de trips en aguacate en Coatepec Harinas, Estado de México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 7: 845-856.
- Reyes, J., M. Rubí, y M. Salgado. 1993. Dinámica población de araña roja (*Oligonychus punicae* Hirst) en 16 selecciones de aguacate. Fundación Salvador Sánchez Colín CICTAMEX, S.C. 213-223.
- Perry, J., E. Bell, R. Smith, y I. Woiwod. 1996. SADIE Software to measure and model spatial pattern. Aspects of Applied Biology. 46: 95-102.
- Quero, J.L. 2006. SADIE como herramienta de cuantificación de la heterogeneidad espacial: casos prácticos en el Parque Nacional de Sierra Nevada (Granada, España). Ecosistemas. 15: 40-47.
- Esquivel, V., y Y. Jasso. 2011. Distribución espacial y mapeo de gusano soldado en seis localidades del Estado de México, en el año 2011. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 5: 923-935.
- Parkinson, T., L. Griffiths, G.J.K. Garcia, y E.J. Marshall, 2001. Aggregation and temporal stability of carabid beetle distributions in field and hedgerow habitats. Journal of Applied Ecology, 38(1), 100-116.
- Maestre, F.T., y J.L. Quero. 2008. Análisis espacial mediante índices de distancia (SADIE). Introducción al Análisis Espacial de Datos en Ecología y Ciencias Ambientales: Métodos y Aplicaciones, AEET-CAM.

- Bongiovanni, R., E. Mantovani, S. Best, y A. Roel. 2006. Agricultura de precisión: integrando conocimientos para una agricultura moderna y sustentable. Procisur/IICA.
- Kabir, M. F., A.O. Mwamula, J.K. Lee, M. Jeong, D. Lee, y J.J. Park. 2018. Spatial distribution of *Heterodera trifolii* in Chinese cabbage fields. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 21(2), 688-694.
- Mari, F.G., J.G. Zamora, O.S. Royo, y J. Saques. 1991. Distribución espacial y asociación entre especies de ácaros fitófagos (Tetranychidae) y depredadores (Phytoseiidae) en hojas de fresón. *Bol. San. Veg. Plagas*. 17:401-415.
- Landeros, J., E. Cerna, M.H. Badii, S. Varela, y A.E. Flores. 2004. Patrón de distribución espacial y fluctuación poblacional de *Eutetranychus banksi* (McGregor)(Acari: Tetranychidae) y su depredador *Euseius mesembrinus* (Dean)(Acari: Phytoseiidae) en una huerta de naranjos. *Acta zoológica mexicana*, 20(3), 147-155.
- González, A., y A. Ernesto. 2005. Comportamiento Poblacional y Distribución espacial de *Brevipalpus chilensis* Baker en vid vinífera (*Vitis vinifera*) y dispersión del ácaro depredador *Typhlodromus pyri*. Taller de Licenciatura. Quillota, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Facultad de Agronomía, Área de Fruticultura.
- Solano, D. A., J.G. Álvarez-Herrera, y J.A. Rodríguez. 2008. Distribución espacial de *Brevipalpus phoenicis*, vector de la leprosis de los cítricos en el cultivo de naranja Valencia (*Citrus sinensis*) en Yopal, Casanare (Colombia). *Agronomía Colombiana*, 26(3), 399-410.
- Perry, J. 1995. Spatial Analysis by distance indices. *Journal of Animal Ecology*. 64: 303-314.
- Perry, J. 1998. "Measures of Spatial Pattern for Counts". *Ecology*. Vol. 79 Núm. 3.
- González-Olmos, E. 2012. Estudio Geoestadístico de la distribución espacial de adultos de araña roja (*Oligonychus punicae* Hirst) y su daño sobre el cultivo de aguacate (*Persea americana* Mill.) en la zona oriente del Estado de Michoacán, México. Tesis profesional, Facultad de Ciencias Agrícolas de la UAEMex.

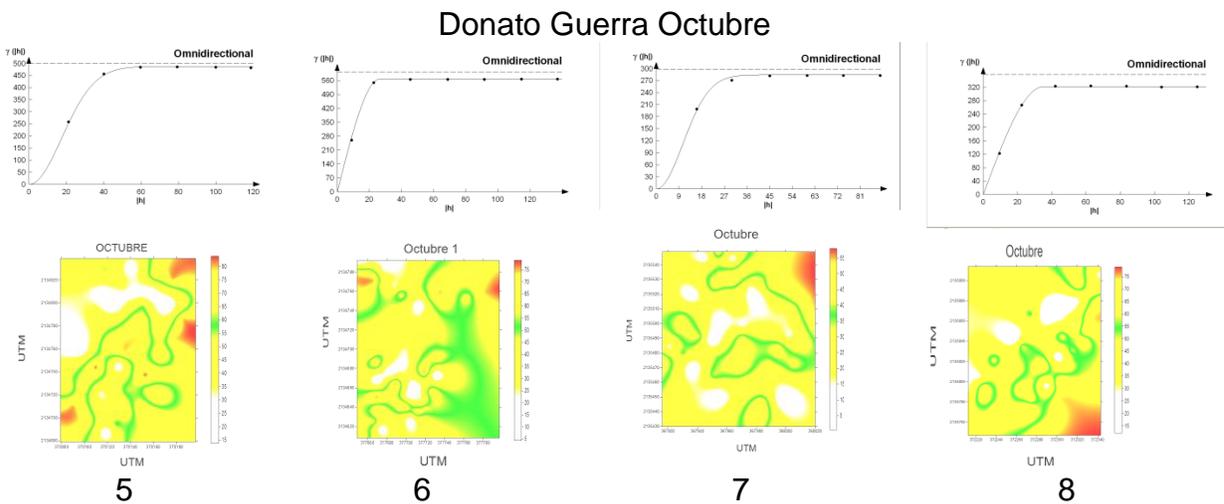
Guzmán, S. 2012. Estructura Genética de Poblaciones de *Oligonychus perseae* y *Oligonychus punice* (Acari:Tetranychidae) en Huertos de Aguacate. Tesis Maestría, Colegio de Posgraduados. México. 145 p.

7.4 Otros resultados

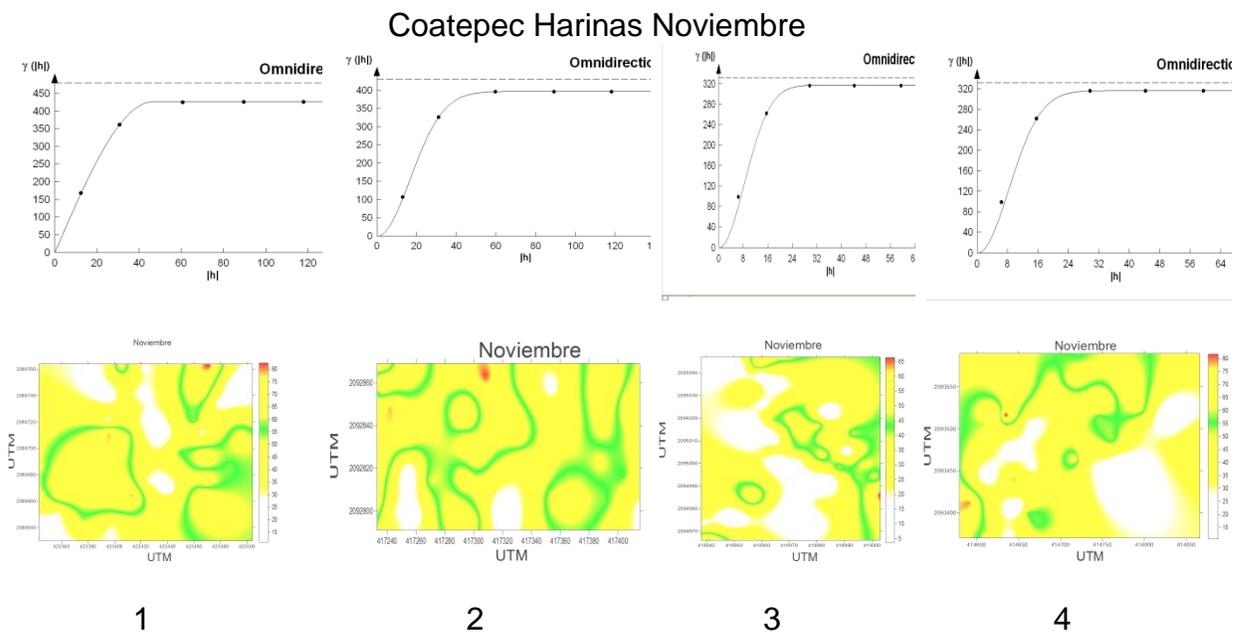
Del análisis de los resultados que se llevaron a cabo en las parcelas correspondientes al municipio de Donato guerra y Coatepec Harinas en los meses de octubre a mayo de los años 2017 al 2018, se muestran los siguientes resultados



En los mapas correspondientes al mes de octubre se muestran los mapas de infestación para el mes de octubre en el municipio de Coatepec Harinas, donde podemos observar como se comporta la plaga en las diferentes localidades, así mismo para cada fecha de muestreo obtuvimos un semivariograma los cuales se ajustaron a los modelos esférico y exponencial, también podemos observar gráficamente los parámetros del semivariograma que son efecto pepita, meseta y rango y en semivariogramas anteriores lo podemos corroborar.

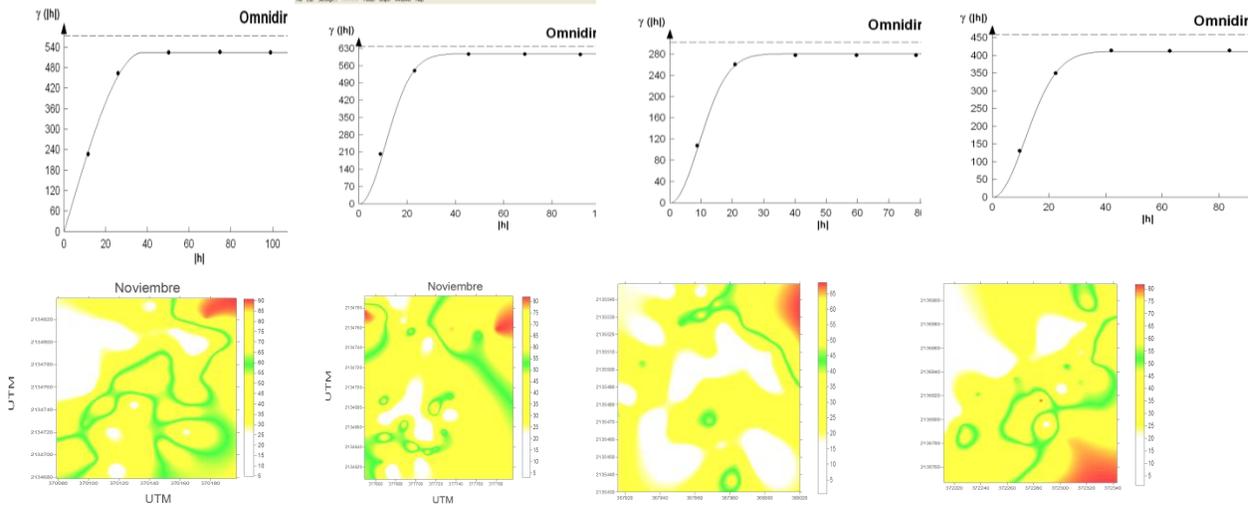


Para el municipio de Donato Guerra se muestran los mapas y los semivariogramas a los cuales se ajustaron los muestreos realizados para el mes de octubre, podemos observar como existen centros de agregación de la plaga, esto ayudara a generar programas de manejo integrado ya que las aplicaciones pueden ir dirigidas específicamente a los centros de agregación. Con respecto a los semivariogramas podemos observar que se ajustaron a modelos esféricos y gaussianos lo cual nos indica cómo se comporta la plaga dentro de las unidades productivas de aguacate en Donato Guerra, también podemos observar el valor del efecto pepita, el rango que se expresa en metros y la meseta.



En el mes de noviembre podemos observar que los centros de agregación de la araña roña continúan casi similares al mes de octubre, los semivariogramas se ajustaron a modelos esféricos y gaussianos, podemos observar que el efecto pepita fue igual a cero para las cuatro localidades los que nos indica que el tamaño de muestra fue adecuado y el error de muestreo fue mínimo, el rango nos indica hasta que distancia tienen relación los datos unos de otros.

Donato Guerra Noviembre



5

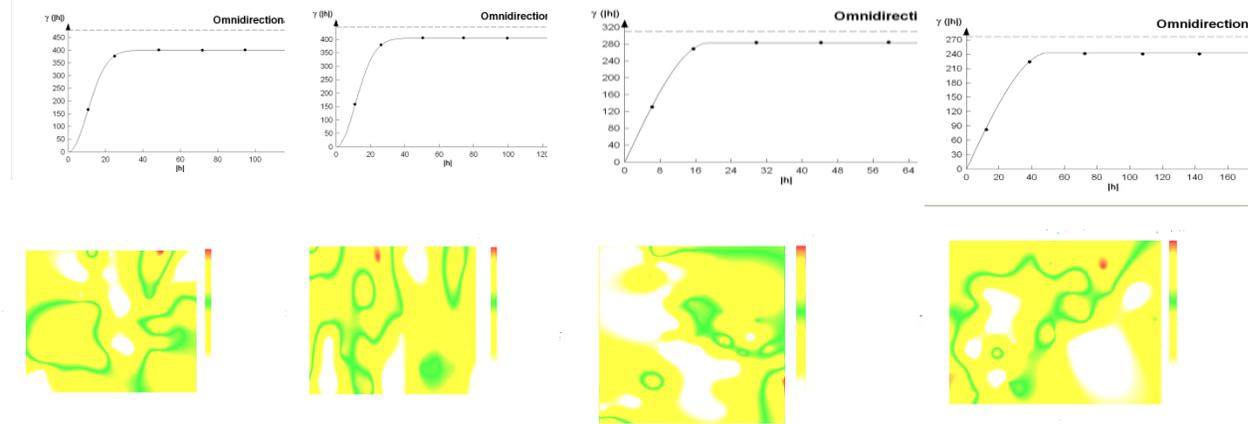
6

7

8

Para el municipio de Donato Guerra en el mes de noviembre podemos observar los centros de agregación de la plaga y que a su vez serán de gran utilidad a los productores para dirigir las medidas de control de las plagas, los semivariogramas se ajustaron a modelos esféricos y gaussianos, podemos observar el efecto pepita, la meseta y rango.

Coatepec Harinas Diciembre.



1

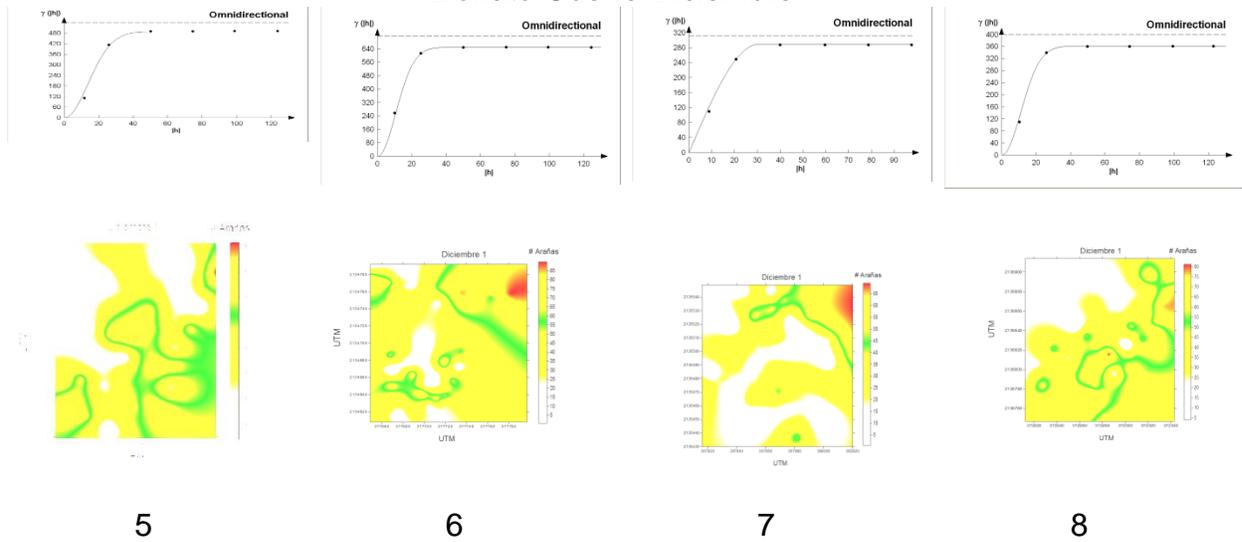
2

3

4

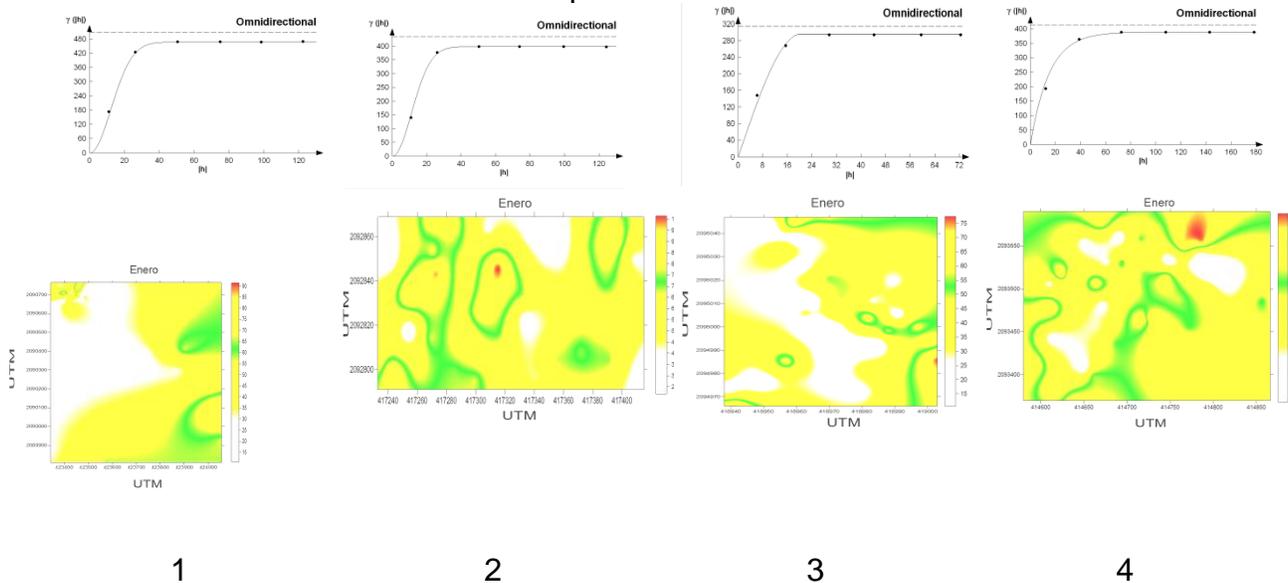
Para el mes de diciembre en el municipio de Coatepec Harinas se muestran los mapas de infestación y los semivariogramas los cuales se ajustaron a modelos esféricos lo cual nos indica que existen centros de infestación puntual dentro de las parcelas de aguacate, el rango nos indica la distancia hasta donde están relacionados los datos y el efecto pepita nos indica que el error de muestreo es mínimo.

Donato Guerra Diciembre



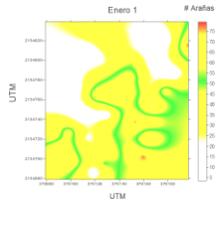
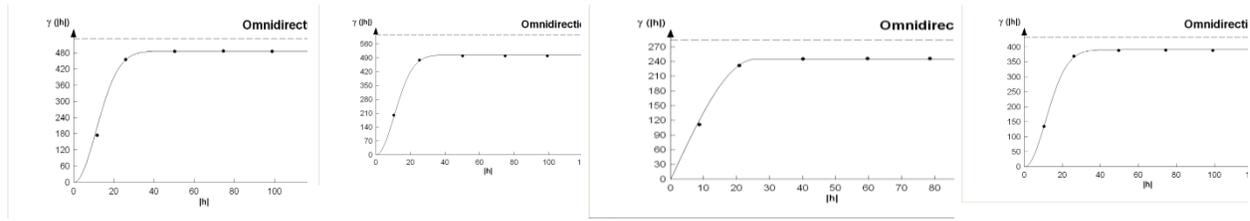
Los mapas que se muestran en la imagen anterior muestra los mapas del municipio de Donato Guerra para el mes de diciembre, los semivariogramas se ajustaron a modelos esféricos y exponenciales, con efecto pepita igual a cero, los mapas muestran los centros de agregación de la plaga y cómo se comporta espacialmente dentro de la parcela muestreada.

Coatepec Harinas Enero

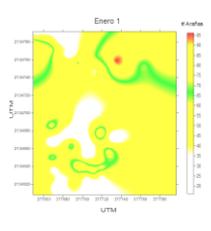


En el mes de enero para el municipio de Coatepec Harinas podemos observar los centros de agregación de la plaga, existen centros puntuales de agregación ya que se ajustaron a modelos esféricos, gaussianos y exponenciales. El efecto pepita fue igual a cero en las cuatro localidades lo que indica que error de muestreo fue mínimo.

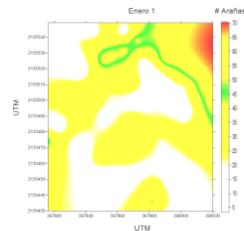
Donato Guerra Enero



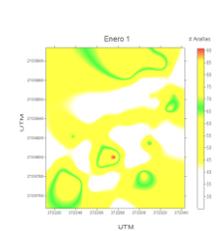
5



6



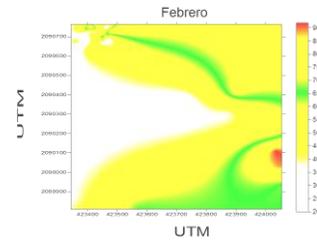
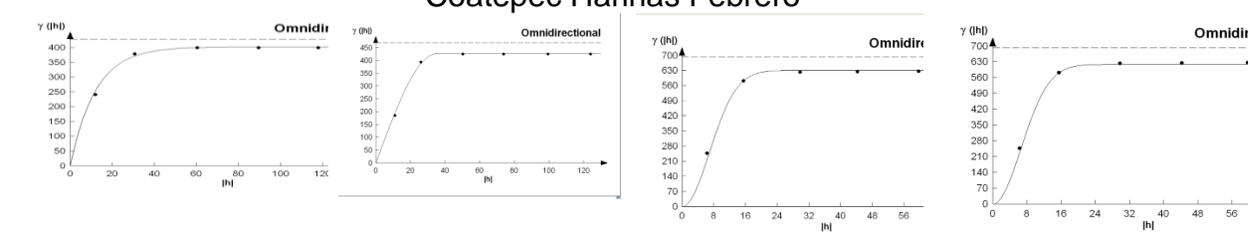
7



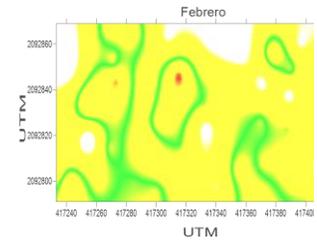
8

En Donato Guerra en el mes de Enero se observa una disminución de las poblaciones y el efecto pepita de los semivariogramas fue igual a cero lo que indica que la escala utilizada fue correcto y error de muestreo fue mínimo, los mapas de infestación servirán a los productores para hacer medidas de control dirigidas.

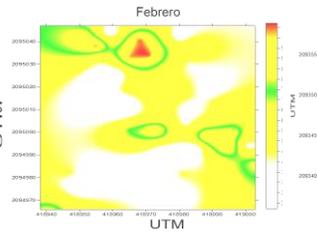
Coatepec Harinas Febrero



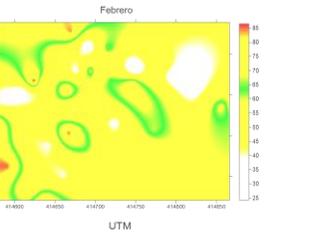
1



2

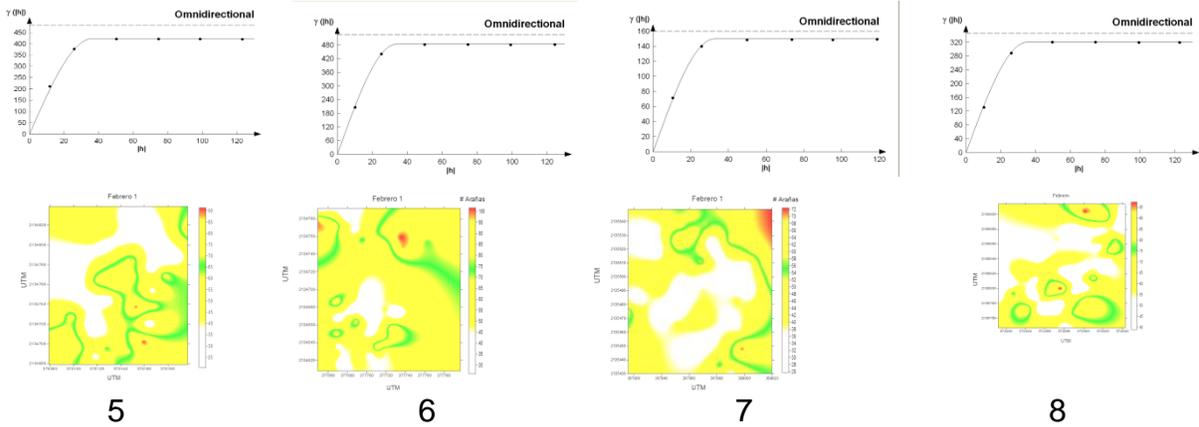


3



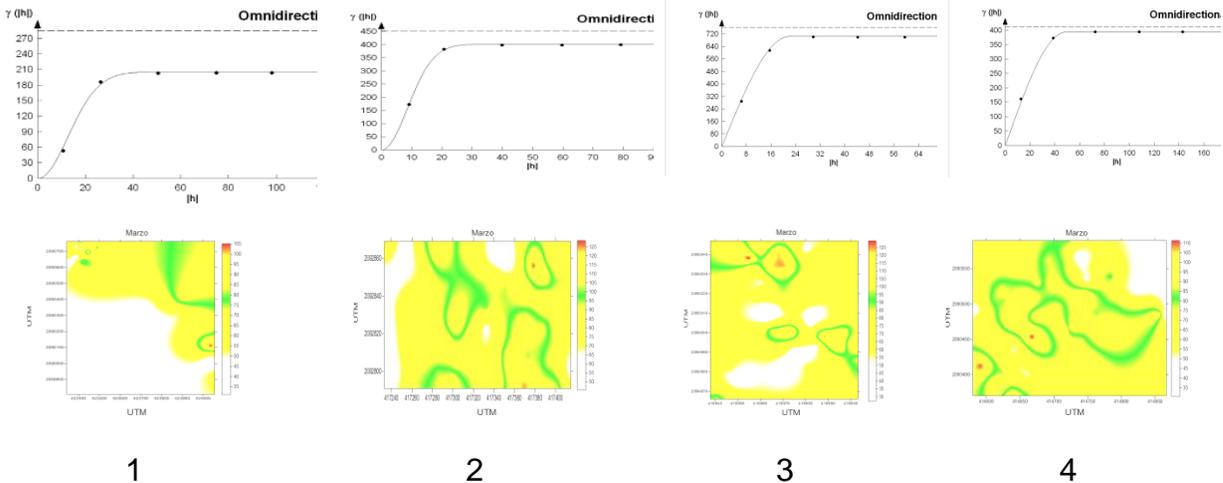
4

Donato Guerra Febrero



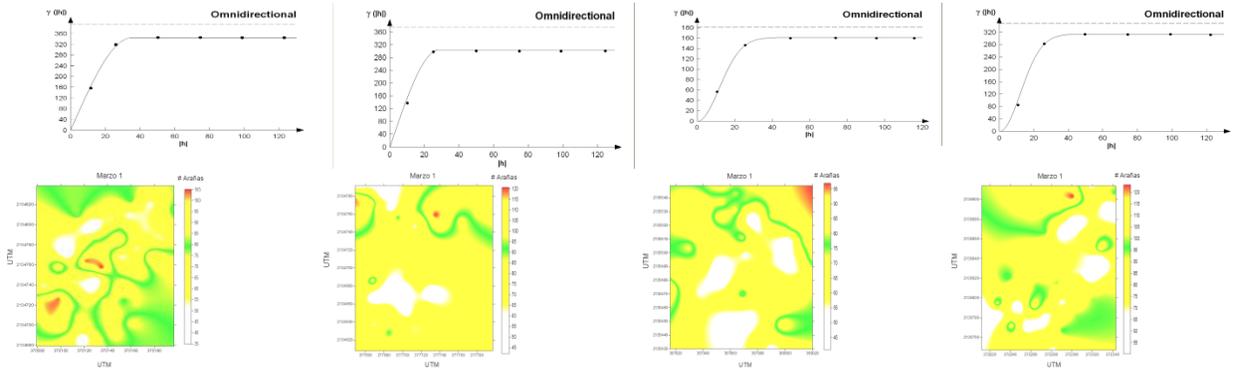
En los mapas se puede observar que la plaga, tiene un comportamiento espacial agregado, los semivariogramas se ajustaron a los modelos esféricos, lo cual indica que la plaga inicio en centros bien definidos pero como pasa el tiempo se van alejando.

Coatepec Harinas Marzo



En el municipio de Coatepec Harinas para el mes de marzo se pueden observar como se comporta la plaga dentro de las unidades productoras de aguacate, se pueden observar pequeños centros de agregación, los semivariogramas se ajustaron a modelos esféricos y el efecto pepita fue igual a cero en todos los casos lo que indica que el error de muestreo fue mínimo y la escala utilizada fue la adecuada.

Donato Guerra Marzo



5

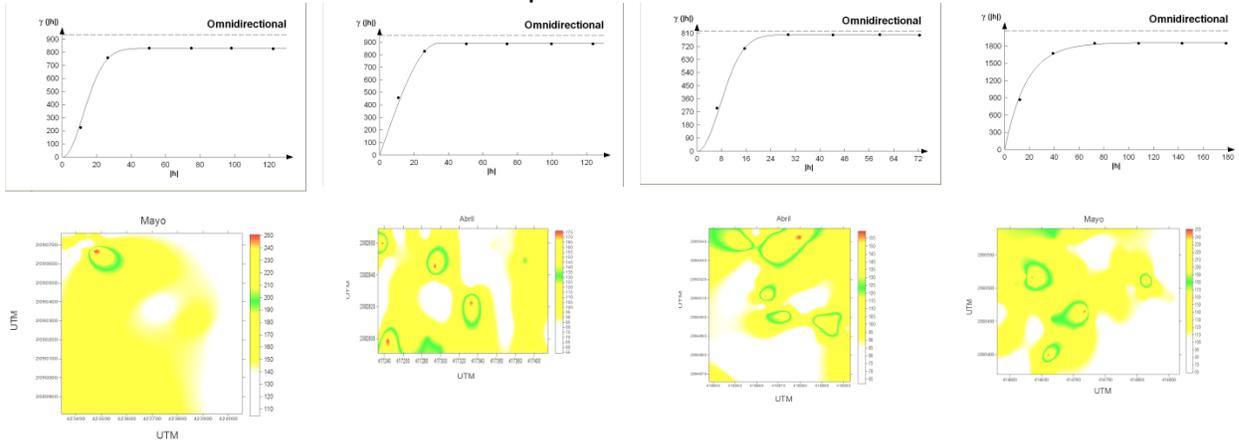
6

7

8

En lo que refiere al municipio de Donato Guerra para el mes de marzo podemos observar centros de agregación puntuales dentro de las parcelas, se observa mayor concentración en las orillas de las parcelas, los semivariogramas se ajustaron a modelos esféricos, al ajustarse un muestreo a un modelo teórico compureba que existe agregación de la plaga dentro de las zonas productoras de agacuate en el Estado de Mèxico.

Coatepec Harinas Abril



1

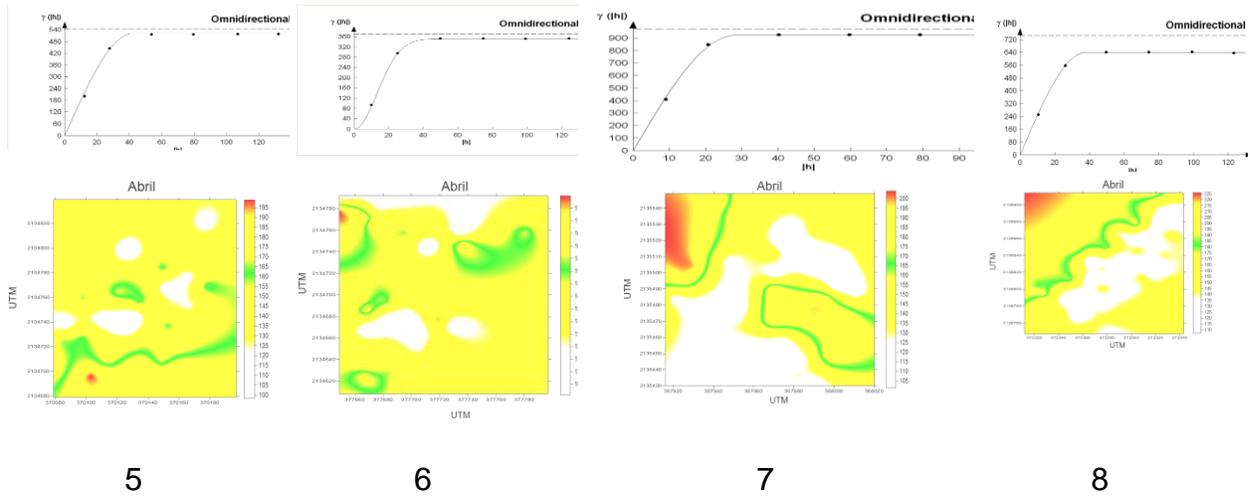
2

3

4

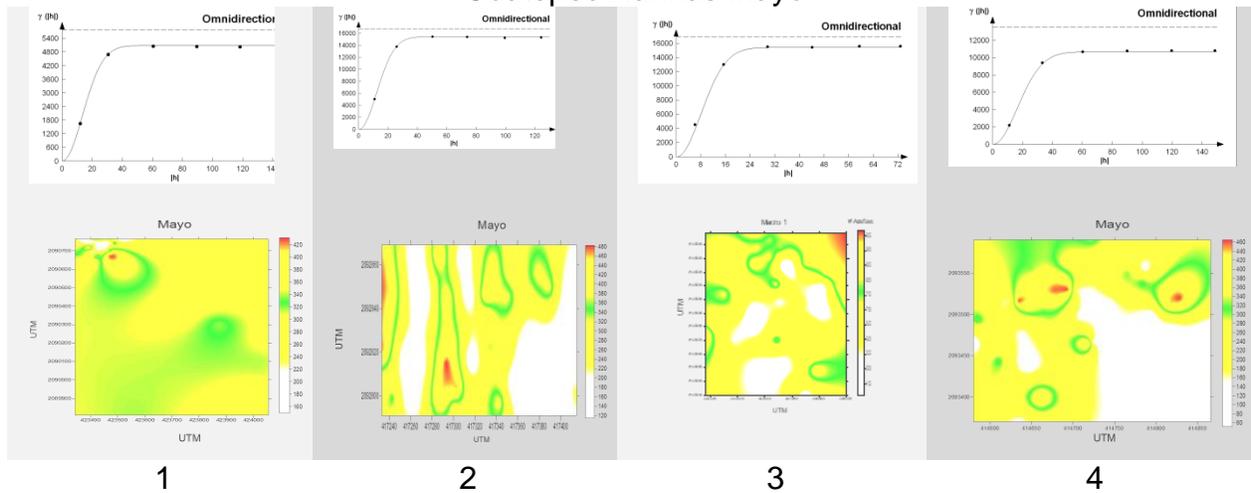
Existe una disminución de la plaga en el mes de abril para el municipio de Coatepec Harinas en sus cuatro localidades, se ubican las mayores densidades en las orillas de las parcelas lo que hace mas eficaz un control ya que pueden hacerse aplicaciones dirigidas en la parcela y asi obtener ahorros económicos además de contribuir a la disminución de agentes contaminantes en el medio ambiente.

Donato Guerra Abril



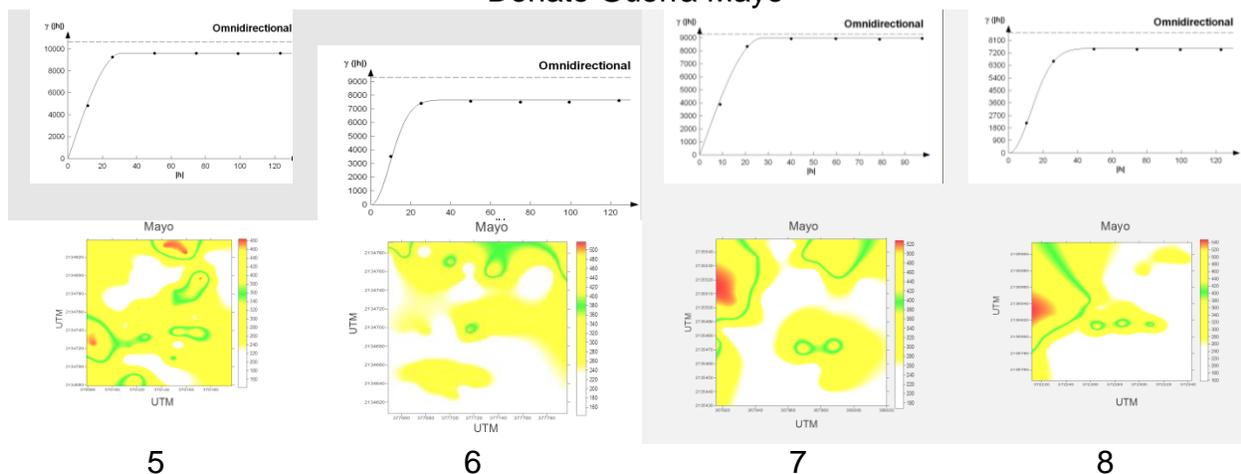
Para el municipio de Donato Guerra en el mes de abril aumentan las poblaciones de la plaga, esto debido a las condiciones climáticas como son las altas temperaturas y la poca humedad relativa, esto hace que las poblaciones aumenten rápidamente, los semivariogramas se ajustaron a modelos esféricos lo que indica que existen centros de agregación puntuales dentro de la parcela.

Coatepec Harinas Mayo



Al aumentar las temperaturas y la poca humedad relativa hacen que las poblaciones crezcan de manera exponencial, se pueden observar centros de agregación de la plaga lo cual ayuda a realizar aplicaciones dirigidas y así reducir la aplicación de agroquímicos, los semivariogramas se ajustaron a modelos esféricos, el efecto pepita fue igual a cero en las cuatro localidades, lo que indica que el error de muestreo fue mínimo.

Donato Guerra Mayo



Se pueden observar los centros de agregación de la plaga dentro de las zonas productoras de aguacate en el Estado de México, para el mes de mayo en el municipio de Donato Guerra podemos observar que los muestreos se ajustan a modelos esfericos lo cual indica que existen centros de agregación de la plaga y de ese punto se esta diseminando la plaga dentro de la parcela.

IV. DISCUSIÓN GENERAL

En la actualidad, la agricultura debería basarse en el uso de diferentes alternativas para control de plagas en los cultivos, esto sería de gran importancia ya que nos permitiría tener un manejo más equilibrado de las plagas. Si bien es cierto que la agricultura actualmente no se concibe sin la utilización de agroquímicos existen varios recursos de los cuales podemos echar mano para mantener un equilibrio en los ecosistemas y causar un menor impacto en los mismos (Rivera, 2016).

El objetivo del presente trabajo fue establecer el comportamiento espacial de las poblaciones de araña roja *Olygonichus punicae* (Hirst) y su daño en el cultivo de aguacate en el Estado de México.

De lo cual se detectó que de los meses muestreados; el mayor numero de araña roja por árbol fue en los meses más calurosos del año (Marzo, abril y mayo), el menor número de araña roja, que se encontró en las parcelas de estudio, fue en los meses de octubre, noviembre y diciembre; esto también fue apreciado por Coria (2010) y Reyes-Alemán *et al.*, (1993), quienes reportaron que estos ácaros se les puede encontrar durante todo el año, pero con mayor incidencia en los meses secos y calurosos (febrero a mayo), siendo los primeros incrementos de población durante los meses noviembre y diciembre en ausencia de lluvias y temperaturas bajas, la reducción natural de las poblaciones se da con la presencia lluvias.

La modelización del comportamiento espacial que guarda el ácaro *O. punicae* en el cultivo del aguacate, se determinó mediante el uso de la geoestadística, con la cual se determino que ésta se encuentra en el cultivo en una estructura agregada. Estos métodos proporcionan una medida directa de la dependencia espacial, ya que tienen en cuenta la naturaleza bidimensional de la distribución de los organismos a través de su exacta localización espacial y es independiente de la relación entre la media y la varianza (Ramírez *et al.*, 2013).

Con las técnicas de la geoestadística, se puede determinar el grado de variabilidad de un fenómeno natural, el cual lo podemos representar a través del semivariograma (que cuantifica y representa la correlación de la variable), y el proceso de estimación está realizado por un procedimiento llamado krigado (Ribes *et al.*, 1998). Esta técnica es de gran utilidad para modelizar la distribución espacial tanto para plantas parasitas, insectos, ácaros, así como enfermedades en diferentes cultivos (Solano *et al.*, 2008; Ramírez y Porcayo 2010; Solares *et al.*, 2011; Maldonado *et al.*, 2016; Gómez-Correa *et al.* 2017).

Los semivariogramas se ajustaron al modelo gaussiano, esférico y exponencial, de lo cual se puede concluir, que las parcelas que se ajustaron al modelo gaussiano, nos indican, que el comportamiento de agregación de la araña roja se da de forma continua dentro de las parcelas, ya que la infestación de este ácaro, con respecto a su avance es entre los árboles vecinos, lo cual nos sugiere que inicia hoja por hoja, debido a que la variedad hass presenta las condiciones para el desarrollo de este ácaro, este fenómeno también fue observado por Solares *et al.*, (2011), en su estudio, de distribución espacial de Trips (Insecta: Thysanoptera), describiendo que la presencia de trips se ajusta principalmente a modelos gaussianos, ya que el comportamiento del insecto se expresa de forma continua dentro de las plantaciones de aguacate.

Por otra parte los modelos esféricos, nos están indicando que las poblaciones de araña roja se presentan en mayor cantidad en ciertas zonas de la parcela respecto al resto de puntos considerados en el muestreo, es decir, los centros de agregación son aleatorios, estando dentro de la zona de infestación de la parcela, posiblemente causada por el tipo de diseminación de este ácaro, ocasionado por la exposición del sol o los vientos predominantes. Maldonado *et al.*, (2016) en su estudio de trips en aguacate, señala que los modelos esféricos, cuentan con una dependencia espacial alta; indicando que dentro de las parcelas de estudio existen zonas donde hay mayor incidencia de trips, ya que existen centros de agregación que se ubican en lugares específicos, debido al manejo agronómico que le da el productor.

Por último los modelos exponenciales, indican que la agregación de araña roja en términos biológicos, se da en límites irregulares en las parcelas, exponiendo una distribución espacial discontinúa, así mismo Ramírez *et al.*, (2013), en su estudio Modelización de la distribución espacial de *Bactericera cockerelli* Sulc. (Hemiptera: Triozidae) en *Solanum tuberosum*, concluye que para los muestreos en los que se obtuvieron modelos exponenciales, son indicativo de que la agregación de *B. cockerelli* se presenta en puntos específicos dentro de la parcela.

Los modelos (Gaussiano, esférico, y exponencial) que se citan nos dan cuenta que *O. punicae* no cuenta con un comportamiento espacial establecido, encontrándose en constante movimiento, según las careacterísticas climáticas.

El coportamiento espacial que guarda este ácaro se pudo visualizar en los mapas que se realizaron con la técnica del Krigado, ya que con esta herramienta nos permite visualizar de manera directa las áreas infestadas y libres; tal expresión nos señala que *O. punicae* no invade el 100% de la superficie de las parcelas muestreadas, esto también fue apreciado por Esquivel y Jasso (2014), en poblaciones de gusano soldado, donde no se presenta una infestación del 100%, indicando que esto se debe a diferentes factores del ambiente que le favorece, como son las condiciones de humedad y una menor temperatura. Se han reportado en otros trabajos que los insectos y ácaros plaga no invaden en su totalidad las superficies de cultivo (Solano *et al.*, 2008; Ramírez *et al.* 2013; Maldonado *et al.*, 2016).

El nivel de dependencia espacial que resultó es alto ya que al dividir el valor del efecto pepita entre el valor de la meseta nos sale un porcentaje menor a 25% para todos los semivariogramas. Los valores del efecto pepita indicaron una alta dependencia espacial, lo cual permite suponer que las poblaciones de araña roja dependen entre si y su nivel de agregación es alto (Solares *et al.*, 2011).

Los índices *Ia* y *Ja* de SADIE, arrojan resultados en donde se determinó que la distribución espacial de *O. punicae* es de tipo agregada (índice *Ia*), encontrándose en varios centros de agregación (índice *Ja*), los cuales se pueden apreciar en los mapas obtenidos.

El uso de estas nuevas tecnologías en el manejo fitosanitario global en el aguacate requiere de investigaciones puntuales y detalladas que permitan proporcionar al productor un paquete tecnológico eficiente y oportuno para aminorar los efectos negativos provocados por esos problemas en el precio unitario y global de la producción de aguacate (Maldonado, 2016).

V. CONCLUSIONES

- Existe una relación directa entre el estado fenológico del cultivo y la densidad poblacional de la araña roja (*Oligonychus punicae* Hirst) teniendo mayor infestación en los meses, más calurosos (marzo, abril y mayo), en los meses siguientes, cuando empieza el período de lluvias esta plaga disminuye considerablemente su densidad.
- Los métodos de la estadística espacial (Geoestadística y SADIE) demostraron ser eficaces para establecer el comportamiento espacial de las poblaciones y el daño de araña roja Araña roja (*O. punicae*), en el cultivo del agucate.
- La aplicación de la Geoestadística permitió modelizar la estructura espacial, teniendo como resultado tres modelos (Gaussiano, Esférico y Exponencial), con efecto pepita igual a cero en todos los casos.
- Los resultados obtenidos con las técnicas Geoestadísticas mostraron la existencia de una estructura espacial agregada, teniendo un nivel de dependencia espacial alta.
- Los análisis con SADIE presentaron un patrón espacial agregado con las poblaciones distribuidas en varios centros de agregación.
- De los mapas obtenidos con la técnica del Krigeado, se pueden visualizar los centros de agregación de las poblaciones de araña roja, ya que con estos se interpola y se describe la continuidad espacial, llegando a conocer en tiempo real la forma en que varía la continuidad espacial (patrón espacial), con un nivel de detalle que permite cuantificar la variación en distintas direcciones del espacio, pudiendo interpolar sitios no muestreados, contando con una capacidad predictiva que tiene cada punto en función de la distancia que lo separa con otro punto.

- Se determinó que el ácaro *O. punicae* no infesta el 100% las parcelas muestreadas de aguacate, por lo cual se establece que el total de la superficie no se encuentra con daño por esta plaga.

- Con los resultados obtenidos de los muestreos y del análisis a la información que se obtuvo en las diferentes parcelas de estudios, se podría recomendar la utilización de técnicas de agricultura de precisión, con lo cual se podrían realizar una mejor planeación; dirigiendo las medidas a zonas específicas de infestación.

- Este tipo de trabajos tienen el propósito de cambiar los paradigmas de la agricultura tradicional, ya que son de gran utilidad, para optimizar el uso de los insumos agrícolas en función de la cuantificación de la variabilidad espacial y temporal, realizando programas de manejo de plagas para beneficio de los productores y el ambiente, de tal manera que estas tecnologías poco a poco se vayan aceptando y utilizando en el campo agrícola en particular en las plagas del Aguacate.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alegret Rodríguez, M., Herrera, M., y Grau Abalo, R. 2008. Las técnicas de estadística espacial en la investigación salubrista: Caso síndrome de Down. *Revista Cubana de Salud Pública*, 34(4), 0-0.
- Baíza, V. 2004. Guía técnica del cultivo del aguacate (No. IICA-F01 44). Ministerio de Agricultura y Ganadería, San Salvador (El Salvador) Programa Nacional de Frutas de El Salvador, San Salvador (El Salvador) IICA, San Salvador (El Salvador).
- Barrientos-Priego, A. F. y L. López-López. 1998. Historia y genética del aguacate. In: Memoria Fundación Salvador Sánchez Colín. CICTAMEX S.C. Coatepec Harinas, México. pp.33-5.
- Barrientos-Priego, A. F. y López-López, L. 2000. El aguacate y su manejo integrado. 2ª (Ed.) Ediciones Mundi-Prensa. DF México. pp. 22-62.
- Becerril, F. 2017. Evaluación de daño causado por el barrenador pequeño del fruto del aguacate (*Conotrachelus perseae* Barber) en Meyuca de Morelos, Coatepec Harinas, Estado de México. Tesis Profesional. UAEMex. p 54.
- Besoain, X., Arenas, E., Salgado, S., y Latorre, A. 2005. Efecto del Período de Inundación en el Desarrollo de la Tristeza del Palto (*Persea americana*), Causada por *Phytophthora cinnamomi*. *Ciencia e investigación Agraria*, 32(2), 97-103.
- Bisonó, S. y Hernández, JR. 2008. Guía Tecnológica sobre el Cultivo del Aguacate. Santo Domingo. p. 7.
- Borboa, A. 1999. Temascaltepec. Monografía municipal. Instituto Mexiquense de Cultura, Asociación Mexiquense de Cronistas Municipales, Gobierno del Estado de México.

- Cabezas, C., Hueso S., y Cuevas, R. 2003. Anomalías morfológicas y fisiológicas del ciclo floral del aguacate en la Costa de Almería. In Junta de Andalucía. Consejo de Agricultura y Pesca. V Congreso Mundial del aguacate. Actas I. Granada-Málaga, España (Vol. 19, pp. 231-236).
- Cabrera, M.F. y Cermeli, M. 2008. Presencia de *Pseudacysta perseae* (Heidemann, 1908) (Insecta: Hemiptera: Tingidae) en Venezuela. *Entomotropica*, 20(3), 271-273.
- Cambardella, C., Moorman, J., Novak, T., Parkin, D., Karlen, R. Turco A. y Konopka A. 1994. Field scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 58(5):1501-1511.
- Castañeda, E.L. y Johanssen R. M.. 2011. Trips asociados al aguacate en el Estado de México. In Actas del VII Congreso mundial del aguacate. Cairns, Australia. Sociedad internacional de la palta (pp. 1130-1150).
- Cerna, E., Badii, Y. Ochoa, U. Aguirre A., y Landeros S. 2009. Tabla de vida de *Oligonychus punicae* Hirst (Acari: Tetranychidae) en hojas de aguacate (*Persea americana* Mill) variedad hass, fuerte y criollo. *Universidad y ciencia*, 25(2), 133-140.
- Coria, A., y Ayala, A. 2010. Manejo de ácaros del aguacate en México. SAGARPA. Folleto Técnico Núm. 20. Uruapan Michoacán, México. p 19.
- Coria-Ávalos, V. M. 1999. Ciclo de vida, fluctuación poblacional y control del barrenador de la semilla del aguacate (*Conotrachelus perseae* Barber, *C. aguacatae* B.)(*Coleoptera: Curculionidae*) en Ziracuaretiro, Michoacán, México. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 5, 313-318.

- Cristobal, M. 2015. Distribución espacial de trips, mosca blanca y pulgón en el cultivo del gladiolo en la región norte del estado de México. Tesis profesional. 121p. uamex
- 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.
- Estrada, K.D. 2015. Obtención de la planta comercial variedad Hass, mediante la técnica de propagación clonal desde la evaluación de la planta nodriza hasta la injertación del clon. Tesis de Profesional. UAEMex.
- Estrada, V. E. G. 2007. Ácaros asociados al cultivo del aguacate. Pp 153-162. En: Téliz, O. D. y A. Mora A. (Coord.). *El aguacate y su manejo integrado*. Segunda Edición. Mundi Prensa. 321 pp.
- Galindo, M. E. y Arzate A. 2010. Consideraciones sobre el origen y primera dispersión del aguacate (*Persea americana*, *Lauraceae*). *Cuadernos de Biodiversidad* 33:11-15.
- García, F. M. 2004. Aplicación de la geoestadística en las ciencias ambientales. *Revista Ecosistemas*, 13(1).
- García, O. 2017. Degradación de *Phytoseiulus persimilis* y *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae) sobre *Oligonychus punicae* (Acari: Tetranychidae) en aguacate Hass. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Tesis de Doctorado. 51 p.
- González-Olmos E, 2012. Estudio Geoestadístico de la distribución espacial de adultos de araña roja (*Oligonychus punicae* Hirst) y su daño sobre el cultivo de aguacate (*Persea americana* Mill.) en la zona oriente del Estado de Michoacán, México. Tesis profesional. Facultad de Ciencias Agrícolas de la UAEMex. 117 pp.

Hernández A. 2011. Respuesta del cultivo del aguacate (*Persea americana* Mill.) a la biofertilización en Nuevo San Juan Parangaricutiro. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Tesis profesional. 60 P.

Hevesi J, Istok J, Flint A, 1992. Precipitation estimation in mountainous terrain using multivariate geostatistics, part I, structural analysis. J. Appl. Meteorol. 31(7):661-676.

Imbachi-López, K., Estrada-Venegas, E. G., & Equihua-Martínez, 2017. A. BIOLOGÍA DE *Oligonychus punicae* (Hirst, 1926)(ACARI: TETRANYCHIDAE) EN *Persea americana* CV. HASS EN CONDICIONES DE LABORATORIO. Memorias del V Congreso Latinoamericano del Aguacate

Imbachi-López, K., Estrada-Venegas, E. G., & Equihua-Martínez, A. (2017). BIOLOGÍA DE *Oligonychus punicae* (Hirst, 1926)(ACARI: TETRANYCHIDAE) EN *Persea americana* CV. HASS EN CONDICIONES DE LABORATORIO.

INIFAP. 2019. Guía para el manejo integrado del aguacate en altas densidades en el Estado de Guerrero. Consultado 23 de marzo 2019. <http://promepca.sep.gob.mx/archivosCA/7186-UAGRO-CA-117-2017-1-57663.pdf>

Isaaks E, Srivastava M, 1989. An introduction to applied geostatistics. 1° ed. Oxford Univ. Press. New York, USA. 35-38 pp.

Jiménez, R., Ramírez R, Sánchez, J., Salgado M, y Laguna A. 2014. Modelización espacial de huevos de Thrips(Thysanoptera: Frankliniella occidentalis) en tomate de cáscara por medio de técnicas geoestadísticas. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias 46 (1): 29-44.

- Journel A, Huijbregts J, 1978. Mining geostatistics. Second ed. Academic Press. Londres, Reino Unido. 600 pp.
- Juárez, A.LR., Kissel, K., y Juárez A. 2001. Enciclopedia de los Municipios de México. Estado de México Coatepec Harinas. Gobierno del Estado de México.
- Krantz, G.W. y Walter D.E. 2009. A manual of Acarology. 3rd ed. Lubbock, Tex. Texas Tech University Press, 807 p.
- Lavaire, E., & Morazán, F. 2013. Manual Técnico del Cultivo de Aguacate en Honduras. Programa Nacional de Desarrollo Agroalimentario de la Secretaria de Agricultura y Ganadería (SAG), 17-20.
- Lemus-Soriano, B. y Pérez-Aguilar D.. 2016. Control químico del acaro café del aguacate *Oligonychus punicae* (Hirst, 1926) (Acari:Tetranychidae). Entomología Mexicana, 3: 349–353.
- López, J., C. Campos, J.J. López, y López G.C. 2001. Enciclopedia de los Municipios de México. Estado de México Tenancingo. Gobierno del Estado de México.
- Macías Macías, A. 2011. México en el mercado internacional de aguacate. Revista de Ciencias Sociales (Ve), 17(3).
- Maestre, F. T., y Quero. J.L. 2008. Análisis espacial mediante índices de distancia (SADIE). Introducción al Análisis Espacial de Datos en Ecología y Ciencias Ambientales: Métodos y Aplicaciones, AEET-CAM.
- Maldonado FI, Ramírez JF, Rubí M, Xanat N, y Lara V, 2016. Distribución espacial de trips en aguacate en Coatepec Harinas, Estado de México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 7 (4): 845-856.

- Maldonado FI. 2017. Simulación espacial de las poblaciones de trips (*frankliniella occidentalis*) en el cultivo de aguacate en Coatepec Harinas. Tesis de Doctorado, Facultad de Ciencias Agrícolas. UAEM. México.
- Mantovani, E. C., & Magdalena, C. 2014. Manual de agricultura de precisión. Embrapa Milho e Sorgo-Livro científico (ALICE).
- Molano, P. J. T. 2007. Enfermedades del aguacate. Revista politécnica, 3(4), 51-70.
- Mondragón, J.A. y González. J.2001. Enciclopedia de los Municipios de México. Estado de México Donato Guerra. Gobierno del Estado de México.
- Perry J, 1995. Spatial Analysis by distance indices. Journal of Animal Ecology. 64: 303-314.
- Perry J, 1998. "Measures of Spatial Pattern for Counts". Ecology. Vol. 79 Núm. 3.
- Perry J, Bell E, Smith R, and Woiwod I, 1996. SADIE. Software to measure and model spatial pat-tern. Aspects of Applied Biology. 46: 95-102.
- Pozo-Ruz, A., Ribeiro, A., García-Alegre, M. C., García, L., Guinea, D., & Sandoval, F. 2000. Sistema de posicionamiento global (GPS): Descripción, análisis de errores, aplicaciones y futuro. *ETS ingenieros de Telecomunicaciones. Universidad de Malaga*.
- Pritchard, A.E., and E.W. Baker. 1955. A revision of the spider mite family Tetranychidae. Pacific Coast Entomological Society, Memoirs Series 2. 472 p.
- Ramírez JF, Solares V, Figueroa D, y Sánchez J, 2013. Comportamiento especial de Trips (Insecta:Thysanoptera), en plantaciones comerciales de aguacate (*Persea americana* Mill.) en Zitácuaro, Michoacán, México. Acta Zoológica Mexicana (nueva serie). 29(3) 545-562.

Rivera, R. 2016. *Orius insidiosus* en el control biológico de trips en aguacate en México.

Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias Agrícolas. UAEM. México

SAGARPA. 2019. Planeación Agrícola Nacional 2017-2030 “Aguacate Mexicano”.

Consultado en línea 20 de marzo 2019.

<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/257067/Potencial-Aguacate.pdf>

Samper F, y Carrera J, 1996. Geoestadística: Aplicaciones a la Hidrología subterránea.

2ª Ed. Centro Internacional de Métodos en Ingeniería. Barcelona. 484 pp.

Samper, F.J., y Carrera, J. 1996. Geoestadística: Aplicaciones a la Hidrología

subterránea. 2ª Ed.

SIAP, 2019. Boletín mensual de producción Aguacate. Consultado 29 de marzo 2019. En

línea:

https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/447218/Bolet_n_mensual_de_la_producci_n_de_aguacate_febrero_2019.pdf

SIAP. 2019. Boletín mensual de producción Aguacate. Disponible:

https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/438986/Bolet_n_mensual_de_la_producci_n_de_aguacate_enero_2019.pdf. Consultado el 17 de marzo de 2019.

SIAP. 2019b. Avance de Siembras y Cosechas

Resumen por estado. Consultado 03 de marzo de 2019.

http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenProducto.do

Solís Calderón, P. 2016. Plan de manejo de trips en el cultivo del aguacate

hassInnovación para la seguridad alimentaria y nutricional en Centroamérica y

Panamá (No. IICA F01). Programa Regional de Investigación e Innovación por

Cadenas de Valor Agrícola Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria IICA, San José (Costa Rica).

Talavera, C. M., & Padilla, C. M. 2003. Reconsideraciones técnicas al ciclo biológico del barrenador de ramas del aguacate (*Copturus aguacatae*, Kissinger). In Proceedings V World Avocado Congress (pp. 445-448).

Téliz, D. y Marroquin F. 2007. Importancia histórica y socioeconómica del aguacate. Mundi-bnPrensa. México. p. 1-28.

Torres Preciado, V. H. 2009. La competitividad del aguacate mexicano en el mercado estadounidense. Universidad de Colima.

USDA. 2019. Natural Resource Conservation Service. Consultado 3 de marzo 2019. <https://plants.usda.gov/java/ClassificationServlet?source=profile&symbol=PEAM3&display=31>

Viera, M. A. D., & González, R. C. 2002. Geoestadística aplicada. Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente de Cuba: México DF, Mexico, 31-57.

Whiley AW, Schaffer B, y Wolstenholme BN. 2002. The Avocado: Botany, Production and Uses. CABI Publishing, Oxon UK. 416 pp.