

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO



**DOCTORADO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
RECURSOS NATURALES**

Análisis espacial de las poblaciones de *Oligonychus perseae* (Tuttle, Baker y Abatiello) y *Araptus schwarzi* (Blackman) en el cultivo de aguacate en el Estado de México

T E S I S

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

PRESENTA:

ANA VERONICA LARA DIAZ

COMITÉ DE TUTORES:

Dr. José Francisco Ramírez Dávila

Dr. Martín Rubí Arriaga

Dr. Juan Campos Alanís.

CAMPUS UNIVERSITARIO "EL CERRILLO" PIEDRAS BLANCAS, TOLUCA,
ESTADO DE MÉXICO. DICIEMBRE 2019.

RESUMEN

A la par del incremento del cultivo del aguacate en México, se encuentra la incidencia de plagas, estas causan pérdidas directas en el fruto que es rechazado a causa de la presencia de daños o síntomas del ataque de plagas y enfermedades. El uso de agroquímicos no ha cambiado en los últimos años, por el contrario, se incrementa pese a los daños adversos que originan tanto en el ser humano, el ambiente y el fruto, por lo que es crucial la existencia de técnicas que coadyuven al desarrollo del cultivo de una manera más saludable y procurando un equilibrio ecológico.

En el Estado de México, la presencia de las plagas se hace compleja debido a que existen huertos con árboles de gran porte, laderas y terrenos accidentados, falta de equipo adecuado y falta de un plan de monitoreo, adicional a un gran desconocimiento de nuevas alternativas de control que apoyen los planes de manejo y monitoreo de plagas del cultivo de aguacate. Por ello el presente trabajo desarrollar el análisis del comportamiento espacial de *Oligonychus perseae* y *Araptus Schwarzii* en el cultivo de aguacate cv. Hass en el Estado de México para así, contar con una herramienta útil y aplicable en el control de ambas especies.

El trabajo se llevó a cabo durante el año 2017–2018 el estudio comprendió los municipios de Coatepec Harinas, Temascaltepec, Tenancingo y Donato Guerra Estado de México para el estudio de *O. perseae* y para el estudio de *A. schwarzii* Villa Guerrero y Tenancingo Estado de México, en ambos casos los municipios son importantes por la producción de aguacate.

El análisis espacial se elaboró bajo los conceptos de la geoestadística, donde se determinó el variograma experimental que fue adecuado a un modelo teórico (esférico, gaussiano, exponencial), este ajuste fue validado mediante el método de validación cruzada, posteriormente se obtuvieron los mapas de agregación por medio del krigado ordinario y a partir de ellos, se calculó la superficie infestada; este método fue aplicado para ambas especies objeto de estudio.

Los resultados obtenidos de *O. perseae* muestran que las mayores incidencias de araña cristalina se encontraron en Tenancingo, mientras que las menores poblaciones se encontraron en Coatepec Harinas. La presencia de ambos organismos se presentó en centros de agregación ajustándose a modelos esféricos principalmente, obteniendo una dependencia espacial alta en todo el año de

muestreo, gracias a los mapas obtenidos por medio del krigado ordinario permitieron identificar las áreas específicas donde se distribuye este ácaro, además se pudo colaborar con algunos productores mostrándoles cómo es que funcionaban este tipo de técnicas y como estas pueden servir para prevención y control de araña cristalina en aguacate.

En el caso de *A. schwarzi*, un barrenador secundario de la semilla de aguacate, primero se llevó a cabo la identificación del insecto en el Colegio de Posgraduados Campus Montecillo. Como resultado del análisis geoestadístico se obtuvo que Tenancingo y Villa Guerrero presentaron una distribución espacial agregada, esto quedó corroborado con los mapas obtenidos mediante el krigado ordinario, se calculó la superficie infestada para ambos municipios y se estimó el nivel de dependencia espacial alto para todos los casos. Los meses de mayor incidencia fueron abril y mayo en ambos casos existiendo un decremento notable en la época invernal. Cabe señalar que el insecto se encontró durante todo el año en el agrosistema aguacate.

Hasta el momento, son pocos los reportes acerca de la distribución espacial de insectos especialmente en el Estado de México, lo que convierte a las geotecnologías en punta de lanza para poner en marcha planes de manejo y monitoreo de los problemas fitosanitarios de los cultivos de importancia como lo es el aguacate.

Palabras clave: Distribución espacial, Geoestadística, *Persea americana* Mill.

ABSTRACT

Along with the increase in avocado cultivation in Mexico, there is the incidence of pests, these direct causal losses in the fruit that is rejected due to the presence of damage or symptoms of the attack of pests and diseases. The use of agrochemicals has not changed in recent years, on the contrary, it increases despite the adverse damage that originates in both the human being, the environment and the product, so the existence of techniques that contribute to development is crucial of cultivation in a healthier way and seeking an ecological balance.

In the State of Mexico, the presence of pests becomes complex because there are orchards with large trees, hillsides and rugged terrain, lack of adequate equipment and lack of a monitoring plan, in addition to a great ignorance of new alternatives of control that support the management and pest monitoring plans of the avocado crop. Therefore, the present work developed the analysis of the spatial behavior of *Oligonychus perseae* and *Araptus schwarzi* in the cultivation of avocado cv. Hass in the State of Mexico to have a useful and applicable tool in the control of both species.

The work was carried out during 2017–2018 the study included the municipalities of Coatepec Harinas, Temascaltepec, Tenancingo, Donato Guerra Estado de México for the study of *O. perseae* and for the study of *A. schwarzi* Villa Guerrero and Tenancingo State of Mexico, in both cases the municipalities are important for the avocado production.

The spatial analysis was developed under the concepts of geostatistics, where the experimental variogram was determined that was appropriate to a theoretical model (spherical, Gaussian, exponential), this adjustment was validated by the cross-validation method, subsequently the maps of aggregation by means of ordinary kriging and from them, the infested surface was calculated; This method was applied to both species under study.

The results obtained from *O. perseae* show that the highest incidence of crystalline spider was found in Tenancingo, while the lowest populations were found in Coatepec Harinas. The presence of both organisms was presented in aggregation centers, adjusting mainly to spherical models, obtaining a high spatial dependence throughout the sampling year, thanks to the maps obtained through ordinary kriging, they allowed to identify the specific areas where this mite is distributed, In addition, it was possible to collaborate with some producers by showing them how this type of techniques worked and how they can be used for prevention and control of crystalline spider in avocado.

In the case of *A. schwarzi*, a secondary avocado seed borer, insect identification was first carried out at the Montecillo Campus Graduate College. As a result of the geostatistical analysis it was obtained that Tenancingo de Degollado and Villa Guerrero presented an aggregate spatial distribution, this was corroborated with the maps obtained by means of ordinary kriging, the

infested area for both municipalities was calculated and the level of high spatial dependence was estimated for all cases. The months of greatest incidence were April and May in both cases, there being a notable decrease in the winter season. It should be noted that the insect was found throughout the year in the avocado agrosystem.

So far, there are few reports about the spatial distribution of insects especially in the State of Mexico, which makes geotechnologies spearhead to implement management plans and monitoring of phytosanitary problems of important crops as is the avocado.

Key words: Spatial distribution, Geostatistic, *Persea americana* Mill.

CONTENIDO

DEDICATORIAS	i
RESUMEN.....	ii
ABSTRACT.....	iv
AGRADECIMIENTOS.....	vi
CONTENIDO.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 Origen e Historia del aguacate.....	4
2.1.1 El nombre aguacate	4
2.1.2 Centro de origen y domesticación	4
2.2 Morfología y Taxonomía	7
2.2.1 Sistema radicular.....	7
2.2.2 Hojas	7
2.2.3 Flores y floración.....	7
2.2.4 Frutos	8
2.2.5 Estados fenológicos del aguacate	9
2.2.6 Clasificación taxonómica de <i>Persea americana</i> Mill.....	10
2.3 Variedad Hass.....	10
2.3.1 Origen.....	10
2.3.2 Características.....	11
2.3.3 Requerimientos Edafoclimáticos	12
2.4 Importancia económica	13
2.4.1 Panorama Aguacate Nivel Mundial.....	13
2.4.2 Aguacate a nivel Nacional	13

2.4.3	Importancia regional Estado de México	14
2.5	Enfermedades y Plagas asociadas al cultivo de aguacate.....	14
2.5.1	Enfermedades del aguacatero	15
2.5.2	Plagas del aguacate.....	19
	Historia.....	26
	Sintomas y Daños.....	27
	Generalidades de la araña cristalina.....	28
	Morfología y taxonomía.....	28
	Construcción de nidos por <i>Oligonychus perseae</i>	31
	Clasificación Taxonómica	32
	Sintomatología y daños ocasionados.....	32
	Alternativas de control.....	33
2.5.2.9	Araphthus schwarzi Blackman	35
2.9.1	Distribución y hospederos	35
	Morfología.....	35
	Taxonomía.....	36
	Daños	36
2.6	Geoestadística.....	37
2.7.1	Datos geoestadísticos	38
2.8	Análisis espacial	38
2.9	Estadística vs geoestadística	38
2.10	Etapas de un análisis geoestadísticos	39
2.11	Semivariograma	39
2.12	Detección y modelización de la dependencia espacial mediante el variograma.	40
2.12.1	Variograma experimental.	41
2.12.2	Elementos básicos del semivariograma.....	41
2.12.3	Nivel de dependencia espacial o Indicador de dependencia espacial (IDE).	43
2.12.3	Cálculo del semivariograma a partir de los datos.....	43
2.12.4	Reglas relacionadas con los componentes del estimador:	44
2.13	Limitaciones del semivariograma	45
2.14	Variograma teórico	45

2.14.1 Modelos autorizados de variograma	47
2.15 Validación cruzada del modelo de variograma o “Cross-validation”	49
2.16 Interpolación.....	50
2.17 Definición del Kriging	51
2.17.1 Ventajas del krigeado sobre la mayoría de los interpoladores	52
2.18 Tipos de distribución espacial	53
2.19 Análisis espacial de la información	54
2.20 Importancia de la distribución espacial	55
2.21 La geoestadística en el estudio de las poblaciones de las plagas	55
2.22 Distribución espacial de insectos	56
III. JUSTIFICACIÓN	59
IV. HIPÓTESIS.....	61
V. OBJETIVOS.....	62
VI. MATERIALES Y MÉTODOS.....	63
6.1 <i>Oligonychus perseae</i> (Tuttle, Baker y Abbatiello).....	63
6.1.1 Zona de estudio.....	63
6.1.2 Selección de las zonas de estudio	63
6.1.3 Ubicación y descripción del área de estudio	63
6.1.4 Trabajo de gabinete	65
6.1.5 Desarrollo de trabajo de campo	65
6.1.6 Análisis Geoestadístico	65
6.2 <i>Araptus schwarzi</i> (Blackman).....	68
6.2.1 Trabajo de gabinete	68
6.2.2 Área de estudio.....	68
6.2.3 Ubicación y características del área de estudio.....	68
6.2.4 Diseño maestral y Trabajo de campo.....	69
6.2.5 Trabajo de laboratorio	71
6.2.6 Análisis Geoestadístico	71
VII. RESULTADOS	74
7.1 Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas: Modelización espacial de <i>Oligonychus perseae</i> (Tuttle, Baker y Abbatiello) mediante técnicas geoestadísticas.....	75

7.2 Revista Fitotecnia Mexicana: Modelización espacial de las poblaciones de <i>Oligonychus perseae</i> (Tuttle, Baker y Abbatiello) en el Estado de México.....	88
7.3 Revista Acta Universitaria: Análisis de la disposición espacial de <i>Araptus schwarzi</i> Blackman (Coleoptera: Scolytidae) en el cultivo de aguacate en Tenancingo, Estado de México.	104
7.4 Revista Ecosistemas y Recursos Agropecuarios: COMPORTAMIENTO ESPACIAL DE <i>Araptus schwarzi</i> (COLEOPTERA: SCOLYTIDAE) EN AGUACATE EN VILLA GUERRERO ESTADO DE MÉXICO	130
VIII. DISCUSIÓN GENERAL.....	148
8.1 <i>Oligonychus perseae</i> (Tuttle, Baker y Abbatiello).....	149
8.2 <i>Araptus Schwarzi</i> (Blackman).....	153
IX. CONCLUSIONES	157
9.1 <i>Oligonychus perseae</i> (Tuttle, Baker y Abbatiello)	157
9.2 <i>Araptus Schwarzi</i> (Blackman).....	158
X. BIBLIOGRAFÍA.....	159

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. FASES FENOLÓGICAS DEL CULTIVO DE AGUACATE (TOMADO Y MODIFICADO DE COSMAGRO, 2018).....	9
FIGURA 2. CICLO BIOLÓGICO DE <i>OLIGONYCHUS PERSEAE</i> SOBRE HOJAS DE AGUACATE CV. HASS...	31
FIGURA 3. SEMIVARIOGRAMA FUENTE: (RODÓN, 2007)	42
FIGURA 4. VARIOGRAMA EXPERIMENTAL Y VARIOGRAMA TEÓRICO. FUENTE: (RODÓN, 2007)	46
FIGURA 5. SEMIVARIOGRAMAS TEÓRICOS MÁS COMUNES.....	49
FIGURA 6. RELACIÓN ENTRE LOS VALORES UTILIZANDO UNA VALIDACIÓN CRUZADA.	49
FIGURA 7. PREDICCIÓN ESPACIAL POR KRIGEADO	52
FIGURA 8. TIPOS DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL.....	54
FIGURA 9. ETIQUETADO Y GEORREFERENCIACIÓN DE LAS ÁREAS DE ESTUDIO.....	70
FIGURA 10. MUESTREO DE <i>A. SCHWARZI</i>	70

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. CARACTERÍSTICAS EDAFOCLIMÁTICAS DE LOS MUNICIPIOS DE ESTUDIO.....	64
TABLA 2. CARACTERÍSTICAS EDAFOCLIMÁTICAS DE LOS MUNICIPIOS DE ESTUDIO.....	68
TABLA 3. LISTADO DE ARTÍCULOS DERIVADOS DE LA INVESTIGACIÓN.	74

I. INTRODUCCIÓN

El aguacate (*Persea americana* Mill.) es uno de los cuatro frutos tropicales más importantes a nivel mundial con una producción anual de 6, 048,000 toneladas (FAO, 2017). A nivel mundial cerca del 80% de aguacate pertenece al cv. Hass. México aporta cerca del 30% de la producción mundial, lo que lo convierte en el principal productor de este fruto (SENASICA, 2017). En el país, este cultivo se encuentra en 27 estados de la república, entre los que destacan por su volumen de producción están Michoacán (82.9%), Jalisco (5.7%), México (5.4%), Morelos (1.5%) y Puebla (1.3%) (SIAP Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2019).

Existen múltiples factores que inciden sobre la producción de aguacate (clima, tipo de suelo, disponibilidad de agua, fertilización entre otras), pero uno de las principales limitantes de la calidad es la presencia de plagas y enfermedades; estos factores determinan las exportaciones y el precio en el mercado.

El aguacate mexicano ha estado sujeto a disposiciones fitosanitarias por más de 85 años y es hasta en año de 1997, cuando se permite la exportación a Estados Unidos y de ahí, el aguacate mexicano ha ido abriendo fronteras alrededor del mundo siempre vigilando la calidad de la fruta debido a la presencia de plagas y enfermedades (PRODUCE, 2003). En este sentido, actualmente existen huertas certificadas libres de plagas o enfermedades categorizadas como cuarentenarias pero la adaptación de nuevas especies fitófagas dificulta estas acciones.

Al igual que otros estados que se dedican a la producción de aguacate, en el Estado de México, concurren diversas plagas en los huertos comerciales que limitan el comercio internacional de aguacate, entre las principales plagas tenemos Trips (*Thysanoptera*), barrenador de ramas (*Copturus aguacatae*), los barrenadores pequeños de la semilla de aguacate (*Conotrachelus persea* y *Conotrachelus aguacatae*), palomilla barrenadora de la semilla de aguacate (*Stenoma catenifer*), barrenador grande de la semilla (*Helipus lauri*), araña roja (*Oligonychus punicae*), entre otras.

En el caso de plagas de menor importancia, tenemos a la araña cristalina, es un ácaro erróneamente llamado araña blanca, cristalina o telarañera, en alusión a su apariencia y hábito de protección, la cual se encuentra en la mayoría de las plantaciones siendo una excepción las huertas

de clima templado húmedo, ahí las incidencias son bajas. En los últimos años, esta plaga ha sido más recurrente debido al cambio climático caracterizado por temporadas de sequía prolongadas, lo que ha generado altas infestaciones que causan defoliaciones severas y reducen la productividad de la planta (Coria, 1993; Sánchez *et al.*, 2001). Los árboles de un huerto altamente infestado pueden presentar defoliación, debilitamiento general y, en consecuencia, tienden a ser raquíuticos, con frutos poco desarrollados y escasos, su presencia es anual, pero con mayor severidad en primavera y otoño. Es favorecido por temperaturas altas y lluvia escasa, aunque a diferencia de *O. punicae*, este ácaro persiste en condiciones de lluvia moderada (Gómez, 1987; Coria, 1993; Sánchez *et al.*, 2001; Equihua, Estrada, y González, 2007). En los huertos de producción, el monitoreo de esta plaga se descuida al no ser un problema que afecta al fruto y el uso de control biológico es poco efectivo, ya que la telaraña protege a los ácaros del ataque de los enemigos naturales. Las medidas de control no han sido eficientes, por tanto, se siguen buscando alternativas de control y prevención, en este sentido se aplicaron técnicas geoestadísticas como una posible alternativa de control aplicado al cultivo de aguacate. Con esta metodología podemos conocer las zonas infestadas y plantear un plan de manejo de las zonas con presencia de araña cristalina obteniendo mapas que ilustren las zonas afectadas por el ácaro, además de poder conocer el comportamiento de la plaga a través del tiempo mediante la estabilidad espacial.

Los escolítidos son un grupo que no se ha estudiado afondo en México mucho menos para el frutal de mayor importancia como lo es el aguacate, la gran mayoría de estudios solo incluyen su taxonomía de algunas especies y donde fueron encontrados y poco se sabe de su ciclo biológico. Este grupo se caracterizan por alimentarse bajo la corteza de plantas, atraídos por los compuestos generados a partir de la fermentación y muerte de la madera (Wood, 1982a; Pérez De la Cruz, Equihua, Romero, y Valdés, 2009a), estas especies emergen de sus galerías como adultos durante la primavera o verano buscando aparearse o un nuevo hospedero que colonizar, su principal importancia económica está ligada a la producción de madera. *A. schwarzi* es un barrenador secundario del aguacate, que hasta ahora solo está ligado a la afectación de semillas desnudas o frutos maduros caídos de aguacate, estos reciclan nutrientes provenientes de la degradación de la semilla de aguacate, aun no se tienen muchos trabajos al respecto de este insecto desconociendo su biología general, composición, ecología y comportamiento (Burgos y Equihua, 2007). En este trabajo abordamos la distribución espacial del escolítino, ya que con ello conoceremos un poco

más sobre su ciclo de vida y el comportamiento que sigue a través del tiempo evitando su diseminación a otras huertas de producción u otros cultivos.

La geoestadística es una herramienta que puede ayudarnos a evitar la diseminación de este y otros problemas fitosanitarios, ya que conociendo los puntos específicos donde se encuentran los insectos podremos planear medidas de control dirigidas a esos puntos, evitando así la aplicación generalizada y por ende la contaminación con plaguicidas.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Origen e Historia del aguacate

El árbol de aguacate (*Persea americana* Mill.) es una especie que se encuentra muy arraigada en diversas culturas desde tiempos precolombinos.

En el área de Mesoamérica este frutal de clima tropical y subtropical presenta diversidad y su fruto se distingue por acumular aceites en su pulpa, en lugar de azúcares.

2.1.1 El nombre aguacate

En muchos países de habla hispana se le conoce como aguacate o palta, proviene del término **“ahuacatl”**, **vocablo de origen náhuatl, que significa testículo en lengua Maya**. La palabra aguacate **se deriva de “ahuácatl**, debido a la forma de los frutos de algunas variedades. Los aztecas llamaban **“ahuacacuáhuatl” a la planta, palabra proveniente de dos vocablos, “ahuácatl”, y “cahuatl, árbol o sea “árbol de aguacate”** (Quintanar, 1983).

2.1.2 Centro de origen y domesticación

Muchas son las controversias de sus centros de origen algunos autores lo han ubicado en el área que actualmente ocupa la Sierra Nevada en California (Galindo y Arzate, 2010a) (Smith, 1966). Existen trabajos de taxonomía que han sido cuestionados y revisados varias veces hallando relaciones genéticas complejas.

A lo largo de cientos de años de domesticación se ha generado variabilidad con características fisiológicas, morfológicas y climatológicas variadas, lo que permite diferenciarlas; adicionalmente a la variabilidad propia de la diferencias ecológicas de las zonas de donde se han obtenido los materiales genéticos nativos y de la diversidad de costumbres y tradiciones a través de los diversos grupos culturales que lo domesticaron, aunado a ello también están los largos periodos de polinización abierta e híbrida (Jardón *et al.*, 2011).

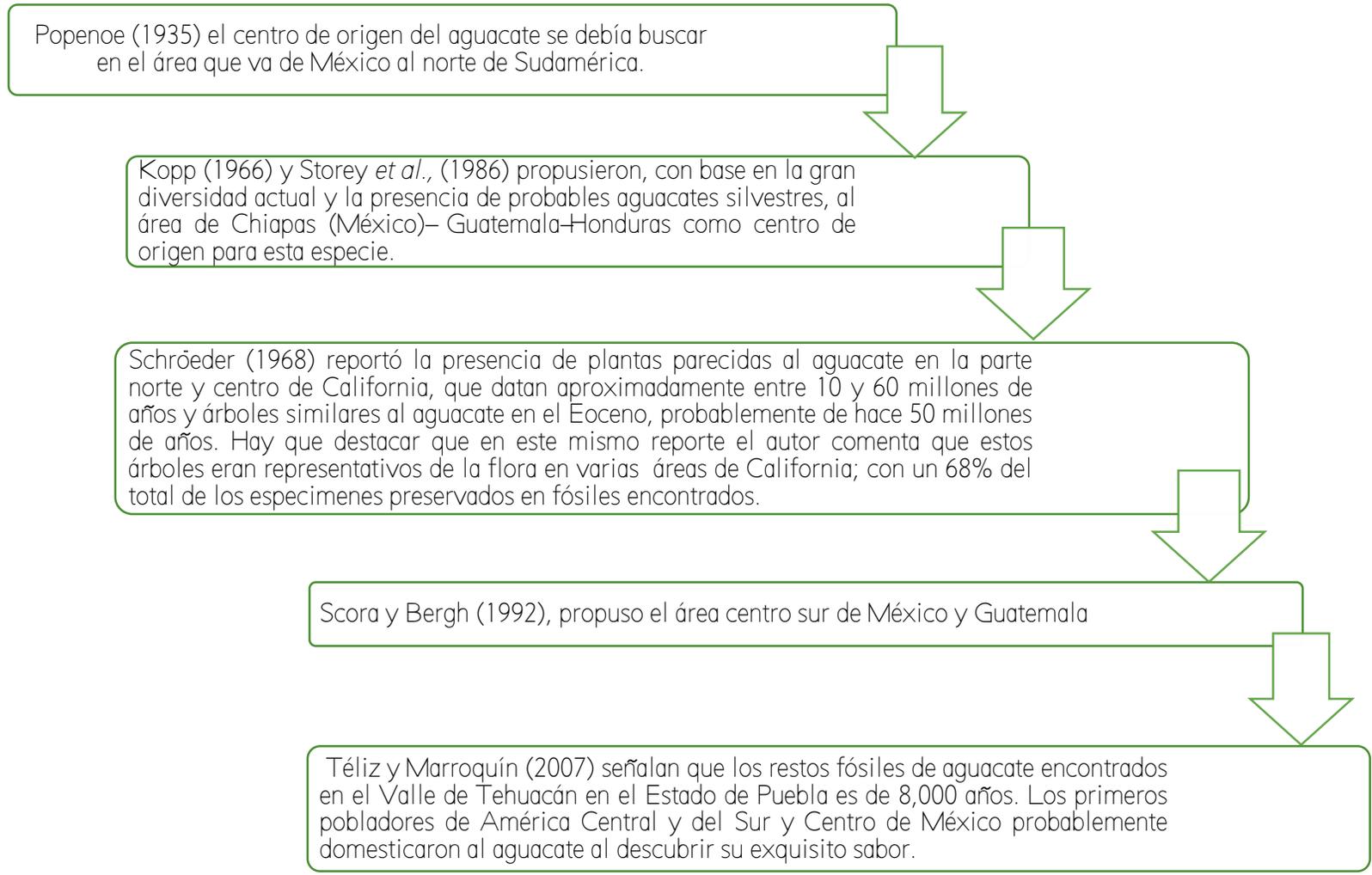
El origen y domesticación del aguacate ha sido documentada como lo demuestran los estudios arqueológicos donde señalan que el aguacate era consumido por los humanos desde 8000 a 7000 años A.C. (Smith, 1966); la primera domesticación sucedió probablemente desde que el primer

grupo de humanos comenzó a utilizar y a consumir el aguacate, más tarde las primeras culturas mesoamericanas como los Mokayos continuaron con el proceso de domesticación y por consiguiente transfirieron el conocimiento a otras culturas como los Olmecas y los Mayas. Contrario a lo reportado por los autores mencionados, Galindo, Ogata y Arzate (2008) mencionan que la domesticación del aguacate se dio desde tiempos precolombinos en Mesoamérica, sin embargo, hasta el día de hoy no se tiene claro dónde y cuándo se originó el aguacate, se ha revisado la literatura y encontramos reportados varios centros de origen propuestos para esta especie.

Las primeras culturas americanas contaban con un buen conocimiento acerca del aguacate y sus variantes, siendo en el códice florentino donde se mencionan tres tipos de aguacate (Barrientos y López, 2000) cuya descripción supone que *aoacatl*, podría tratarse de *Persea americana* var. *Drymifolia* (raza Mexicana) (Schlecht. And Cham. Blake), “**tlacacolaocatl**” *Persea americana* var. *americana* Mill (raza antillana) y *quilaocatl* *Persea americana* var. *Guatemalensis* (raza Guatemalteca) (Williams, 1977; Barrientos y López, 2000). El cultivo encontró un fuerte auge en Centro y Sudamérica y se dice que después de la colonización salió del continente americano, siendo los españoles quienes lo llevaron a Europa en el siglo XVI.

Sin embargo, las evidencias son circunstanciales y se fundamentan principalmente en la distribución geográfica actual de la especie por lo que ha sido difícil esclarecer donde y cuando pudo haberse originado esta especie. El origen de los ancestros de la familia Lauraceae se ha ubicado en Gondwana y su dispersión hasta América del Norte ha sido revisada por Scora y Bergh, (1992), ellos proponen que el aguacate evolucionó durante el terciario, de progenitores provenientes de Laurasia y que la especie se originó en América Central, durante el Mioceno–Plioceno (22–1,8 millones de años) cuando se formó el istmo de Panamá y emergieron las montañas. Se ha reportado que el aguacate está presente en zonas boscosas y selvas con un clima tropical, subtropical y templado–cálido de Centroamérica, sureste mexicano y en las regiones centrales de México en donde se han encontrado diversas variedades silvestres de aguacate.

En este sentido se presentan algunas discrepancias entre diversos autores acerca del origen del aguacate.



Persea americana Mill es una especie que ha presentado mucho interés por parte de los investigadores y actualmente se tienen descritas ocho variedades de las cuales, tres son las que actualmente conocemos y las de mayor importancia hortícola: la raza mexicana (*Persea americana* var. *drymifolia*), la Guatemalteca (*Persea americana* var. *guatemalensis*) (Williams, 1977), y la antillana (*Persea americana* var. *Americana*) (Chanderbali *et al.*, 2008). Estas variedades y sus hibridaciones han dado origen a los cultivares modernos del aguacate (Knight R. J y Campbell W, 1999), todas ellas diferenciadas por su altura de planta, en la forma, color y tamaño del fruto, color de follaje y adaptación a diferentes condiciones climáticas y de suelo.

2.2 Morfología y Taxonomía

El árbol de aguacate es vigoroso, perennifolio y puede llegar a tener hasta 30 m de altura, tiene una vida útil como cultivo comercial de hasta 50 años, aunque estas características pueden variar de acuerdo a la variedad.

2.2.1 Sistema radicular

Es superficial, pueden alcanzar una profundidad máxima de 1,50 m (entre el 70 y 80% de las raíces se desarrollan en los primeros 60 cm del suelo) se debe tener precaución porque es bastante susceptible al encharcamiento y al ataque de otros organismos fitopatógenos.

2.2.2 Hojas

Están dispuestas de forma alterna, pedunculadas muy brillantes de forma lanceolada, con base aguda, margen entero y ápice agudo. El color de las hojas maduras es verde mate, el peciolo presenta estrías o surcos y el relieve de la venación por el haz es intermedio, usualmente levantado (Rodríguez, 1992).

2.2.3 Flores y floración

La flor en racimos subterminales es bisexual o unisexual de pedúnculo corto presentando el fenómeno de asincrónica de la polinización dependiente del fotoperiodo, presenta dicogamia relacionada con la temperatura y la luminosidad, lo que significa que hay la posibilidad de que el órgano femenino no este receptivo en el mismo momento que es

liberado el polen (gameto masculino), imposibilitando la fecundación. Para hacer frente al problema en general se siembran diferentes variedades. La inflorescencia del aguacate ocurre en las ramas de un año de edad y en los brotes del mismo año. De aquí la importancia de una poda adecuada, para mantener o cuidar estas ramas secundarias y eliminar las posibles ramas “chuponas” (únicamente vegetativas).

El aguacate tiende a producir naturalmente la floración y por consiguiente la fructificación en una forma alejada del eje, la floración es típicamente lateral, es decir que la yema terminal de la rama se desarrolla en forma vegetativa, aunque este desarrollo será diferente según las variedades (Rodríguez, 1992).

2.2.3.1 Particularidades de la floración

Según el modo de floración cada flor abre en dos momentos distintos (los órganos femeninos y masculinos son funcionales en diferentes tiempos, lo que evita la autofecundación). Por esta razón, las variedades se clasifican con base en el comportamiento de las inflorescencias en dos tipos: A y B en cualquiera de las dos, las flores abren primero como femeninas cerrando por periodos fijos, para la segunda apertura abren como masculinos (Cabezas, Hueso, y Cuevas, 2003).

- Tipo A primera apertura (femenina): inicia en la mañana y termina antes del mediodía, la segunda apertura (masculina) ocurre en la tarde del siguiente día teniendo un ciclo de apertura de la flor que va de 30–36 horas.
- Tipo B es el patrón contrario; la apertura femenina ocurre en la tarde y la apertura masculina en la siguiente mañana su ciclo de apertura floral es de 20 a 24 horas (Stout, 1927; Galang y Morada, 1935; Traub *et al.*, (1941) citado por Gazit y Degani, 2007).

2.2.4 Frutos

Es de tipo drupa, ovalado, de tamaño pequeño a mediano tiene corteza gruesa con textura de corcho y superficie áspera, con el exocarpo verde, mesocarpio muy carnoso y oleoso de color amarillo al interior y verde hacia el exterior, semilla ovoide de 4 a 6 centímetros de largo (Guerreros, 2017). El aguacate es una fruta climatérica, lo que significa que su fruto

empieza a madurar en el árbol, pero finaliza su maduración cuando los cortan. Una vez alcanzado el volumen natural del fruto, la etapa final del desarrollo consiste en una serie de transformaciones físico-químicas a partir de las cuales culmina el proceso previo a la cosecha del producto, en el ciclo natural, este se desprende cayendo y descomponiéndose (Rodríguez, 1992).

2.2.5 Estados fenológicos del aguacate

El aguacate como un cultivo perenne, tiene un desarrollo vegetativo anual, siempre habrá desarrollo de hojas y brotes nuevos en mayor o menor cantidad esto de acuerdo con las variedades y las condiciones climáticas de cada zona.

La oferta del aguacate está supeditada a los principales tipos de floración de la planta, así como la época en que esta se presenta. La oferta mayor del aguacate es de octubre a febrero, la media es de marzo a mayo y la temporada baja es de junio a septiembre. Michoacán es el único estado que presenta producción durante todo el año.

A continuación, se muestra el esquema representativo de la fenología, floración y cosecha.



Figura 1. Fases Fenológicas del cultivo de aguacate (tomado y modificado de Cosmagro, 2018).

2.2.6 Clasificación taxonómica de *Persea americana* Mill.

Pertenece a la familia Lauraceae, uno de los grupos de angiospermas más antiguos (Renner, 1999). Se caracteriza por su gran variabilidad y por ser una familia muy numerosa con alrededor de 92 géneros descritos y un número indeterminado de especies que varía de 2,840 a 3,340 distribuidas por todas las regiones tropicales y subtropicales del mundo (Renner, 2004).

Taxonomía del aguacate:

Reino: Plantae

Subreino: Tracheobionta

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Laurales

Familia: Lauraceae

Género: *Persea*

Raza: Mexicana, Guatemalteca y Antillana

Especie: *Persea americana* L.

Nombre binomial: *Persea americana* Mill

Nombre científico: *Persea americana*
(Barrientos y López, 1999)

Nombres vulgares: Avocado en inglés, palta en español (Condori, 2016).

2.3 Variedad Hass

2.3.1 Origen

El aguacate cv. Hass fue patentada en 1935 por Rudolph Hass, en Hebra Heigsts (California), esto debido a la calidad de frutos, y alto rendimiento en producción y maduración tardía (Whiley, Schaffer, y Wolstenholme, 2002)

Este fue obtenido de los grupos Antillano y Guatemalteca cruzado en 1926 esta posee 95% de las características de la raza guatemalteca y solamente 5% de la raza mexicana. Fue patentada en Hebra Heights, California Estados Unidos por Rudolph Hass en 1935, comenzando su propagación a gran escala y es la principal variedad comercial en el mundo (Acosta J, [1590]1985) (Téliz, 2000) esta variedad ha sido muy desarrollada y comercializada en EE.UU y difundida en Israel, Islas Canarias, Sur de España, México y América del Sur; su calidad de frutos, alto rendimiento en producción y maduración tardía, comparado con otras variedades importantes para la época.

2.3.2 Características

En el cv. Hass, el fruto es auto fértil, sin embargo obtiene mejores resultados polinizándolo con las variedades Fuerte y Ettinger, el árbol tiene un crecimiento inicial lento a moderadamente agresivo (depende de la radiación solar de la zona), posee una copa achaparrada, muy productiva en los tercios inferior y medio, las hojas son lanceoladas y largas, alcanza altas producciones bajo condiciones ecológicas apropiadas, el fruto es de tamaño mediano de forma variable desde periforme y ovoide, piel gruesa y de color verde que se torna morado al madurar, con un peso de 150 a 300 gramos, la pulpa es de excelente sabor no posee fibra y contiene del 18 a 22% de aceite, presenta resistencia a la manipulación y transporte, tiene un sabor entre nuez y avellana, con textura suave – cremosa y una semilla de pequeña a media disponible todo el año.

La floración principal ocurre de diciembre a marzo y la cosecha de noviembre a abril. Ocasionalmente presenta una floración entre agosto y octubre, denominada loca debido a que esta fuera del periodo normal. En general se estima que en la variedad Hass, en el período de flor a fruto oscila entre 9 y 14 meses, aumentando con la altura sobre el nivel del mar (Amórtegui, 2001; Alfonso, 2008)

2.3.3 Requerimientos Edafoclimáticos

Región agroecológica	<ul style="list-style-type: none">• Templado subhúmedo
Altura(msnm)	<ul style="list-style-type: none">• A menos de 1,000 msnm no hay fructificación• A 2,000 msnm las horas luz son menores y las temperaturas son bajas, y hay una tasa de fecundación baja.
Pendiente	<ul style="list-style-type: none">• 0 a 15%
Temperatura	<ul style="list-style-type: none">• 15 a 30°C temperaturas bajas pueden causar quemaduras en la fruta por cosecha.
Precipitación	<ul style="list-style-type: none">• 1,000 a 1,200 (mm) anuales sequías prolongadas provocan caída de hojas, reduciendo el rendimiento y fruta de menor calibre, el exceso de precipitaciones en etapas de floración o fructificación reduce producción y caída de fruto.
Suelo	<ul style="list-style-type: none">• Prefiere suelos francos, moderadamente profundos con poca salinidad y buen drenaje, puesto que es muy susceptible.• pH óptimo oscila entre 6.0 a 7.5.

Fuente: Manual de Manejo Pre y Pos cosecha de Aguacate (Ibar, 1986; Cerdas, Del M, Calderon, y Diaz C, 2006).

2.4 Importancia económica

2.4.1 Panorama Aguacate Nivel Mundial

La diversificación de los mercados ha significado un realce en las exportaciones ahora México, representa entre el 60 y 65% del consumo mundial del fruto, entre los principales importadores de fruta de aguacate tenemos a Estados Unidos con 790,92 millones de toneladas, para Canadá el aguacate tuvo un aumento en el volumen de exportación, pasando de 60 mil 877 toneladas exportadas en 2017 a 74 mil 358 en 2018, un aumento de 22%, en China el aumento fue del 108%, al pasar de 6 mil 298 toneladas a 13 mil 75 y en Japón el aumento fue de 15%, al pasar de 46 mil 200 toneladas a 53 mil 100, de acuerdo con datos de (APEAM, 2019) al cierre 2018.

Persea americana Mill ha incrementado sus volúmenes de producción y consumo en los últimos años en todo el mundo debido a que es un producto incomparable, de buen sabor y con un alto contenido nutricional. Países como México, Estados Unidos y gran parte de los países latinoamericanos demandan grandes cantidades de aguacate, pero no debemos dejar de lado a los países europeos quienes han abierto las puertas a un gran alimento como lo es el aguacate.

2.4.2 Aguacate a nivel Nacional

En México la producción de aguacate muestra gran dinamismo a partir de los años setenta, el crecimiento progresivo del 3,54%, según datos de la Asociación de Productores y Empacadores Exportadores de Aguacate en Michoacán, (APEAM, 2019) (SIAP, 2018) reporta 2, 186,376 toneladas, con un promedio de 10,609 ton/ha, teniendo una superficie de siembra de 231,028 ha y una superficie cosechada de 206,078 has. Los datos más actuales generados para el primer semestre de 2019, reportan 772,973 ha sembradas (SIAP, 2019).

El lugar predominante que México ocupa en la producción mundial de aguacate, revela su importancia a nivel internacional, así como el dinamismo de su crecimiento. Los actores principales de este auge son los estados de Michoacán (1, 207,194 ton), Jalisco (68,784 ton), México (64,873ton), Morelos (18,360 ton), Puebla (15,195 ton), Guerrero (15,192 ton) entre

otras esto de acuerdo con datos del SIAP (2019) correspondientes a datos del ciclo 2018–2019.

2.4.3 Importancia regional Estado de México

El estado de México contribuye en la producción de aguacate con un 5.4% ya que aportó una producción de 64,873 ton esto en el ciclo 2018–2019 (SIAP, 2019). El cultivo se encuentra distribuido en treinta municipios del estado, los que destacan son Coatepec Harinas con una producción de 29,390 ton en una superficie de 2,125 ha, Temascaltepec con 12,956 ton con una superficie de 1,558 ha, Tenancingo colabora con 9,696 ton en 884 ha, Donato Guerra presenta una producción de 15,173 ton en un área de 1,456 ha, estos municipios 73% de la producción de fruta que es exportada en su mayoría, el 27% restante proviene de los municipios de Almoloya de Alquisiras, Ocuilan, Malinalco, Joquicingo, Zumpahuacan, Villa Guerrero, Ixtapan de la Sal, Sultepec, San Simón de Guerrero, Tejupilco, Amatepec, Oztoloapan, Santo Tomas de los Plátanos, Amanalco de Becerra, Valle de Bravo, Villa de Allende e Ixtapan del Oro (SIAP, 2018).

El cultivo sigue en desarrollo teniendo como variedad predominante es la variedad Hass en cantidades menores la variedad Fuerte y algunos criollos, las condiciones climatológicas del estado le han permitido tener una producción anual importante; se sabe que en el estado hay 3 mil 773 productores quienes ya exportan a países como Canadá y España, y sigue en aumento el crecimiento de las plantaciones.

2.5 Enfermedades y Plagas asociadas al cultivo de aguacate

La explotación comercial del aguacate como un monocultivo tiende a manifestar diversos problemas de tipo fitosanitario que de manera comercial es importante controlar puesto que muchas veces la comercialización de la fruta se ve limitada por este factor, en las huertas como en los frutos encontramos la presencia de insectos o ácaros, hongos, virus, bacterias, malezas, entre otras. Existen al menos 49 especies que se consideran como plaga para los árboles de aguacate, pero solo 12 se consideran de mayor importancia las cuales están incidiendo en todas las etapas de producción, los daños más evidentes se dan en la etapa de madurez fisiológica de los frutos. En plantaciones comerciales o plantaciones de traspatio la

presencia de enfermedades se ve reflejada en producción de fruta la cual es apreciada por su sabor y valor nutricional a nivel mundial; actualmente con el cambio climático el fruticultor debe de manejar estrategias de mitigación que permitan mantener las enfermedades presentes en el cultivo en niveles que no produzcan daño económico, asimismo evitar la llegada de nuevas enfermedades que limiten la producción y comercialización del aguacate.

2.5.1 Enfermedades del aguacatero

2.5.1.1 Pudrición de la raíz (*Phytophthora cinamonni*)

Esta enfermedad es conocida como tristeza del aguacatero, esta provoca la pudrición de raíces es la enfermedad más importante del aguacate, su agente causal es el hongo *Phytophthora cinamonni* Rands, este organismo de la clase Oomycetes, orden Peronosperales, es un habitante del suelo y sobrevive hasta por seis años en suelos húmedos, mediante oosporas, clamidosporas o esporangios, las cuales son esporas resistentes a factores ambientales adversos.

Estas esporas pueden movilizarse por sí mismas en el suelo y también ser esparcidas por el agua de escorrentía y el riego principalmente en suelos mal drenados.

El hongo ataca la base del tallo y lo coloniza totalmente, evita la absorción de agua y su transporte al follaje, produce marchitez, secamiento y muerte repentina del árbol.

Síntomas

El follaje de los árboles afectados presenta una coloración verde clara o verde amarillenta, que contrasta claramente con los árboles sanos, las hojas presentan un tamaño más reducido y algún grado de marchitez, al avanzar la enfermedad se produce defoliación y reduce la brotación, las ramas comienzan a manifestar muerte descendente y fructificación escasa, se han observado en algunas ocasiones una producción numerosa, pero con frutos pequeños.

En el área del suelo donde se encuentra el árbol se puede apreciar un reducido número raíz; muchas muestran coloración oscura y consistencia quebradiza y la mayor parte están completamente necrosadas. Las raíces mayores difícilmente son afectadas por el patógeno. Esta enfermedad puede aparecer en cualquier estado de desarrollo, por lo que puede

encontrarse en viveros y plantaciones de diferentes edades pudiendo acabar en pocos años con la plantación (Tamayo, 2005). La humedad del suelo es un factor ambiental determinante en el desarrollo de esta enfermedad, por lo tanto, se recomienda plantar en suelos bien drenados o hacer drenajes artificiales con el fin de evitar el encharcamiento.

Control

Hay diversas formas de combatir esta enfermedad, las más comunes son la desinfección del suelo y semillas (vivero) tanto en plantaciones como vivero, recolección de semillas de frutos que no hayan caído al suelo, establecimiento de plantaciones en suelos de buen drenaje, evitar exceso de riego, aislar plantas infectadas, controles químicos mediante el uso de fungicidas sistémicos (Tamayo, 2005). En la actualidad hay diversos estudios que reportan buenos resultados con el control biológico por medio de bacterias, en árboles con infecciones tempranas, por lo general, se utilizan inyecciones al tronco.

2.5.1.2 Cancro por *Phytophthora*

Llamada también pudrición del pie o gomosis los agentes causales de esta enfermedad son: *Phytophthora cinnamomi* Rands. *P. citricola*. *P. sawada*. *P. palmivora*. *P. parasitica*.

Síntomas

No existe una detección temprana de la enfermedad pues los síntomas extremos aparecen cuando el cancro se ha extendido y pueden verse lesiones en la base del tronco o bajo la línea del suelo, en ocasiones se le encuentra hasta 2 m sobre el suelo, la zona afectada presenta sobre la cáscara del tronco, exudados blancos y cristalinos alrededor de pequeñas fisuras en contornos ennegrecidos. Cuando se corta la parte dañada, se observa una coloración marrón que contrasta con el color blanco crema del tejido sano y esta coloración anormal se extiende hasta la madera. Los síntomas en la copa del árbol son muy semejantes a los de la pudrición de las raíces causadas por *Phytophthora cinnamomi*, la muerte se produce cuando la lesión rodea al tronco.

Control

Se tiene muy pocos trabajos al respecto, pero en general se recomienda seguir los mismos controles que para *Phytophthora cinnamomi* (Menge, 2000; Aveling y Rijkenberg, 1986)

2.5.1.3 Marchitamiento por *Verticillium*

Es de origen fungoso y su agente causal es *Verticillium dahliae* el cual pertenece a la clase-forma *Deuteromycetes*, orden-forma *Moniliales*. Si bien este hongo no es específico del aguacate presenta un amplio rango de hospederos, superior a las 300 especies, sin embargo, se han presentado casos por el ataque de esta enfermedad. Los efectos nocivos son la interferencia en el transporte del agua y producción de toxinas o ciertas encimas que provocan el colapso del árbol. Se disemina por injertos, semillas, transporte de suelo contaminado, herramientas, otros.

Síntomas

La enfermedad afecta el sistema vascular, causa marchites súbito total o parcial del árbol, 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 de la rama recién marchita puede observarse una coloración café rojiza en la madera. Es común que algunos árboles se recuperen produciendo brotes vigorosos después del colapso inicial del árbol (Tamayo, 2005).

Control

Una medida preventiva es evitar injertos con yemas provenientes de árboles contaminados, erradicación de árboles enfermos, evitar el transporte de suelo o agua a otras partes de la plantación, aplicación de fungicidas en lugares donde hubo árboles enfermos y es importante el lavado y desinfección de herramientas usadas en plantas contaminadas en plantaciones comerciales y viveros (Tamayo, 2008)

2.5.1.4 Antracnosis

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.

Síntomas

Esta afecta las hojas, brotes, inflorescencias y frutos, para el caso de las hojas se presentan unas manchas circulares de color café rojizo las cuales se ubican en los bordes o en cualquier parte de la lámina foliar si estas son numerosas o extensas provocan defoliación, si el ataque se da en brotes tiernos provoca la muerte descendente o torceduras al formarse lesiones laterales.

Las inflorescencias presentan manchas oscuras en las ramificaciones o necrosis en los extremos si hay presencia de frutos recién cuajados puede provocar la caída prematura de estos, también aparecen lesiones circulares de color oscuro que a veces producen cuarteaduras en su interior, durante periodos húmedos se observan puntuaciones de color rosado a salmón sobre las manchas, en el caso de los frutos es importante tener un control de la enfermedad puesto que esto limita su venta.

Control

Se recomienda la eliminación de ramillas bajas e inflorescencias secas, tener una buena aireación en la copa del árbol, tener buenos planes de manejo de fertilización y fumigaciones a base de cobre

2.5.1.5 Sarna o Roña

El agente causal es *Sphaceloma perseae*, este es un hongo de la clase Deuteromycetes el cual sobrevive en tallos afectados y hojas, cuando existe la suficiente humedad se inicia la esporulación, si es época de lluvias esto propicia la diseminación hacia los tejidos jóvenes y cuando la floración coincide con los periodos de sequía se reduce la producción de manera considerable. En el fruto son lesiones irregulares color marrón de apariencia corchosa, estas

lesiones son superficiales y no afectan la pulpa. En ataques severos, los brotes y las hojas se necrosan, se enroscan hacia arriba y pueden llegar a morir.

Síntomas

Este hongo puede afectar hojas, tallos y frutos jóvenes. Las hojas son susceptibles hasta un mes después de haberse desarrollado y luego se tornan inmunes. Los primeros síntomas son puntos translucidos, que luego se convierten en manchas redondas muy pequeñas y de color café rojizo. En relación con la superficie foliar estas manchas son ligeramente levantadas; algunas veces causan deformación de la lámina foliar cuando por efecto de las lluvias se cae el tejido muerto. En los tallos muertos producen manchas similares a las descritas en el párrafo anterior, que pueden deformarlo o causar deformación del meristemo apical. Los frutos son afectados por la sarna durante el periodo de desarrollo, hasta que alcanza dos tercios más o menos de su tamaño normal. Las lesiones iniciales son redondas y levantadas, luego se unen unas con otras dando un aspecto de costra café, con grietas y cubren considerables áreas de la cáscara. Estas fisuras permiten la penetración de otros patógenos como *Colletotrichum* lo que magnifica el daño de la enfermedad.

Control

El uso de podas sanitarias para la eliminación fuentes de inoculo, aplicación de fungicidas cúpricos, esto al momento de salir los brotes florales y después de que los frutos han cuajado y otra aplicación tres o cuatro semanas después (Virtual, 2018).

2.5.2 Plagas del aguacate

En México existen una gran diversidad de especies de insectos plaga asociadas al cultivo de aguacate los cuales afectan de manera directa o indirecta al cultivo. García, Méndez y Morales (1967) registraron al menos 14 especies de ellas diez son consideradas de importancia económica y el resto como secundarias, SARH-DGSV (1981) sostiene que hay 12 especies primarias y 49 de menor relevancia, Mac Gregor y Gutiérrez (1983) mencionan a 30 especies en el estudio de Gallegos (1983); Coria (1993) hace un recuento para el estado de Michoacán en donde reporta 11 especies de importancia, en los últimos años se han hecho registros a través de la Norma Oficial Mexicana (NOM-066-FITO-2002) en donde se

reportan a las especies *Conotrachelus aguacatae*, *Heilipus lauri* y *Copturus aguacatae* (Coleoptera:Curculionidae) *Stenoma catenifer* (Lepidoptera:Elaschistidae), como plagas cuarentenadas del aguacate. También existen plagas consideradas de importancia económica como *Metcalfiella monogramma* y *Aethalion quadratum* (Hemiptera: Membracidae), la chinche de encaje *Pseudacysta perseae* (Hemiptera: Tingidae), la agalla *Tryoza anceps* (Hemiptera: Triozidae) y el gusano confeti *Pyrrhopyge chalybea* (Lepidoptera: Hesperiiidae).

2.5.2.1 *Stenoma catenifer* Walsingham (Lepidoptera: Elaschistidae)

Morfología

Los huevos son pequeños y ovalados, su tamaño es de 0,5 mm de largo por 0,38 mm de ancho, superficie rugosa con estrías longitudinales, inicialmente de color verde claro que se torna a color blanco crema y próximos a la eclosión se tornan a tonalidad oscura.

Larva pasa por cinco instares sin diferencias de forma marcadas, pero cambia de color, para el caso del estadio de pupa en este caso eventualmente pueden pupar dentro de la semilla de la cual se han alimentado (Hoddle *et al.*, 2011), normalmente pone huevos individuales o en grupos, sobre las partes corrugadas y oscuras del pedúnculo y el fruto, como también en la zona de unión (Orjuela, 2011).

En su estado adulto este insecto es una polilla de color café claro, con una longitud promedio de 15mm la hembra y 11mm el macho. Las alas anteriores son el doble de largas que anchas al estar en reposo, sobre las alas se observan alrededor de 25 manchas de color **negro que forman una “S” acostada**, en promedio vive 5,5 días es de habito nocturno y oviposita en las noches (Hohmann, Santos, y Meneguim, 2000).

Síntomas y Daño

La polilla de la semilla del aguacate es una plaga importante por las restricciones que ocasiona para la exportación de fruta.

Después de la eclosión del huevo, la larva realiza un recorrido corto para luego perforar al fruto dejando una pequeña cicatriz en la epidermis (orificio de entrada), se dirige hasta la pulpa, pasa a la semilla y la destruye, una hembra puede llegar a afectar entre 8 y 12 frutos

(Orjuela, 2011). En 20 días penetra el fruto y consume la semilla, atacando frutos en cualquier estado de desarrollo causa pérdidas que pueden llegar al 80% de la cosecha.

En épocas diferentes a fructificación puede perforar ramas tiernas y hasta matar árboles pequeños y generar daños indirectos por la exudación de savia y por patógenos secundarios, esto como consecuencia de las lesiones causadas por las heridas de alimentación.

Los frutos dañados tienen la característica de presentar exudados blanquecinos y acumulación de excrementos en el orificio de entrada, es posible que los frutos caigan prematuramente al suelo donde las larvas continúan alimentándose de las semillas antes de salir del fruto para pupar en el suelo (Hoddle *et al.*, 2011).

Manejo

Realizar monitoreo en los huertos y en caso de encontrar insectos con síntomas asociados poner en práctica las siguientes medidas:

-Uso de trampas de luz negra y blanca para la captura de polillas (Orjuela, 2011), así como uso de feromonas.

-Elaborar e implementar un plan de manejo integrado de plagas.

-Realizar podas sanitarias.

-Colectar frutos afectados del árbol y suelo, enterrarlos fuera de las huertas a una profundidad mínima de 50 cm como estrategia para la disminución de las poblaciones

-El control químico como opción solo cuando las poblaciones de insectos sean altas, así como el uso de control biológico como lo son *Cotesia* (*Apanteles*) spp., *Dolichogenidea* sp., *Hypomicrogaster* sp., *Chelonus* sp., *Hymenochaonia* sp., *Trichogramma* sp. y *Macrocentrus* sp. (Orjuela, 2011 y Hoddle *et al.*, 2011).

2.5.2.2 Barrenador de la semilla *Helipus* spp. (Coleoptera: Curculionidae)

Estos barrenadores pueden atacar diferentes partes de la planta: hojas, tallo, frutos o raíz. Castañeda, *et al.*, (2007) indican que *H. elegans* cumple el ciclo de vida asociado a los tejidos de la planta. En general estos insectos muestran patrones de coloración y de hábitos de

alimentación muy similares, lo cual puede crear confusión en su identificación (Cárdenas, 1984a).

Este género tiene 85 especies, de las cuales 39 se distribuyen en Norte y Centro América, mientras que 52 se reportan en Suramérica, 8 de ellas causan daño al aguacate (Castañeda, *et al.*, 2007).

Morfología

Huevo es de color gris claro de 1 a 2 mm de longitud la hembra perfora el fruto con el rostrum, oviposita de uno a dos huevos por fruto tapándolo con las excretas, este tiene un periodo de incubación de 12 a 15 días y eventualmente la hembra puede ovipositar en tallos y ramas.

Las larvas por su parte entre los 12 y 15 días después de la ovoposición barrena a través de la pulpa hasta llegar a la semilla de la cual se alimenta y pasa por cinco estadios larvales, las larvas son ápodas, su cabeza es de color café oscuro y tiene mandíbulas oscuras, el cuerpo es blanco, segmentado y curvado. Rubio, Posada, Osorio, Vallejo, y López (2009) mencionan que son vermiformes, apodas y planas tanto vertical como dorsalmente, también pueden abandonar el fruto y penetrar en el suelo para pupar, aunque lo normal es que complete el ciclo dentro del fruto o en los tallos (Peña, 2009).

La pupa es ovalada, su tamaño es de 15 mm de longitud aproximadamente de color blanco cremoso y posteriormente se torna de color amarillo a café, este estadio dura alrededor de 15 días.

H. Lauri es un picudo de color negro a rojo oscuro y brillante, las hembras miden 13,5 a 14,5 mm de largo y 5,8 a 6,1 mm de ancho; los machos son más pequeños y tienen coloración más oscura que las hembras, la superficie de los élitros es estriada con apariencia de punteado con dos franjas amarillas más notables en los machos, los adultos pueden vivir hasta cuatro meses, tienen hábitos diurnos y puede alimentarse de follaje, ramas y frutos (Castañeda, 2008).

Síntomas y Daños

La hembra oviposita en los frutos y al emerger sus larvas se alimentan de la pulpa y la semilla que son destruidas en su totalidad, produciendo su caída prematura llegando a ocasionar pérdidas de hasta 100%.

En el sitio de perforación se observa savia cristalizada, secreciones blancas y excremento del insecto, en su estado larval pueden barrenar tallos, en árboles jóvenes pueden causar la muerte (Castañeda *et al.*, 2007).

Manejo

- Monitoreo y podas de manejo.
- Colecta de frutos afectados y del suelo y enterrarlos a una profundidad de 50 cm como estrategia para disminución de las poblaciones de los barrenadores.
- La aplicación de control químico se recomienda siempre y cuando las poblaciones sean altas.
- Uso de controladores biológicos (Orjuela, 2011).

2.5.2.3 Barrenador de la semilla del aguacate *Conotrachelus aguacatae* Barber, 1923

Este es mejor conocido como barrenador pequeño del aguacate, o barrenador del hueso del aguacate.

Sus características más particulares en el estadio de larva es que presenta en promedio 6 mm de longitud, el cuerpo es carnoso, de color blanco amarillento, con la cápsula cefálica oscura, los segmentos II y III del tórax presentan dos lóbulos dorsales, el primero es más largo y aplanado, mientras que el segundo y el tercero son más redondeados.

En estado adulto estos son de color café rojizo a oscuro y en vista dorsal presenta una forma romboide u ovalada de tamaño entre 5,5 a 6,0 mm de longitud; la cabeza es pequeña, de forma esférica y se prolonga hacia adelante para formar un pico bien desarrollado, los ojos están cubiertos parcialmente por lóbulos del protórax.

Síntomas y Daños

Los síntomas en el fruto se detectan por pequeñas perforaciones y por la presencia de un polvo blanquecino en la parte apical, media basal del fruto (Muñiz, 1970).

2.5.2.4 Barrenador de troncos y rama del aguacate *Copturus aguacatae* Kissinger, 1957

Las larvas son blancas lechosa o rosada, la longitud varía de 10 a 12 mm, la anchura de la cápsula cefálica es variada de 69 a 80 micras y su longitud de 111 a 156 micras.

Los adultos son activos durante el día, se desplazan sobre las ramas; por su tamaño diminuto, color y movimiento rápido, dificultan su observación. La hembra oviposita sobre ramas que reciben la luz solar, aunque puede ovipositar en ramas sombreadas (Coria *et al.*, 2007) en las ramas que coinciden con los puntos cardinales este y sur (Damián *et al.*, 2015). Para hacer la puesta de huevos, la hembra hace un orificio con el pico debajo de la cutícula y entre la epidermis de la rama o tallo, deposita el huevo con el ovipositor en la entrada del orificio; después ayudándose con el pico lo introduce hasta el fondo. Gudiño y García (1990) y Coria *et al.*, (2007) reportaron que la capacidad máxima de oviposición de las hembras es de siete a ocho huevos puestos en masa o en grupo. Una vez que el huevo eclosiona y emergen las larvas, éstas perforan las ramas y/o tallo. Las larvas y pupas se encuentran al interior de la rama (Urías y Salazar, 2008). La hembra comienza a ovipositar a los 27,4 días de la emergencia.

Síntomas y daños

Las larvas en los primeros instares se alimenta de las ramas o brotes tiernos, en especial del cilindro central, al inicio de la galería se observan puntos blancos de consistencia polvosa. Las ramas afectadas presentan savia cristalizada por la perforación inicial de entrada y conforme la larva se alimenta las ramas se defolian, tirando flor y frutos.

2.5.2.5 Trips *Frankliniella* spp. *Heliethrips haemorrhoidalis* (Bouché), *Scirtothrips* spp.

Esta es una de las plagas de mayor importancia económica en cualquier plantación de aguacate, debido a la distribución cosmopolita de las especies.

Morfología

Estos son pequeños de 0,4 a 1,05 mm de longitud en colores que van desde el blanco, verde pálido, amarillento y hasta café oscuro; son de forma alargada y estrecha hacia lo ancho, cubiertos por dos pares de alas con pelos marginales agrupados en flecos (Johansen, Mojica, y Ascensión, 1999). El ciclo de vida varía según el grupo al que pertenecen, en general pasan por los estadios de huevo, dos estadios ninfales muy voraces, pre-pupa, pupa y adulto.

Síntomas y Daño

Las mayores incidencias coinciden con los períodos de apertura de las flores, formación y amare de fruto, una vez pasada esta época el insecto habita sobre los brotes vegetativos tiernos. El insecto se alimenta succionando la savia de brotes vegetativos tiernos e inflorescencias ocasionando malformaciones, inhibe la fecundación de flores al dañar los órganos sexuales, originando su caída. En frutos recién formados se ven afectados por la aparición de alteraciones irregulares en la cascara que persisten hasta la maduración de la fruta (Coria, 1993).

Manejo

Se recomienda mantener buena nutrición de plantas, árboles vigorosos muestran mayor tolerancia al ataque tener control de las malezas es imprescindible ya que estas se convierten en los reservorios ideales para estos insectos (Coria, 1993).

2.5.2.6 Araña roja *Oligonychus punicae* (Hirst)

Morfología

Este es conocido por su coloración rojiza y es conocida como araña roja, es de las plagas más comunes en las plantaciones de aguacate. Estos son de cuerpo blando y forma ovalada o elíptica con la base de los quelíceros fusionados formando un estilóforo del que se proyecta un par de estiletes.

Los ácaros fitófagos que pertenecen a la familia Tetranychidae presentan una amplia distribución a nivel mundial y constituyen el grupo más numeroso del orden Acaricina.

Estos representan un grave problema a nivel mundial y nacional en árboles frutales tanto en regiones templadas como tropicales y subtropicales debido a que prosperan con humedad relativa baja y altas temperaturas; además, de presentar resistencia a la mayor parte de acaricidas debido a su capacidad de detoxificarlos a través de enzimas (Flores *et al.*, 2011).

Síntomas y Daños

Este ácaro ataca preferentemente al cultivo del aguacatero. Habita en el haz de las hojas donde chupan la savia del follaje observándose una decoloración rojiza que la misma se nota al principio a ambos lados del nervio central y a los lados de los nervios secundarios principales. El área afectada por la plaga se extiende rápidamente hasta cubrir casi toda la superficie, tan pronto se produce un incremento poblacional del mismo y las hojas se tornan cloróticas, en este momento como han perdido vitalidad se caen.

Manejo

- Hacer las observaciones pertinentes y de encontrar daños severos hacer aplicaciones químicas para el control
- El control de este ácaro debe hacerse cuando aparezcan los primeros síntomas durante los tiempos secos de manera focal y con acaricidas selectivos; no se debe esperar que los árboles presenten muchas hojas enrojecidas.
- Se puede emplear 50–60 ml de Acaristop 50 SC en 200 L de agua y Envidor 24 SC a razón de 0.4–0.6 L / ha. Realizar entre 1–3 aplicaciones por año. No realizar más de 4 aplicaciones consecutivas por ciclo de cultivo con Envidor 24 SC.

2.5.2.7 *Oligonychus perseae* Tuttle, Baker y Abbatiello

Historia

Oligonychus perseae Tuttle, Baker y Abbatiello, comúnmente se conoce como “araña cristalina” o “ácaro cristalino del aguacate”. Fue descrita por primera vez de especímenes

recolectados en follaje de aguacate confiscado por el Departamento de Cuarentena del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA por sus siglas en inglés) en el paso Texas en 1975. El ácaro es originario de América Central (Tuttle D, Baker E, y Abbatiello, 1976).

Desde 1975 se ha dispersado a diversas partes del mundo como Costa Rica (Salas, 1978), (Ochoa, 1991), EE.UU (California, Florida, Hawái) (Baker y Tuttle, 1994; Aponte y 1997^a; Aponte y McMurtry, 1997^b; Kerguelen y Hoddle, 1999); Israel (Ben-David, Melamed, Gerson, y Morin, 2007), Portugal (Madeira) (Borges *et al.*, 2008), y España (islas Canarias) (Alcazar, Aranda, Marquez, Sánchez, y Ruiz, 2005); Migeon y Dorkeld, 2014; EPPO, 2014b) en este caso y para otros países europeos se tiene bajo vigilancia de la EPPO (Organización Europea de Protección Fitosanitaria)

En 1990 este ácaro fue registrado en San Diego, California y este tuvo una rápida diseminación en las plantaciones de aguacate del estado. Para el 2001 se presentó en Israel y se reportó en el Congreso Mundial del Aguacate de 2007, además está presente en España desde el 2004 (González *et al.*, 2007).

Esta especie se ha encontrado en otros frutales además del aguacate. *O. perseae* puede infestar varias malezas, plantas silvestres, ornamentales, frutales (vid, durazno, castaño, ciruelo y nectarina) ornamentales (rosas, acacias, salix, bambú) sin embargo, no produce daños importantes.

Según Kerguelen y Hoddle (2000), esta especie puede encontrarse alimentándose en el cultivo de aguacate durante todo el año y los daños que ocasiona varían de acuerdo a la variedad cultivada.

Sintomas y Daños

Su importancia radica en que ataca el envés de las hojas jóvenes especialmente en la nervadura central y nervaduras secundarias, formando pequeñas colonias cubiertas por telarañas. En hojas infestadas puede observarse manchas necróticas irregulares coincidiendo con los nidos y en función de la severidad del daño puede apreciarse hasta en el haz de la hoja, cuando el daño es muy severo provoca la defoliación parcial o total (Oponte y

McMurtry, 1997). En el cultivo de aguacate el principal daño ocurre cuando el ácaro se alimenta de las hojas por la succión de los contenidos celulares produciendo necrosis. En infestaciones altas se presenta una deformación foliar y caída de hojas, disminuyendo la capacidad fotosintética de la planta y causando quemaduras por sol tanto en tronco como fruto, además las colonias pueden trasladarse a las ramas y frutos en desarrollo provocando pérdidas económicas debido a los bajos rendimientos y mala calidad del fruto (Bender, 1993).

Generalidades de la araña cristalina

El género *Oligonychus* se distingue principalmente por tener empodios, así como una uña empodial y la hembra presenta dos pares de setas anales y un par de setas paranales. Con base a la descripción Ochoa *et al* (1991). Las poblaciones tienden a crecer exponencialmente al comienzo del verano seguido por un descenso al final del verano (Kerguelen y Hoddle, 1999; Hoddle, Aponte, Kerguelen, y Heraty, 1999; Hoddle, Robinson y Virzi, 2000; Montserrat, Sahún, y Gúzman, 2013).

Morfología y taxonomía

Como señalan Salinas y Reséndiz, (1995) esta especie posee cinco estadios de desarrollo: huevo, larva, protoninfa, deutoninfa y adulto después de haber pasado por el estadio de larva pasan por un estado de reposo en cada estado de desarrollo, todos estos estadios pueden ser encontrados simultáneamente en el mismo nido, el desarrollo se encuentra en relación a la temperatura, la cual señala un óptimo de 25°C.

El tipo de reproducción de *O. perseae* es anfigónico, el apareamiento ocurre dentro de los nidos de tela, su duración oscila entre 0,8 y 18,9 minutos a 25 °C. Se ha observado que los machos son los primeros en convertirse en adultos dentro de los nidos por lo que, al emerger la primera generación, los machos resguardan a las hembras desde que son deutoninfas para copular con ellas cuando emerjan como adultas, generalmente los machos copulan con todas las hembras presentes en el nido antes de abandonarlo (Aponte y McMurtry, 1997b; Téliz y Mora, 2007).

Estos ácaros también pueden presentar partenogénesis facultativa arrenotoca, en la que los huevos dan origen a machos visibles (Salinas y Reséndiz, 1995).

➤ Huevo: *O. perseae* posee huevecillos pequeños en forma circular y ligeramente aplanados en sus polos, de color opaco blanquecino y cambian a un color pardo conforme va desarrollándose, aproximadamente 24 horas antes de la eclosión puede observarse dos puntos rojos que corresponden a los ocelos (Salinas y Reséndiz, 1995). El periodo de incubación de los huevos es en promedio de 6 días, lo que concuerda con el rango que señala Crooker (1985) para el grupo de los tetraníquidos. Según Hoddle (1998) una vez que las hembras ovipositan dentro de las colonias, los huevos eclosionan entre 6 y 4 días cuando la temperatura es 20,25 y 30°C respectivamente, estos valores se ubican dentro del rango informado para la mayoría de los tetraníquidos, el cual es de 3 a 10 días (Salinas y Reséndiz, 1995).

➤ Larva: al emerger poseen tres pares de patas, son blancas opacas, las cuales unas horas después van tornando a un color amarillo claro con seis manchas en el dorso del idiosoma, en esta etapa se dedica a alimentarse y al crecimiento del organismo, después de dos días aproximadamente pasa a un periodo de reposo (Salinas y Reséndiz, 1995).

➤ Ninfa: se divide protoninfa y deutoninfa, la primera es el primer instar que se desarrolla a partir de la primera muda, esta se distingue por poseer cuatro pares de patas, la segunda es el instar antes de la fase de maduración, en este periodo ya se pueden diferenciar machos de hembras, ya que los machos comienzan a adquirir una forma más alargada y son ligeramente más pequeños que las hembras, de la misma manera que las larvas antes de pasar a la siguiente etapa, la protoninfa y deutoninfa tienen un periodo inactivo (queiescencia) que dura aproximadamente de 1.3 a 1.33 días (Salinas y Reséndiz, 1995) Las hembras son de color amarillo o verde con dos o más manchas oscuras pequeñas en la región histerosomal (Ochoa , Aguilar y Vargas, 1991).

➤ Adulto: con base a las descripciones realizadas por Tuttle *et al.*, (1976) y Ochoa, Aguilar, y Vargas, (1991), la fase final del ciclo biológico de este organismo, el cual ha alcanzado la madurez sexual, las hembras son robustas de forma elíptica, ligeramente alargada de coloración amarillo verdoso claro, con manchas oscuras en el histerosoma, aunque algunas presentan la totalidad de esta sección en verde oscuro. El ganatosoma es corto y ancho; el idiosoma presenta estrías longitudinales propodosomales que se extienden hasta el primer par de setas histerosomales dorsocentrales, por el contrario, las estrías del

histerosoma son transversas, excepto por un patrón de “V” invertida entre el tercer par de setas histerosomales dorsales, además tienen dos pares de setas dúplex aproximadas en el tarso.

Los machos son más pequeños que las hembras y de forma alargada, muestran una coloración amarillenta uniforme y poseen pequeñas manchas oscuras en el histerosoma, el podosoma es ancho mientras que el opistosoma es aguzado donde se ubica una aedeagus dirigido ventralmente, con una curva más larga y delgada que la de *O. peruvianus* (Ochoa *et al.*, 1991)

La duración del estado adulto para la hembra está en un rango de 12 a 14 días y para los machos es de 5 a 8 días aproximadamente; el ciclo completo desde la oviposición hasta la muerte es de alrededor de 20.95 días (Salinas y Reséndiz, 1995).

Todos los estadios se desarrollan en colonias cubiertas por una tela profusa (comúnmente llamadas nidos) en el envés de las hojas (Hoddle *et al.*, 2000).

La temperatura juega un papel importante en la influencia en la duración del ciclo de vida de estos ácaros. Según Aponte y McMurtry (1997a), el proceso de desarrollo de huevo a adulto ocurre a los 35 días a los 15 °C, mientras que a 20,25 y 30°C el proceso se completa en los 16,90; 13,87 y 9,81 días respectivamente y es la hembra la que requiere mayor tiempo de completar su desarrollo. Por lo general, la razón sexual de *O. perseae* es de 2:1 (2 hembras: 1 macho).

Se menciona que el promedio de vida del ácaro es de 40 días a 20°C mientras que a 30°C ocurre una alta mortalidad de los huevos y estados inmaduros, así como una reducción de la longevidad de los adultos, la cual es de tan solo 15 días (Aponte y McMurtry 1997a).

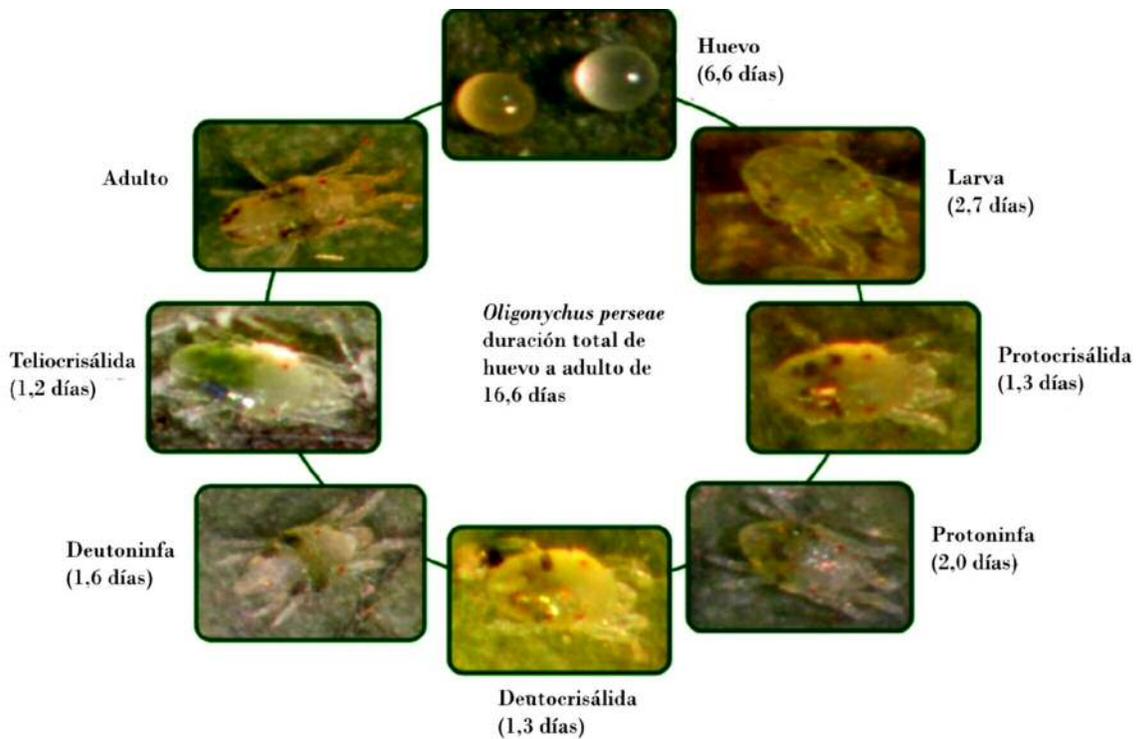


Figura 2. Ciclo biológico de *Oligonychus perseae* sobre hojas de aguacate cv. Hass

Fuente (Imbachi, Estrada, Equihua y Mesa, 2017)

Construcción de nidos por *Oligonychus perseae*

La formación de colonias cubiertas con la tela en el envés de las hojas, así como su comportamiento gregario, son aspectos característicos de esta especie, estas estructuras son construidas por las hembras, las cuales presentan un techo de tela densamente forrado y con una o dos aberturas semicirculares usadas como entradas o salidas (Téliz y Mora, 2007).

La vida del ácaro transcurre dentro del nido; es este sitio donde realiza todas sus funciones vitales (alimentación, reproducción, desarrollo), generalmente defeca fuera de éste a menos que haya hacinamiento o una reducción de la humedad dentro del nido; otro motivo que provoca la salida del ácaro (principalmente hembras adultas y estadios inmaduros) del nido es la búsqueda de otros nidos o nuevos lugares para construirlos, es común encontrar nuevos nidos en cuyo interior se encuentran únicamente huevos o inmaduros, ya que, las hembras los construyen, oviposita y luego los abandonan para iniciar otro nuevo, hasta dos

generaciones pueden desarrollarse en el mismo lugar antes de que las hembras emigren para formar nuevas colonias (Aponte y McMurtry J, 1997b, Téliz y Mora, 2007).

La tela cubre a estos nidos creando un micro-hábitat favorable para el desarrollo de los ácaros, además los convierte en estructuras de protección para los huevos y estados inmaduros contra la deshidratación, los enemigos naturales, climas adversos y medidas de combate (Aponte y McMurtry, 1997b)

Clasificación Taxonómica

Krants (2009) agrupa a *O. perseae* de la siguiente manera:

Phyllum Arthropoda

Subphyllum Chelicerata

Clase Acari

Orden Acariformes

Suborden Prostigmata

Familia Tetranychidae

Subfamilia Tetranychidae

Tribu Tetranychini

Género *Oligonychus*

Especie *O. perseae*

Sintomatología y daños ocasionados

Producto de la alimentación de las colonias de *O. perseae* a lo largo de las nervaduras en el envés de las hojas, se forman manchas necróticas circulares por el haz que en muchos casos confluyen entre sí hasta formar bandas que corren a ambos lados de las nervaduras; este daño reduce sustancialmente el área fotosintética de la hoja (Aponte y Mc Murtry, 1997b; Waite y Martínez, 2002).

De acuerdo con lo reportado por Aponte y Mc Murtry (1997b), a nivel de tejidos *O. perseae* llega a afectar capas muy superficiales de la hoja como las células de la epidermis y del parénquima esponjoso ya que cuando el daño es mayor avanza al mesófilo y a las células

del parénquima de empalizada, los cultivares de aguacate de preferencia de este ácaro son Hass y Gwen que son los más susceptibles (Kerguelen y Hoddle, 2000).

Las altas densidades de ácaros (500 ácaros por hoja) y subsecuentemente su alimentación, pueden causar la parcial o total defoliación de los árboles (Hoddle M, Aponte, Kerguelen, y Heraty, 1999). Si el tejido necrótico causado por el *O. perseae* sobre pasa el 8% de la superficie foliar, hay una alta probabilidad de que ocurra una defoliación acelerada, lo que ocasiona una apertura de la copa de los árboles e incrementa el riesgo de quemadura por sol de frutos inmaduros, así como la caída prematura (Hoddle, Robinson, y Virzi, 2000, Ripa y Larral, 2008). Por otro lado, Maoz *et al.*, (2011a) reportan un impacto significativo en el daño de la hoja y el promedio del rendimiento (20% de disminución en el rendimiento, en una tasa de infestación de 250 ácaros/hoja).

Alternativas de control

➤ El mayor control del ácaro se hace usando productos químicos (Soto G. A., 2013), y esto ha llevado a un uso irracional de estos y ha generado que los ácaros se vuelvan resistentes a dichos productos, también provoca efectos nocivos a los enemigos naturales, sin contar los problemas de residualidad que son motivo de rechazo de frutos en las exportaciones, es por esta razón que es importante tener en cuenta estos factores para poder implementar medidas de control, que no perjudiquen el ambiente y buscando nuevas alternativas que se adapten mejor al manejo integrado de plagas.

El uso del control biológico de ácaros fitófagos puede minimizar la dependencia de agroquímicos ayudando a la implementación de programas de manejo integrado de plagas (Lemus y Pérez, 2016). El control biológico con ácaros depredadores ha mostrado su efectividad en otros cultivos además existen diversos estudios los cuales validan la eficiencia para controlar esta plaga y evitar el uso irracional de acaricidas (Hoddle, Robinson, y Virzi, 2000).

2.5.2.8 Subfamilia Scolitinae

Scolytinae o escolítinos es un grupo diverso distribuidos en casi todo el mundo, asociados a una gran variedad de plantas. Los escolítidos comprenden aproximadamente 220 géneros y unas 6,000 especies agrupadas en dos subfamilias Hylesininae y Scolytinae.

La monografía de Scolytidae de Sudamérica de (Wood, 2007) y el análisis del estado del conocimiento del grupo en México realizado por Atkinson (2013) representan los avances más actualizados sobre el grupo, este mismo autor menciona que hay 867 especies pertenecientes a la subfamilia Scolytinae citadas para México, lo que representa, a nivel de especies, el 14.45% y a nivel de género, el 37,3% de la fauna Scolytinae a nivel mundial del total mundial de especies conocidas (~6000 spp) (Weed *et al.*, 2015).

Las latitudes de las regiones de estudio para México han sido reportadas desde el nivel del mar hasta los 4,000 msnm y se sabe que el 65% de los géneros tienen afinidad neotropical (Romero, Anaya, Equihua y Mejía, 1997).

La mayor importancia económica que representa esta especie está relacionada principalmente con la producción de maderas en los estados como Jalisco, Morelos, Oaxaca, Puebla, Tabasco y Veracruz (Burgos y Equihua, 2007; Pérez-De la Cruz, Equihua, Romero, Váldez, y De la Cruz-Pérez, 2009a). Muchas especies causan daños severos a plantaciones agrícolas, forestales y bosques naturales; su distribución espacial dentro del hospedero va desde raíz hasta ramillas (Wilkinson y Haak, 1987).

Son insectos pequeños de forma cilíndrica y constituyen uno de los grupos de coleópteros de mayor importancia como plagas de especies forestales (Soto y Orengo, 2002). En México se han registrado 846 especies de escolítinos, con hábitos alimentarios, huésped y distribución sumamente variada (Pérez, Hernández, De la Cruz, y Sánchez, 2016). Con base en sus hábitos alimenticios se pueden clasificar en xilomicetófagos, fleófagos, espermófagos y mielófagos (Pérez *et al.*, 2015). Se caracterizan por alimentarse bajo la corteza de plantas, atraídos principalmente por los compuestos generados a partir de la fermentación y muerte de la madera como: oleorresinas volátiles, terpenos, hidrocarburos, alcoholes u otras sustancias (Wood, 1982a; Pérez, Equihua, Romero, Valdés y de la Cruz, 2009a).

Durante su ciclo de vida la mayoría de las especies emergen de sus galerías como adultos durante la primavera o verano buscando aparearse o un nuevo hospedero que colonizar, los adultos barrenan una galería donde colocan los huevos y es ahí donde se desarrollan hasta la madurez (Salom y McLean., 1989; Kirkendall, Biedermann P, y Jordal, 2015; Kirkendall, Biedermann, y Jordal, 2015). Su vuelo efectivo de dispersión usualmente es a no más de unos cientos de metros del árbol de origen.

2.5.2.9 *Arapthus schwarzi* Blackman

2.9.1 Distribución y hospederos

América central, San José Costa rica, 1914; *pittieri*, Panamá (Chiriquí), Norteamérica, México (Coahuila, Guanajuato; Lauraceae: *Persea americana*, Hidalgo, México; *Persea americana* Annonaceae: *Annona cherimola*, Michoacán, Uruapan; Lauraceae: *Persea americana*, *Persea liebmanni*, Querétaro, Lauraceae: *Persea americana*, Tabasco), America del Sur, Ecuador.

https://www.barkbeetles.info/regional_chklist_target_species.php?lookUp=2444.

Morfología

Los escolítinos son barrenadores de semilla de aguacate que se encuentra asociado regularmente a frutos caídos (USDA, 2011).

El ciclo biológico y comportamiento de esta especie en aguacate, no se encuentra bien definido, hasta hoy solo se tienen cubiertos aspectos muy generales como se describe a continuación.

- La pupa es del tipo exarata y permanece en las cavidades construidas por las larvas y adultos durante el proceso de alimentación.
- Los adultos son de color café oscuro, de aproximadamente dos a tres milímetros, son de vuelo poco activo.

- Su ciclo biológico dura aproximadamente de 91 a 93 días, en general tiene una duración de 12 a 13 semanas (huevo al adulto) a una temperatura ambiente de 24 a 25°C (Equihua, Estrada, Chaires y Acuña, 2016).

Taxonomía

Animales (Reino Animalia)

Insectos, Arácnidos y Crustáceos (Filo Arthropoda)

Hexapodos (Subfilo Hexapoda)

Insectos (clase Insecta)

Insectos Alados (Subclase Pterygota)

Escarabajos y Parientes (Orden Coleoptera)

Suborden Polyphaga

Gorgojos, Catarinas y Parientes (Infraorden Cucujiformia)

Gorgojos (Superfamilia Curculionoidea)

Gorgojos y Picudos (Familia Curculionidae)

Subfamilia Scolytinae

Género *Araptus*

Escarabajo de la Corteza *Araptus schwarzi* (Wood y Bright, 1992) <https://www.naturalista.mx/taxa/305289-Araptus-schwarzi>

Daños

Equihua, Estrada, Chaires y Acuña (2016) señala que los síntomas de daño se detectan como pequeñas perforaciones y por la presencia de un polvo blanquecino o rojizo, generalmente en la parte apical, media o basal del fruto, dentro de sus observaciones se contabilizó el número de perforaciones se observó en simillas desnudas y aguacates maduros, en su estado adulto. *Araptus schwarzi* se introduce en la semilla, donde oviposita su progenie y se alimenta de la semilla hasta destruirla por completo, pulverizándola. Los escolítinos que abandonan la semilla son adultos en busca de nuevos recursos alimentarios y con fines de colonización.

2.6 Geoestadística

La *geoestadística* fue una palabra inventada por Georges Matheron 1962. El prefijo “*geo*” es alusivo a las ciencias de la tierra, que ha sido históricamente la disciplina donde la geoestadística se ha desarrollado y sus campos de aplicación hoy alcanzan dominios variados. El término “*estadística*” se refiere al uso de herramientas estadísticas y probabilísticas. Con respecto a la estadística clásica, la geoestadística busca tomar en cuenta las dependencias entre las observaciones disponibles, considerando que ellas están ubicadas en el espacio.

Esta ciencia fue creada a inicios de la segunda mitad del siglo pasado (60–70 s) hacia los noventas tuvo mayor auge y hoy día forma parte importante de muchos estudios.

La geoestadística se refiere al conjunto de técnicas estadísticas utilizadas para el estudio de variables numéricas distribuidas en el espacio. Para Journel y Huijbregts (1978), es simplemente la aplicación de la teoría de funciones aleatorias al reconocimiento y estimación de fenómenos naturales.

El uso de esta herramienta se fundamenta en el cálculo de la semivarianza y el semivariograma, los cuales constituyen las herramientas principales de un cuerpo de desarrollos matemáticos conocidos; según Ovalles (1992), no es más que una función que describe un fenómeno natural geográficamente distribuido.

2.7 Georreferenciación

La georreferenciación o rectificación es un proceso que permite determinar la posición de un elemento en un sistema de coordenadas espacial diferente al que se encuentra. Existen por tanto dos sistemas de coordenadas: el sistema origen y el sistema destino. Este proceso es determinado con una relación de posiciones entre elementos espaciales en ambos sistemas, de manera que, conociendo la posición en uno de los sistemas de coordenadas es posible obtener la posición homóloga en el otro sistema. La georreferenciación se utiliza frecuentemente en los sistemas de información geográfica (SIG) para relacionar información vectorial e imágenes raster de las que se desconoce la proyección cartográfica, el sistema geodésico de referencia o las distorsiones geométricas que afectan a la posición de los datos.

La georreferenciación queda definida por una función matemática del tipo:

$$X = f(x, y)$$

$$Y = f(x, y)$$

Donde la posición de una entidad geográfica en el sistema de coordenadas destino (x, y) es función de las coordenadas (x, y) que tiene ese elemento en el sistema origen.

Para poder realizar una georreferenciación es necesario identificar sin lugar a equivocación, puntos homólogos en los sistemas de coordenadas origen y destino, lo que permite calcular los parámetros de la transformación. Algunos de los factores que afectan a la calidad de la rectificación son el número de puntos homólogos identificados y la distribución de estos puntos en la superficie del mapa (Dávila y Camacho, 2012).

2.7.1 Datos geoestadísticos

Estos se manejan como una rama de la estadística 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.

2.8 Análisis espacial

El análisis espacial según Gámir (1995) “**Es la denominación** empleada para referirse a un amplio conjunto de procedimientos de estudio de los datos geográficos en las que se considera de alguna manera sus características **espaciales**” **engloba un conjunto de técnicas** basadas en la localización de los elementos o hechos geográficos que se analizan, requiriendo acceso directo al componente localización de la información. Abarca desde una simple consulta de localización hasta complejos resultados estadísticos.

2.9 Estadística vs geoestadística

La *estadística* se centra en el análisis de la variabilidad de los datos, tratando de obtener correlaciones, dependencias y patrones para explicar fenómenos tanto físicos como naturales, en cambio, la *geoestadística* se centra en el análisis y la modelización de variables asociadas

a información espacial en base a una serie de métodos cuyo objetivo es el de estimar valores desconocidos a partir de otros ya conocidos.

2.10 Etapas de un análisis geoestadísticos

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 existiendo un proceso de verificación de datos para ver la normalidad de los mismos mediante la prueba de Curtosis, de ser necesario se realizan transformaciones para normalizarlos.

2) Análisis estructural: donde se calcula una función que explica la variabilidad espacial. Estudio de la continuidad espacial de la variable. Se calcula el variograma, u otra función que explique la variabilidad espacial, y se ajusta a un variograma teórico.

3) Predicciones para los puntos no muestreados: Estimaciones de la variable en los puntos no muestreados se realizan 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. (García F. M., 2004)

2.11 Semivariograma

El semivariograma o variograma como se le conoce corresponde a una función

matemática $2\gamma(h) = Var[Z(x+h) - Z(x)] = E[Z(x+h) - Z(x)]^2$ en la que se establece la relación entre la semivarianza entre cualquier par de valores $Z(x)$ y $Z(x+h)$ con el vector h conocido como “lag”, referido a la separación en distancia y dirección a la que se sitúan las parejas de valores considerados, y que se obtiene como el valor promedio de la diferencia al cuadrado de los valores de la propiedad en dos puntos separados por h .

El principio de estacionariedad implícito en la construcción del variograma, indica que si dos localizaciones están a una distancia y dirección similar tendrán diferencias similares al

cuadrado entre sus valores (Moreno, 2005) o de otra forma, utilizando la definición teórica de la varianza en términos del valor esperado de una variable aleatoria, tenemos que para cualquier vector h , la varianza del incremento está definida y es una función única de la distancia. A la mitad del variograma $\gamma(h)$ se conoce como la función de semivarianza.

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

Donde:

γ es independiente de la localización x

γ depende del módulo y de la dirección del vector h

Según la definición del variograma, se deduce que $\gamma(0) = 0$, $\gamma(h) \geq 0$ y $\gamma(-\vec{h}) = \gamma(\vec{h})$

Para cada par de puntos, se representa en el eje de las ordenadas, las diferencias al cuadrado de los valores (en términos absolutos) de la variable en dichos puntos, $\gamma(h)$ mientras la distancia (generalmente medida a través de la distancia euclidiana) entre ambos puntos h , se mide en el eje de las abscisas.

2.12 Detección y modelización de la dependencia espacial mediante el variograma.

El variograma, se divide en dos tipos: *el variograma experimental o variograma de la muestra*, y *el variograma teórico o variograma de la función aleatoria*. A partir de los datos muestrales se obtiene el variograma experimental, al cual se le ajusta un modelo de variograma teórico que cumpla ciertas condiciones de tipo matemático y, posteriormente la elección del modelo teórico de variograma se analiza e interpreta mediante el uso de una validación del modelo (Jiménez, 2003). El cálculo del semivariograma experimental y su posterior ajuste a un modelo teórico no es tarea sencilla, en él intervienen decisiones respecto del tamaño y distribución muestral, dirección y distancia a fin de que se refleje adecuadamente la dependencia espacial de la variable. De hecho, los problemas más comunes encontrados a la hora de obtener el semivariograma, tiene que ver con una pobre elección de la distancia, una muestra de datos heterogénea y la existencia de outliers o distribuciones asimétricas (Cuador, Quintero y Estévez, 2000).

2.12.1 Variograma experimental.

El estimador clásico propuesto por Matheron en 1965 para obtener el variograma o semivariograma experimental viene dado por la ecuación

$$\gamma(\mathbf{h}) = \frac{1}{2Np(h_\theta)} \sum_{i=1}^{Np(h_\theta)} [Z(x_i + h_\theta) - Z(x_i)]^2$$

Donde:

N es el número de puntos o tamaño muestral y $Np(h)$ es el número de pares de observaciones separados a una distancia

h_θ es el espacio de distancia de separación entre pares de datos en la dirección θ . h también se denomina “paso del variograma”

$Z(x_i)$ son los valores que asume la variable en un espacio dado.

x_i corresponde a las unidades geográficas según sus coordenadas cartesianas, donde son medidos los valores $Z(x_i)$.

El estimador es sensible a la presencia de outliers debido al término cuadrático presente en el sumando del estimador clásico (Funes, 2004), por ello Cressie, (1989); Emery, (2004); Armstrong, (1984); Gunst y Hartfield, (1997) propusieron alternativas de estimadores que permiten salvar esta deficiencia. Sin embargo, el estimador obtenido por el método de los momentos sigue siendo el más utilizado (Larraz, 2004).

Matherón (1965) indica que en caso de disponer de una muestra finita, el semivariograma $\gamma(h)$, puede ser obtenido punto por punto experimentalmente para distancias h según la ecuación anterior.

2.12.2 Elementos básicos del semivariograma

El semivariograma experimental compuesto por cada par de puntos situados a una distancia h en una dirección θ determinada, contiene toda la información referente a la variable regionalizada (Henríquez y Vilorio, 1999). A mayor grado de similitud entre pares

de observaciones, menor será la semivarianza y por tanto, menor el valor de $\gamma (h)$ (Ovalles y Rey, 1995).

Los valores así obtenidos, se utilizan para graficar el semivariograma (Figura 3), dentro del cual, se puede distinguir las siguientes partes:

1) Efecto pepita: Comportamiento del semivariograma en el origen (C0). En la práctica suele presentar una discontinuidad en el origen denominada efecto pepita o **efecto “nugget”** (El nombre efecto de pepita proviene del estudio de los depósitos de oro y en general, se produce debido a microvariaciones y/o a errores en el muestreo (Alfaro, 2007).

2) Distancia integral: Es aquel valor de h tal que el área por debajo de la curva semivariográfica coincide con el área por encima de ella y bajo la asíntota horizontal. Si esta distancia integral es pequeña, significa que existe correlación sólo entre pares de puntos ubicados a distancias muy cercanas. A medida que aumenta la distancia integral, aumenta la correlación existente entre las observaciones que se encuentra a mayor distancia, indicando, por tanto, un incremento en la dependencia espacial de las observaciones con la distancia (Larraz, 2004).

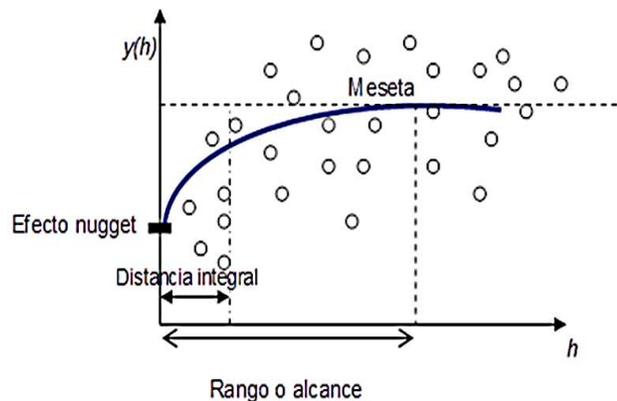


Figura 3. Semivariograma Fuente: (Rodón, 2007)

NOTA: La gráfica entre la semivarianza y la distancia (h) muestra el semivariograma y se obtiene como la mitad del promedio de la diferencia entre cada par de datos y la línea de 45°

en la gráfica y su valor aumenta a medida que el coeficiente de correlación y la covarianza disminuyen (Ovalles y Rey 1995).

3) Zona de alcance o Rango: Zona de influencia o región donde existe dependencia espacial, que está representada por el alcance o rango de dependencia espacial donde se alcanza la máxima variación o umbral llamado meseta. El alcance determina la superficie que representa la distancia a partir de la cual se podría decir que la correlación espacial entre los valores es nula. Dos muestras cuya distancia sea inferior al alcance están correlacionadas entre sí (Alfaro, 2007).

2.12.3 Nivel de dependencia espacial o Indicador de dependencia espacial (IDE).

Los valores de los parámetros de la meseta parcial (C), nugget o pepita (C_0), meseta (C_0+C) y el rango, son utilizados para construir nivel de dependencia espacial. La relación Nugget/meseta es un criterio de clasificación de la dependencia espacial. Si esta relación es inferior a 25% existe una fuerte dependencia espacial, entre 25% y 75% se considera una dependencia moderada y mayor a 75%, existe una débil dependencia. Si la dependencia espacial es igual a 100%, el modelo de semivariograma tendrá solo efecto nugget. Por otro lado, el valor de la dependencia espacial indica la factibilidad de aplicar técnicas de predicción estocásticas o determinísticas de interpolación espacial. En el caso del kriging, este no es recomendable para un nivel de dependencia mayor a 75%. Cambardella *et al.*, (1994) señala que es importante establecer el nivel de dependencia espacial a fin de conocer el grado de relación entre los datos.

2.12.3 Cálculo del semivariograma a partir de los datos

Al ser el semivariograma una media de todos los pares de semivarianzas para cada distancia de separación h , es dependiente del número total de datos (N) y de la consistencia de los mismos (Moreno, 2005; Webster y Oliver, 1990; Montero y Larraz, 2008). Por tanto, siendo la precisión de la estimación del semivariograma particularmente sensible al tamaño muestral y a su distribución, es necesario tener presente algunas reglas prácticas que permiten elevar la eficiencia y la calidad de la estimación (Díaz, 2002).

2.12.4 Reglas relacionadas con los componentes del estimador:

a) *Número de observaciones $Np^{(h)}$ y/o pares de datos.*

Las referencias consultadas coinciden en establecer como regla general, que el tamaño muestral mínimo indicado debería ser al menos de 50 puntos (Gallardo, 2006; Usan diversas, 2006). Henríquez y Vilorio (1999) consideran que 50 observaciones es un número de muestras muy pequeño y citan el tamaño mínimo de la muestra de 100 observaciones propuesto por (Webster y Oliver, 1990) como condición para obtener semivariogramas satisfactorios. En condiciones de isotropía, 150 datos podrían ser satisfactorios mientras que uno derivado de 225 datos usualmente sería más confiable.

Por su parte, Moral, (2004) aconseja 100 datos en condiciones isotrópicas, mientras que si existe anisotropía los datos tienen que ser mucho más abundantes. Por otro lado, si se considera el número de pares de puntos como mínimo para obtener un semivariograma, Journel y Huigbregts (1978), Gallardo (2006), Henríquez y Vilorio, (1999); Díaz, (2002), indican que se requiere al menos 30 pares de datos. Si bien estas reglas generales sirven de guía, no deben ser tomadas como un dogma insalvable por cuanto se han publicado trabajos con menos de 50 puntos en el espacio (Gallardo, 2006).

Villatoro, Henríquez, y Sancho (2008) concluyen en su investigación acerca de la comparación de los interpoladores IDW y Kriging que cuando se dispone de una alta densidad de muestreo aumenta la dificultad de detectar diferencias de predicción mediante ambos interpoladores, indicando que tal diferencia puede haber sido más marcada a una menor densidad de muestreo.

b) *Distancia h y número de intervalos nh .*

Montero y Larraz (2008) señalan que, en la práctica, el número de pares de datos suele disminuir con la distancia y a grandes distancias el número de ellos no es suficientemente elevado como para que se tenga confianza en el valor que proporciona el semivariograma experimental. La práctica justifica, por tanto, la regla siguiente: el variograma es significativo a distancias aproximadas a la mitad de la distancia máxima entre pares de puntos (Gallardo, 2006; Díaz, 2002; Alfaro, 2007). No obstante, Montero y Larraz (2008) aclaran que la

decisión final relativa a la distancia máxima a la que se calcula el semivariograma empírico, dependerá del investigador a la luz de pares que tenga a cada distancia.

Respecto de nh , la elección del número de intervalos es arbitraria, no obstante Díaz (2002) sugiere considerar una cantidad mínima de 10 intervalos y un número máximo de 25 intervalos para determinar con precisión los elementos del semivariograma (rango, meseta, alcance, que veremos en los siguientes apartados).

2.13 Limitaciones del semivariograma

El semivariograma presenta algunas limitaciones debido a que $\gamma(h)$ es esencialmente una media muestral. Se le considera un estimador insesgado, pero no robusto ni resistente a valores anómalos (Díaz, 2002). En consecuencia, el variograma experimental es poco estable cuando:

- La distancia considerada (h) es grande.
- $Z(x)$ y $Z(x+h)$ presentan desviaciones en su distribución. Con frecuencia $Z(x)$ es sesgada y con grandes colas o de otra forma, cuando la distribución de los datos es muy asimétrica.
- Existencia de valores atípicos (outliers) en Chica-Olmo y Jiménez (1992a; 1992b) analiza la influencia que tienen los valores extremos en la determinación del variograma, así como la valoración de diferentes modelos de variogramas autorizados, en la determinación de la estructura espacial).

Larraz (2004) indica que la presencia de outliers en la muestra afecta la robustez del semivariograma, puesto que tales valores exacerban el valor medio de las diferencias cuadráticas γ , en consecuencia, distorsionan la estimación del semivariograma. Es decir, el hecho de que cada observación se utiliza muchas veces en la estimación del semivariograma, puede agravar los efectos de los datos anómalos.

2.14 Variograma teórico

Estimador del semivariograma experimental que según Matherón (1965) pese a poseer significación objetiva, se interpreta en la óptica estocástica como una variable aleatoria, cuyo valor probable no es otro que el variograma teórico. El variograma teórico se define al

considerar los valores como aleatorios y al utilizar una esperanza matemática en lugar de un promedio (Emery, 2004):

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

La construcción de este último se debe a la imposibilidad de trabajar con un variograma como el experimental, carente de una función matemática precisa y a la necesidad de evaluar el variograma en diferentes distancias sea, para distancias próximas a cero, distancias intermedias o superiores (Moral y Marques, 2002). Por tanto, una vez definido los puntos del variograma experimental mediante, por ejemplo, el estimador clásico de Matheron, se busca una función matemática apropiada para los puntos muestrales.

A medida que aumenta la distancia, los puntos muestrales presentan un valor mayor de variograma, con lo cual, se busca una función matemática que se ajuste a tales valores según. Larraz (2004), la función elegida debe recoger el comportamiento de la variable en el origen y el comportamiento para grandes distancias.

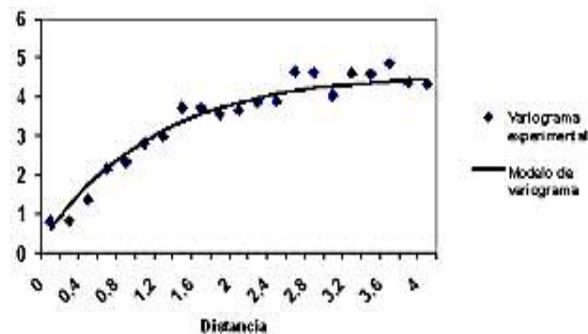


Figura 4. Variograma experimental y variograma teórico. Fuente: (Rodón, 2007)

A los puntos que componen el variograma experimental, se le ajusta una función matemática que representa el variograma teórico y que permite evaluar la dependencia espacial de la variable para distancias o direcciones intermedias o superiores.

A través del comportamiento de la variable en el origen se puede observar el grado de regularidad espacial o lo que es lo mismo, estudiar cuán rápido puede variar la variable a pequeñas distancias. Por tanto, se espera que mientras más regular sea el variograma en el origen, más regular será la variable regionalizada en el espacio (Emery, 2004).

A cortas distancias, el variograma presenta dos tipos de formas:

➤ Forma discontinua (efecto pepita): que representa una variable regionalizada errática. Teóricamente se supone que $\gamma(0) = 0$, sin embargo puede ocurrir que, donde

$$\lim_{h \rightarrow 0} \gamma(h) = C > 0$$

C es el efecto nugget o pepita.

➤ Forma continúa bajo dos posibilidades: forma parabólica o forma lineal. La primera indica que el semivariograma es continuo y derivable en el origen $\gamma(h) \xrightarrow{h \rightarrow 0} f(h^2)$ mientras que en la forma lineal, el semivariograma adquiere un comportamiento

$$\gamma(h) \xrightarrow{h \rightarrow 0} f(h)$$

continuo aunque no derivable en el origen.

2.14.1 Modelos autorizados de variograma.

Cualquier función que dependa de la distancia y de la dirección, no necesariamente ha de ser un variograma válido. Una función que represente adecuadamente los valores estimados del variograma no es cualquier función y de hecho existen un número reducido de modelos teóricos que pueden ser usados (Díaz, 2002; Funes, 2004). Algunos de estos modelos se pueden clasificar de acuerdo a dos consideraciones no excluyentes entre sí (Montero y Larraz, 2008):

- Según posean meseta o no (comportamiento a grandes distancias).
- Según sea la recta tangente a la curva en el origen (comportamiento a cortas distancias).

Cada uno de estos modelos tiene particularidades respecto de su comportamiento de acuerdo a la distancia. Pueden ser utilizados individualmente para ajustar el semivariograma experimental a uno teórico o en algunas ocasiones se puede ajustar un modelo correspondiente a la suma de dos (o más) modelos, llamados modelos anidados. La suma de dos modelos de variograma constituye un modelo autorizado (Alfaro, 2007).

a) Modelo Efecto Pepita Puro: Modelo donde la variable presenta un comportamiento discontinuo en el origen. Se caracteriza por ausencia total de correlación en el espacio. Es decir, independiente de cuan cerca se encuentren los puntos muestrales entre ellos, ya que el valor de las variables mostrará siempre no correlación. Este caso es el equivalente espacial de una muestra aleatoria en la

estadística clásica. Montero y Larraz (2008) indican que no es habitual su uso individual, sino que en combinación con otro semivariograma que posea meseta. El modelo corresponde a la función:

$$\gamma(h) = \begin{cases} 0 & \text{si } h = 0 \\ C & \text{en caso contrario} \end{cases}, \text{ con } C = \text{meseta.}$$

b) Modelo Esférico. Este modelo tiene un comportamiento lineal en el origen y alcanza la meseta a una distancia igual al rango a . Representa un fenómeno continuo, pero no diferenciable. Es decir, fenómenos cuya gráfica pueden presentar quiebres (Funes, 2004). El modelo esférico corresponde a uno de los modelos de variogramas más utilizados.

El modelo corresponde a la función:

$$\gamma(h) = \begin{cases} C \left\{ \frac{3}{2} \frac{h}{a} - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right\} & \text{si } h \leq a \\ C & \text{en caso contrario} \end{cases}$$

c) Modelo Exponencial. El modelo alcanza la meseta en forma asintótica y tiene un comportamiento lineal en el origen. Representa fenómenos continuos, pero no diferenciables. El parámetro a es el alcance práctico y corresponde a la distancia para la cual el variograma llega al 95% de su meseta C .

El modelo corresponde a la función:

$$\gamma(h) = C \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{3h}{a}\right) \right\}$$

La principal *diferencia entre el modelo esférico y el exponencial*, es la distancia a la cual sus tangentes en el origen cortan a la recta de $y=h$. El modelo esférico alcanza una meseta más rápidamente que el exponencial (Montero y Larraz, 2008).

d) Modelo Gaussiano. Modelo con comportamiento parabólico en el origen. Representa fenómenos continuos infinitamente diferenciables (sumamente continuos). C es la meseta o varianza y a es prácticamente el rango (valor al 95 % de la meseta). Este modelo también tiene un alcance práctico asintóticamente de la meseta.

El modelo corresponde a la función:
$$\gamma(h) = C \left[1 - \exp\left(-\frac{3h^2}{a^2}\right) \right]$$

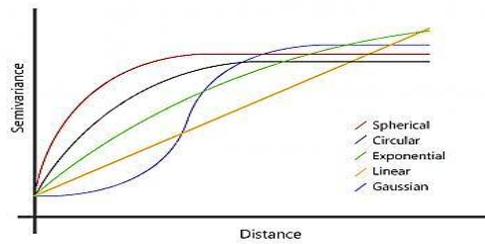


Figura 5. Semivariogramas teóricos más comunes.

2.15 Validación cruzada del modelo de variograma o “Cross-validation”

La validación cruzada como aproximación para evaluar el ajuste del modelo de variograma elegido, resulta atractivo por su sencillez y eficacia (Díaz, 2002). Método también conocido como “leave one out” que consiste en eliminar un valor de la variable, calcular el semivariograma correspondiente y estimar el valor eliminado a partir de dicho semivariograma (Isaaks y Srivastava, 1989; Franz, Rossi, y Mulla, 1992).

Si esto lo hacemos uno por uno con todos los valores de las variables, se puede representar todos los valores estimados frente a sus valores reales como lo muestra la siguiente (Figura 6).

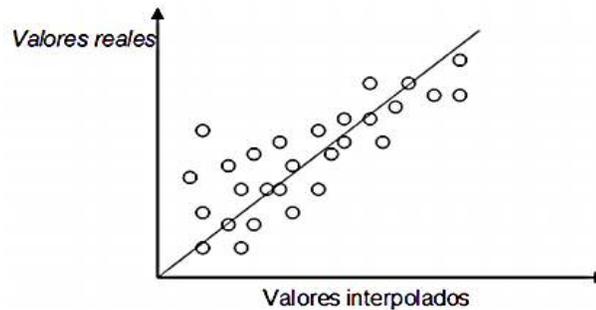


Figura 6. Relación entre los valores utilizando una validación cruzada.

Fuente: (Alfaro, 2007)

Si el variograma modelizado refleja adecuadamente la estructura espacial implícita en el conjunto de datos, entonces los valores estimados deben ser cercanos a los valores observados (Díaz, 2002).

Esta “cercanía” puede ser caracterizada según lo siguiente:

Medias de los errores y de los errores estandarizados: se revisa la estimación mediante el error cuadrático medio (ECM, por ejemplo), para comprobar la desviación del dato estimado con respecto al medido. Se considera que el mejor modelo será aquel en el que la suma de los errores cuadráticos medios para todos los puntos muestrales sea más próxima a cero.

- Varianza de los errores: se espera debe ser la más baja posible.
- Varianza de los errores estandarizados: debe ser cercana a uno.
- Nube de dispersión entre valores reales y estimados: la regresión debe acercarse a la diagonal (Díaz, 2002).

Con los puntos anteriores se van probando los diferentes valores de los parámetros del semivariograma hasta que los errores de validación cumplan con ciertos criterios estadísticos (Cuador, 2000). Al realizar este tipo de estudios debemos de poner especial atención en los aspectos negativos, como lo son errores elevados o áreas con evidente sobre subestimación (Gallardo, 2006).

2.16 Interpolación.

En términos generales, un método de interpolación es una herramienta que permite el cálculo del valor de una variable en una coordenada para la cual dicho valor no es conocido, a partir de los valores conocidos para otra serie de coordenadas. Las posibilidades de métodos a aplicar son numerosas pero el utilizado en la metodología ha sido el Kriging.

Este es un método de interpolación estocástico. Se trata de un método complejo con una fuerte carga (geoestadística) del que existen además diversas variantes. Se basa en la teoría de variables regionalizadas, la cual fue desarrollada por Matheron, (1963) a partir del trabajo pionero de Krige (1951). El objetivo del método es ofrecer una forma objetiva de establecer la ponderación óptima entre los puntos en un interpolador local. Existen diferentes tipos de kriging como puede ser el ordinario, el universal, el co-kriging entre otros.

2.17 Definición del Kriging

La formulación del Kriging dada por Matheron se relaciona con un conjunto de métodos de predicción espacial que se fundamentan en la minimización del error cuadrático medio de predicción (Giraldo, 2007). La palabra kriging sinónima de “**predicción óptima**” (Funes, 2004) se utiliza como referencia a una familia de algoritmos **de interpolación, que significa “mejor estimador lineal insesgado” (en inglés, Best Linear Unbiased Estimator)** de un punto y al mejor promedio lineal móvil ponderado de un bloque (Díaz, 2002; Emery, 2004).

- mejor, dado por la búsqueda del modelo de variograma (covarianza) de varianza mínima en el error.
- lineal, porque es una combinación lineal ponderada de los datos.
- Insesgado, con un error de estimación de media igual a cero.

Gallardo (2006) afirma que, este interpolador lleva asociado un grado de incertidumbre que puede ser representado en el espacio en forma de varianza o desviación estándar, por cuanto a cada punto del espacio interpolado se le puede asociar una distribución teórica, lo que permite a su vez; realizar simulaciones probabilísticas, representando el resultado del kriging como la probabilidad de que la variable alcance un determinado valor.

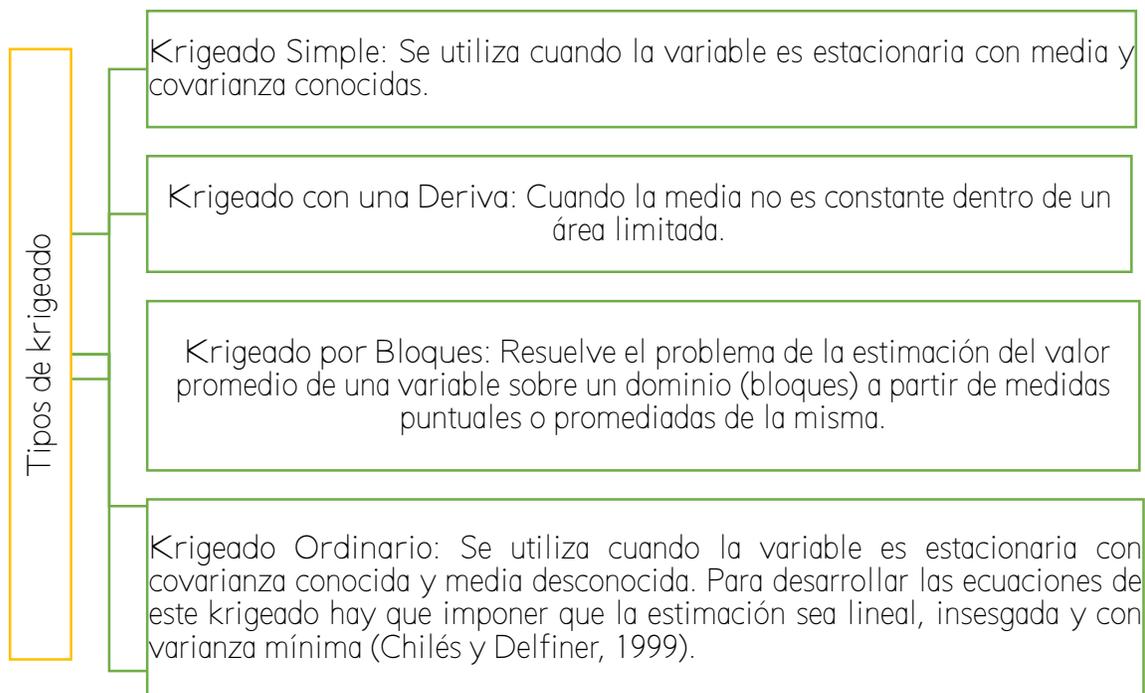
Larraz (2004) indica que, además de la precisión de la estimación mediante el cálculo de la varianza del error, el estimador de Krige es un interpolador exacto, lo que implica que en los puntos que forman parte de la muestra, su estimación coincide con el valor muestral y por tanto aporta una varianza de estimación asociada nula.

En la (Figura 7), se muestra una representación gráfica de la diferencia entre utilizar el estimador Kriging y el interpolador por mínimos cuadrados. En el primero, la función **obtenida “pasa por los puntos muestrales”, mientras que en el segundo caso no.**



Figura 7. Predicción espacial por Kriging

Fuente: Alfaro (2007).



2.17.1 Ventajas del kriging sobre la mayoría de los interpoladores

- El estimador es una forma en la cual se toma en cuenta la distribución de los datos, dentro de los estimadores se asignan pesos máximos a puntos situados más cerca y que estos fuesen disminuyendo a medida que aumenta la distancia entre puntos de estimación y datos.

➤ Los estimadores también asignan pesos máximos a los puntos situados más cerca y que fuesen disminuyendo a medida que aumenta la distancia entre puntos de estimación y datos.

➤ Si dos puntos están muy próximos, sus pesos serán menores que si están alejados.

En el *método del Kriging* no es necesario exigir estas propiedades puesto que se cumplen de forma natural, para este método se observa que:

a) El error de estimación es mínimo y no sesgado

b) Es importante notar que la minimización del error se hace basándonos en que se conoce el semivariograma con exactitud, sin embargo, la estimación del semivariograma es no sólo un proceso difícil, sino que no cuantificable.

c) El kriging es un estimador exacto, esto es, si se trata de estimar Z en un punto de observación, el resultado será el valor medido con incertidumbre nula.

d) Las ecuaciones de kriging no dependen de los valores medidos de las variables, sino solamente de sus posiciones y del semivariograma.

e) Este método permite además la posibilidad de obtener mapas de la distribución espacial de los organismos estudiados, los cuales, a su vez, tienen amplias utilidades (Samper y Carrera, 1996).

Los mapas de distribución espacial pueden ser de utilidad en la Agricultura de Precisión con el objeto de dirigir las medidas de control sobre áreas específicas de infestación o zonas donde se rebase el umbral de daño económico por parte de un insecto plaga (Fleischer, Blom, Emmen y Hower, 1999).

2.18 Tipos de distribución espacial

La estructura espacial es una característica que debe considerarse puesto que aporta información valiosa acerca de las variables y procesos recogidos en dichos puntos y estos ayudan a una correcta planificación dentro de los estudios de distribución espacial. Existen tres tipos de patrones los cuales son:

Aleatorio o Disperso: Se suscita cuando todos los espacios en el hábitat tienen la misma posibilidad de ser ocupados por los individuos, la probabilidad de encontrar un individuo no

tiene relación con la de otro (independencia de probabilidades), se asocia a un hábitat continuo sin variabilidad ni interacción.

Uniforme o Regular: Cuando todos los espacios en el hábitat tienen la misma posibilidad de ser ocupados por los individuos, sin embargo, la probabilidad de ocurrencia de un individuo disminuye la de otro, indicando fuertes interacciones de competencia y territorialidad.

Agregados o de contagios: Es uno de los patrones más comunes en la naturaleza y se caracteriza por que la probabilidad de ocurrencia de un individuo aumenta la del otro, indicando variabilidad ambiental y fenómenos ecológicos y etológicos como migración (Bliss y Fisher, 1953; Taylor L. R., 1984; Badil, Guillen, Cerna, y Landeros, 2011; Davis, 1994; Taylor, 1984; Odum-Eugene y Barrett-Gary, 2004).

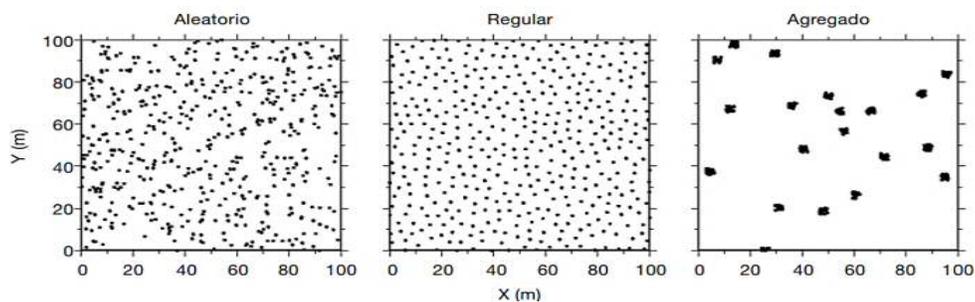


Figura 8. Tipos de Distribución espacial.

2.19 Análisis espacial de la información

Dentro de la agricultura actualmente se tienen varios trabajos bajo el concepto de análisis espacial, tal es el caso de estudios en etapa fenológica del cultivo, información edafológica, mapas de clima, muestreo de insectos y enfermedades, todo esto por medio del uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG), Sistemas de Posicionamiento Global (GPS) sensores remotos, geoestadísticas e índices de distancia, los cuales permiten analizar la distribución espacial y temporal de cualquier insecto plaga (De Luigi *et al.*, 2011; Eisen, 2011; Baldacchino, Sciarretta, y Addante, 2012; Bautista, Cardona, y Soto, 2013).

El uso de estas herramientas contribuye al conocimiento y explicación del comportamiento de diversas especies en tiempo y espacio, este tipo de estudios pueden

realizarse desde pequeñas parcelas hasta un área completa de una región o país (Cigliano y Torrusio, 2003), los resultados obtenidos de este conjunto de herramientas permite tomar mejores decisiones para crear planes de acción y mejora en la planificación y sistematización de los métodos de muestreo y planes de manejo agroecológico (Guzmán, 2009; Sciarreta y Trematerra, 2014). La Geoestadística brinda el conjunto de métodos para analizar la dependencia espacial entre las muestras (autocorrelación) y la obtención de estimaciones de la variable de estudio en lugares que carecen de muestreo (Duarte, Calvo, Borges y Scatoni, 2015; Davis, 1994).

2.20 Importancia de la distribución espacial

Determinar la distribución espacial de las poblaciones de insectos en los agroecosistemas es fundamental en la toma de decisiones de control. Tal como señala Binns y Nyrop (1992) y Pedigo y Rice (2006) un plan de muestreo confiable y rentable requiere un conocimiento integral de los atributos ecológicos de la plaga objetivo como densidad de distribución espacial, dinámica poblacional, ciclos de vida y distribución de edades entre otras.

La dispersión de las especies puede representar un valioso aporte para diversas disciplinas tal es el caso de la agricultura, donde cada vez son más los estudios enfocados al control de plagas y enfermedades además de otros componentes como son la fertilidad de suelos entre muchas otras. Hyatt *et al.* (2003) mencionan que evaluar el grado de agregación o dispersión de las especies permite identificar mecanismos y factores que mantienen y promueven la coexistencia de especies y la diversidad vegetal de los ecosistemas naturales.

2.21 La geoestadística en el estudio de las poblaciones de las plagas

El estudio de la distribución espacial de una especie se ha realizado tradicionalmente mediante los índices de dispersión, como los de Taylor, Morisita, Lloyd y Iwao (Southwood–T y Henderson, 2000), pero desde finales de los años 80, se ha puesto a punto la utilización de dos técnicas que permiten describir de una manera más precisa la distribución espacial de una población: la Geoestadística (Schotzko y Okeefe, 1987; Farias, Roberto , Lopes y Perecin, 2004) y los Sistemas de Información Geográficos (SIG) (Liebhold , Rossi y Kemp , 1993).

En la Geoestadística es indispensable que la variable estudiada, en este caso, número de individuos por unidad muestral o número de individuos por trampa o presentes en un ambiente, sea regionalizable y se ajuste a alguno de los modelos posibles del semiovariograma (Ribes, Bascuñana y Avilla, 1998).

En este caso, puede realizarse una descripción de la distribución espacial a pequeña (parcela) o gran (zona) escala más precisa que la que se obtiene con los índices de dispersión, lo que permite optimizar el método de muestreo y las medidas de control a adoptar, precisar el momento de superación del umbral económico de daño para realizar los correspondientes avisos a los agricultores y estudiar algunos aspectos de la ecología de la plaga, como los patrones de dispersión entre hábitats.

2.22 Distribución espacial de insectos

El comportamiento de los insectos en tiempo y espacio no es un tema reciente como veremos, hay varios autores que se han interesado en el tema y han logrado transmitir sus conocimientos e implementar nuevas técnicas de muestreo y monitoreo de especies en el medio ambiente.

La distribución espacial de insectos puede variar extensamente de un punto a otro, viéndose influenciado por factores medio ambientales como humedad, drenaje, precipitación, pendiente, tipo de suelo e intensidad de luz entre otros, o bien como lo menciona Montiel (1981), los insectos responden a la influencia de múltiples factores, los cuales se clasifican en dos grupos: los de tipo biótico, en este caso los depredadores, parasitoides o entomopatógenos y los abióticos que ya mencionamos. Soberón (2010) menciona que a gran escala son más influyentes las condiciones abióticas y a escala local las interacciones bióticas.

Para autores como Soberón (2007) y Pulliam (2000) la distribución espacial de insectos es entendida como el esquema que adopta la población en un área geográfica, es decir la ubicación de cada individuo como respuesta a las condiciones ambientales optimas, puede estar determinada por tres componentes: los factores abióticos que afectan la tasa de crecimiento neto de las poblaciones; interacciones bióticas que pueden afectar la eficiencia

biológica de una manera reguladora y los efectos del movimiento espacial de los individuos y poblaciones sobre la distribución de las especies.

Los insectos son una de las formas de vida con la más amplia diversidad sobre los ecosistemas terrestres, la dinámica de esta diversidad se ve influenciada principalmente por los cambios climáticos y los insectos responden a ellos con mucha sensibilidad ya que la capacidad de adaptación y supervivencia depende de ciertos límites (Régnière, 2009).

Los estudios de la dispersión espacial de especies es un factor fundamental para comprender o determinar el efecto de sucesos pasados sobre el patrón de distribución actual, lo cual permite generar hipótesis sobre los procesos biológicos o ambientales que estructuran el comportamiento de especies dentro de la agricultura.

Wiegand, Gunatilleke y Gunatilleke (2007), indican que los patrones espaciales son el resultado de procesos diferentes que operan en distintas escalas y guardan relación con los síndromes de regeneración propios de las especies (modos de dispersión, tolerancia a la sombra, establecimiento, supervivencia y desarrollo) y con la heterogeneidad ambiental.

Rabinovich (1980) sostiene que al caracterizar los diferentes tipos de arreglos espaciales debemos tener presente ciertas condiciones del espacio y de los organismos que hace que podamos reconocer tres situaciones muy diferentes:

- Cuando el espacio habitable es discontinuo que trata de casos en que los organismos están confiados a sitios habitables discretos.
- Cuando el espacio habitable es continuo, que trata de los casos en que prácticamente todo el hábitad ofrece, sin solución de discontinuidad, condiciones apropiadas para la presencia de organismos.
- Cuando el espacio habitable es continuo y los organismos no están claramente delimitados individualmente, esta es una situación confrontada en esencia por los ecólogos vegetales, y está representada por el caso de plantas que se reproducen vegetativamente, en las cuales se hace imposible determinar dónde comienza y donde termina un individuo.

Según Browser, Zar y Von (1990) sostienen que la densidad aislada presenta un cuadro incompleto de como una población se distingue en su habitat. Es decir, dos poblaciones pueden tener la misma densidad, pero presentar diferente arreglo espacial. La distribución de los miembros de una población dentro de su hábitat es referida como dispersión o distribución de patrones de una población, a su vez se refleja en el arreglo de los individuos dentro de un rodal por sitio y edad (estructura del rodal es en parte determinado por estrategias de las especies y los disturbios en los rodales). La distribución de organismos en la naturaleza raramente es uniforme, solo se da en huertos o cultivos. Una dispersión aleatoria, donde la posición de un individuo es completamente independiente de la posición de cualquier otro individuo en la población se presenta en ciertas especies.

III. JUSTIFICACIÓN

Es innegable el potencial que tiene el país en la producción de aguacate, sin embargo, existen limitantes que se deben de considerar a la hora de la producción, por mencionar algunas tenemos que el aguacate como monocultivo no ha tenido un ningún mejoramiento en los últimos 40 años debido a que cuenta con un ciclo de vida largo y el cambio de uso de suelo ha provocado la pérdida de entomofauna nativa, el cambio climático entre otros. Estos y otros aspectos agronómicos han sido descuidados durante muchos años, provocando que las poblaciones de insectos cambien sus hábitos alimentación y de reproducción.

Por lo anterior, se deben de llevar a cabo prácticas agronómicas en las huertas de producción con la finalidad de garantizar productos de buena calidad e inocuos, en los estados productores de aguacate en la República Mexicana se trabaja con el fin de ofrecer el aguacate al mercado internacional, pero muchas veces se dejar de lado el mercado nacional, en donde aún queda mucho trabajo por hacer puesto que al no existir tantas restricciones para la comercialización de aguacate con daños o presencia de plagas y enfermedades, se oferta producto con muchas afectaciones y sin restricciones para su traslado, lo que pone en riesgo la producción nacional.

En el agro mexicano existen muchas lagunas en el conocimiento de control de plagas y enfermedades, además de ello poco se ha hablado del mal manejo de los insecticidas y los agroproductos utilizados en la producción de aguacate, hace falta más investigación y aplicación de nuevas tecnologías más amigables con el ambiente, como lo son la producción orgánica y el control biológico además de la introducción de nuevas tecnologías que apoyen la planificación y el control de plagas y enfermedades, tal es el caso de las geotecnologías, estas nos están dando pauta al documentar el comportamiento de plagas y enfermedades asociadas al cultivo de aguacate, además de contribuir al reporte de nuevas especies de insectos y sus comportamientos, es así que este tipo de trabajos se vuelven relevantes puesto que no existe hasta el momento ni la suficiente información de *A. schwarzi* y *O. perseae* en cuanto a su distribución espacial en el cultivo de aguacate, por lo que este será un estudio que contribuya al conocimiento del comportamiento del escoltino y ácaros.

En este tipo de ecosistema es importante resaltar que para el caso de *A. schwarzi* es poca la información que se tiene al respecto de su patrón biológico y de distribución, en frutos de aguacate, por tanto, la información generada en ambos casos contribuirá para establecer nuevos conocimientos e hipótesis para descubrir la importancia de este barrenador secundario en el cultivo de aguacate en el Estado de México y generar planes de muestreo que permitan generar propuestas de manejo de ser necesarias; en el caso de las arañas cristalinas este tipo de trabajos contribuye a la estructuración de planes de monitoreo, manejo y mejora en el control de *O.perseae* en el cultivo de aguacate.

IV. HIPÓTESIS

El trabajo de distribución espacial bajo técnicas geoestadísticas, permitirá conocer el riesgo de infestación de *Araptus Schwarzzi* (Blackman) en el cultivo de aguacate en dos municipios del Estado de México, presentando una distribución espacial agregada comprobada en los mapas de distribución para establecer medidas de control dirigidas a puntos específicos en las plantaciones de aguacate cv. Hass en el Estado de México.

Oligonychus perseae (Tuttle, Baker y Abbatiello) presenta una distribución espacial agregada dentro de los huertos de aguacate cv. Hass y su comportamiento podrá ser ilustrado mediante mapas de incidencia para cuatro municipios del Estado de México con más producción del fruto.

V. OBJETIVOS

General

Desarrollar el análisis del comportamiento espacial de *Oligonychus perseae* y *Araptus Schwarzzi* en el cultivo de aguacate cv. Hass en el Estado de México.

Específico

- Identificar la presencia de *Oligonychus perseae* (Tuttle, Baker y Abbatiello) en huertos de aguacate cv. Hass en cuatro municipios del Estado de México (Coatepec Harinas, Donato Guerra, Temascaltepec y Tenancingo).
- Identificar la presencia de *Araptus Schwarzzi* (Blackman) en huertos de aguacate cv. Hass en dos municipios del Estado de México (Tenancingo y Villa Guerrero).
- Elaborar mapas de distribución espacial de las plagas antes mencionadas con ayuda de la geoestadística para cada municipio.
- Estimar la superficie infestada por cada especie en cada una de las zonas de estudio.

6.1 *Oligonychus perseae* (Tuttle, Baker y Abbatiello)

6.1.1 Zona de estudio

El estudio se llevó a cabo en el Estado México el cual se localiza en la porción sur de la altiplanicie meridional de la República Mexicana; abarca una superficie de 22,351 km² y está integrado por 125 municipios en 16 regiones representando el 1.14 % de la superficie del país (INEGI, 2015).

6.1.2 Selección de las zonas de estudio

Habiendo hecho una revisión de literatura y la búsqueda de parcelas con productores cooperantes, donde se buscó que el manejo agronómico del cultivo fuese llevado de manera similar y la edad de los árboles fuese de siete a los 10 años de edad y el cultivar manejado fuese cv. Hass.

6.1.3 Ubicación y descripción del área de estudio

Las zonas de estudio comprendieron cuatro municipios productores de aguacate: Coatepec Harinas, Donato Guerra, Temascaltepec y Tenancingo.

Tabla 1. Características edafoclimáticas de los municipios de estudio.

Zona de estudio	Ubicación geográfica	Altura (m)	Tem. promedio	Clima	Lluvia (mm)	Tipo de suelo
Coatepec Harrinas	Entre los paralelos: Lat.N; 18°48'08" 19°04'43" Long.O; 99°42'56" al 99°53'34"	Puntos altos 3,000 Puntos medios 2,260 Puntos bajos 1,900	Máx. 39 Min. 2 Media 18.8	Templado subhúmedo con lluvias en verano	1,242	Vertisol pelico; suelos con capa superficial oscura, suave y rica en materia orgánica. Litosol; suelos poco profundos con capa superficial rica en nutrientes. Cambisol – éutrico. Vertisol; suelos muy arcillosos de color negro o gris muy fértiles
Donato Guerra	Entre los paralelos: Lat.N 19° 14' y 19° 25' Entre meridianos Long O 100° 03' y 100° 19' de.	Puntos altos 3,500 Puntos medios 2,400 Puntos bajos 1,700	Máx. 20 Min. 8 Media 16.4	Templado subhúmedo, con lluvias en el verano, caluroso de abril a junio; frío en los meses de diciembre y enero	1,000–1,200	Andosol (61.96%), retención de la humedad; con bajos rendimientos debido a que retienen mucho fosforo, con programas adecuados de fertilización se puede conseguir altos rendimientos. Luvisol (27.21%), destinados a la agricultura rendimiento promedio. Vertisol (2.68%). Leptosol (0.52%) uso agrícola en extenso, muy fértiles pero su dureza dificulta la labranza y Regosol (0.02%).
Temascaltepec	Lat.N; 19°12'23" al 19°19'07" Long.O; 100°13'07" al 100°19'47"	Puntos altos 3,600–2,040 Puntos medios 1,720 Puntos bajos 570–1,200	Max 38 Min. 0–2 Media 17.7	Semicálido, subhúmedo, al norte y al este, con lluvias en verano, la semiárida húmeda, al sur y al oeste.	1,300– 1,670	Suelos andosoles formados a partir de cenizas volcánicas. Suelos cambisoles y litosoles con poca profundidad.
Tenancingo	Lat.N 18° 49' Los meridianos Long.O 99°30' y 99° 39'	Puntos altos 2 700 Puntos medios 2,052 Puntos bajos 2 200	Máx. 27 Min. 10 Media. 22	Templado subhúmedo con lluvias en verano de mayor humedad (94.19%), semicálido subhúmedo con lluvias en verano de mayor humedad (4.82%) y semicálido subhúmedo con lluvias en verano de humedad media (0.99%)	1 000	Andosol (59.86%), Vertisol (9.4%), suelo muy arcilloso presenta grietas y con la humedad se vuelve pegajoso, casi siempre muy fértil, pero su manejo ofrece ciertas dificultades la branza, presenta problemas de inundación por mal drenaje. Cambisol (8.71%) suelo joven, se caracteriza por tener una alta capacidad para retener nutrientes Phaeozem (8.68%), se caracteriza principalmente por su materia orgánica y nutrientes. Leptosol (6.51%), con menos de 10 centímetros de profundidad, limitado por roca, tepetate o caliche duro. Respecto a su uso agrícola, está condicionado por la presencia de abundante agua, en caso contrario se erosionan.

(INEGI, 2015)

6.1.4 Trabajo de gabinete

Se realizó un análisis de información bibliográfica del cultivo de aguacate, *O. perseeae*, y geoestadística, además de la capacitación en el software Gimp para complementar el trabajo.

6.1.5 Desarrollo de trabajo de campo

1) El área de estudio consistió en 200 árboles cv. Hass distribuidos aleatoriamente, estos fueron etiquetados y georreferenciados con un navegador Garmin modelo e Trex Vista HCx 2007, a lo largo y ancho de los municipios evaluados usando el método de cuadrantes.

2) Los árboles muestreados se seleccionaron en plantaciones de siete a 10 años en promedio, se efectuaron recuentos quincenales a partir de 3 de enero al 18 de junio de 2017 (Primer semestre) y del 1 de julio al 22 de diciembre 2017 (Segundó Semestre).

3) Se realizó la selección de 60 hojas por árbol tomadas del estrato bajo, medio y alto del árbol, seleccionando 5 hojas por cada punto cardinal teniendo un total de 20 hojas por cada estrato del árbol.

4) Para las observaciones y conteo de arañas se usó una lupa de aumento de 20x, esto de acuerdo con los ensayos hechos por González (2012) y se recabaron los datos para cada árbol.

6.1.6 Análisis Geoestadístico

Con los datos del trabajo de campo se realizó el procesamiento por medio de la Estadística Espacial.

1) *Estimación del semivariograma teórico y experimental*: se hizo uso de la base de datos procesándola con ayuda de diversos softwares, ajustando los semivariogramas experimentales (Isaaks y Srivastava, 1989) con el programa Variowin 2.2 (Software for Spatial Data Analysis in 2D. Spring Verlag, New York. USA.), mediante la siguiente fórmula:

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

Dónde: $\gamma^*(h)$ = 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 muestreo x_i ,

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

El número de pares de puntos muestrales separados por el intervalo de distancia h disminuye al aumentar la distancia h . Esto no es una regla, pero es común que el número de parejas se reduzca a partir de una cierta distancia.

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 . y 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).**

Una vez obtenido el semivariograma experimental, se realizó su ajuste a un semivariograma teórico (esférico, gaussiano y exponencial) de acuerdo con Englund y Sparks (1988) utilizando el programa Variowin 2.2 para determinar los valores de la meseta, rango o alcance y el efecto pepita.

2) *Validación cruzada*: Los parámetros del modelo a validar (C_0 , efecto pepita; C , meseta y a , rango o alcance) se van modificando hasta la obtención de estadísticos de validación cruzada adecuados.

Los valores de la validación cruzada son: Media de los errores de estimación: $MEE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [z^*(x_i) - z(x_i)]$ 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.

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

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

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

Dónde: σ_k es la desviación estándar del error esperado en la estimación con el krigado. La validez del modelo se satisface si ECMA está comprendido entre los valores $1 \pm 2(2/N)$ 0.5. (Isaaks y Srivastava, 1989).

3) *Nivel de dependencia espacial:* Se calculó con el fin de determinar la fortaleza de la relación entre los datos del muestreo. Este valor se obtiene al dividir el efecto de pepita entre el borde inferior, expresado en porcentaje. Menos de 25% se considera alto, entre 26 y 75% moderado y superior a 76% se considera bajo (Cambardella, et al., 1994; López, et al., 2002)

4) *Elaboración de mapas (Krigado):* La elaboración de mapas mediante la interpolación de los valores a través del krigado ordinario. Este proceso permite la estimación no sesgada de valores asociados a puntos que no fueron muestreados con base a lo establecido por Samper y Carrera (1996).

Mediante el uso del programa Surfer 9 (Surface Mapping System, Golden Software Inc. 809, 14th Street. Golden, Colorado 80401-1866. USA). Y finalmente, se estableció la superficie infestada de las estimaciones que se representan en forma de mapas para cada municipio, con el uso del programa GIMP versión 2.8 e IMAGE J.

6.2 *Araptus schwarzi* (Blackman)

6.2.1 Trabajo de gabinete

Se efectuó un análisis bibliográfico del cultivo de aguacate y de *A. schwarzi* y estudios geoestadísticos enfocados a la agricultura.

6.2.2 Área de estudio

El estudio se realizó en el Estado de México, en dos municipios: Tenancingo y Villa Guerrero, en donde se reportó la presencia de *A. schwarzi*, en parcelas entre 10–12 años de edad en plantaciones cv. Hass.

6.2.3 Ubicación y características del área de estudio.

Tabla 2. Características edafoclimáticas de los municipios de estudio.

Zona de estudio	Ubicación geográfica	Altura (m)	Tem. promedio	Clima	Lluvia (mm)	Tipo de suelo
Tenancingo	Lat. N 18° 49' Los meridianos Long. O 99°30' y 99° 39'	Puntos altos 2 700 Puntos medios 2,052 Puntos bajos 2 200	Máx. 27 Min. 10 Media. 22	Templado subhúmedo con lluvias en verano de mayor humedad (94.19%), semicálido subhúmedo con lluvias en verano de mayor humedad (4.82%) y semicálido subhúmedo con lluvias en verano de	1 000–	Andosol (59.86%), Vertisol (9.4%), suelo muy arcilloso presenta grietas y con la humedad se vuelve pegajoso, casi siempre muy fértil, pero su manejo ofrece ciertas dificultades la branza, presenta problemas de inundación por mal drenaje. Cambisol (8.71%) suelo joven, se caracteriza por tener una alta capacidad para retener nutrientes Phaeozem (8.68%), se caracteriza principalmente por su materia orgánica y nutrientes. Leptosol (6.51%), con menos de 10 centímetros de profundidad, limitado por

				humedad media (0.99%)		roca, tepetate o caliche duro. Respecto a su uso agrícola, está condicionado por la presencia de abundante agua, en caso contrario se erosionan.
Villa Guerrero	Entre los paralelos 18° 49' y 19°03' Lat. N los meridianos 99° 36' y 99° 45' Longitud O.	Puntos altos 3,900 Puntos medios 2,660 Puntos bajos 1,420	Max 31 Min.4 Media 18.1	Templado subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad (80.42%), Semi cálido subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media (10.73%) y semifrío Subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad (8.85%)	1,000–1,5000	Andosol (37.35%), Vertisol (20.39%), Cambisol (15.44%), Phaeozem (7.97%), Regosol (6.43%), Luvisol (6.3%) y Leptosol (2.31%)

(INEGI, 2015)

6.2.4 Diseño maestral y Trabajo de campo

- 1) El área de estudio consistió en 200 árboles cv. Hass con una edad aproximada de 10–12 años, distribuidos aleatoriamente y marcados a lo largo y ancho de los dos municipios usando el método de cuadrantes, para su georreferenciación se usó un navegador GARMIN modelo eTrex Vista HCx2007.
- 2) Se realizaron colectas quincenales durante un año a partir del 2 de enero al 23 de diciembre de 2018, para ambos municipios.



Figura 9. Etiquetado y georreferenciación de las áreas de estudio.

- 3) El muestreo se realizó con un cuadro de alambazón de 50x50 cm que fue lanzado al azar bajo la copa del árbol cuatro veces (una por punto cardinal), para las observaciones a la semilla se usó una lupa de aumento de 20x, se hicieron las anotaciones correspondientes al número de escolítinos encontrados en la semillas desnudas o frutos maduros, los cuales se encontraban bajo el árbol (en la hojarasca) destruyendo y contabilizando el número de insectos presentes en cada una de las semillas encontradas dentro del cuadro de alambrazon. Los principales síntomas que se observaron en la semillas afectadas fueron pequeñas perforaciones y presencia de un polvo blanquecino o rojizo, generalmente en la parte apical, media o basal del fruto.



Figura 10. Muestreo de *A. Schwarzii*

- 4) El material vegetal (semillas de aguacate) se colocó en cajas de plástico, este material fue usado para la identificación de la especie.

5) El material entomológico recolectado, (escolítinos adultos), fue conservado en frascos que contenían alcohol al 70% para su posterior identificación, todo el material fue etiquetado (Fecha de colecta, nombre del colector y lugar de la colecta).

6.2.5 Trabajo de laboratorio

El material colectado fue llevado al Colegio de Postgraduados Campus Montecillo para la identificación de los ejemplares la cual fue realizada por el Dr. Armando Equihua Martínez y la Doctora Edith G. Estrada Venegas, los escolítinos fueron depositados en la colección entomológica del Instituto de Fitosanidad, Entomología y Acarología del Colegio de Postgraduados. El estudio y distribución de la especie para México se consultó en los catálogos de Burgos-Solorio y Equihua-Martínez (2007), Atkinson y Equihua Martínez (1986) Chanderbali *et al.* (2008).

6.2.6 Análisis Geoestadístico

La información analizada proviene de los muestreos realizados para cada municipio durante un año de estudio de enero a diciembre de 2018, esto a través de diversos softwares Geoestadístico, que nos ayudaron a llevar a cabo la distribución espacial de *A. schwarzi*. Además, se realizó una prueba de Curtosis para verificar la normalidad de los datos obtenidos en campo, este valor se debe encontrar en un rango entre 3 y -3, de lo contrario se debe realizar una transformación para adecuar los datos a una distribución normal.

El análisis de datos por medio de la geoestadística se llevó a cabo de la siguiente manera:

1) Estimación del semivariograma experimental:

Este se obtiene a partir de los datos recolectados en campo perteneciente a cada uno de los muestreos realizados para *A. schwarzi* en el cultivo de aguacate cv. Hass en los municipios de Tenancingo y Villa Guerrero Estado de México; calculando el valor experimental del semivariograma con la fórmula:

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

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

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

La obtención del semivariograma experimental se usó el programa Variowin 2.2 (Software for Spatial Data Analysis in 2D. Spring Verlag, New York. USA.) (Win y Gslib 2002).

2) Estimación de los parámetros del modelo del semivariograma

Con la obtención del semivariograma experimental se procedió al ajuste a un semivariograma teórico (esférico, exponencial, gaussiano, entre otros), para hacer este ajuste se empleó el software Variowin 2.0.

3) Validación del modelo teórico

Para la validación de los diferentes modelos ajustados a los semivariogramas experimentales se realizó la *validación cruzada* (Isaaks y Srivastava, 1989).

Este procedimiento no paramétrico, se elimina un valor muestral y se emplea el método de interpolación geostatísticos denominado krigado, junto con el modelo de semivariograma a validar, para estimar el valor de la variable de interés en dicho punto muestral a partir de los restantes valores muestrales. Los parámetros del modelo a validar (Co, efecto pepita, C meseta y a, rango o alcance), se van modificando en un procedimiento de prueba y error hasta la obtención de estadísticos de validación cruzada adecuados.

4) Nivel de dependencia espacial

Este es el grado de relación entre los datos o nivel de dependencia espacial se obtiene al dividir el efecto pepita entre la meseta expresando el resultado en porcentaje cuando el resultado es menor del 25% el nivel de dependencia espacial es alta si se encuentra entre el

26 y 75 % el nivel de dependencia espacial es moderado si es mayor del 76 % el nivel de dependencia espacial es bajo (Cambardella *et al.*, 1994; López *et al.*, 2002)

5) Krigado (construcción de los mapas de distribución de *A. schwarzi*)

Krigado ordinario

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

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

Dónde: λ_i es el **coeficiente de ponderación o coeficiente de Krigado** (Chilés Delfiner, 1999). 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).

Para la elaboración de mapas se hizo uso de la técnica de krigado, la interpolación de valores a través del krigado ordinario permite la estimación no sesgada de valores asociados a puntos que no fueron muestreados, las estimaciones obtenidas fueron representadas en formar de mapa para cada fecha de muestreo de escolítidos mediante el uso del programa Surfer 9 (Surface Mapping System, Golden Software Inc. 809, 14th Street. Golden, Colorado 80401-1866. USA).

6) Superficie infestada

El cálculo de la superficie infestada, permite conocer las zonas de mayor incidencia de capturas e intensidad *A. schwarzi* en los diferentes periodos de muestreo y en las dos localidades, esto nos permite visualizar los focos de agregación y realizar controles localizados, lo que se vería reflejado en la optimización de los recursos; esto se realizó con la utilización del programa Surfer 9 (Surface Mapping System, Golden Software Inc. 809, 14th Street. Golden, Colorado 80401-1866. USA).

VII. RESULTADOS

Derivado de los resultados obtenidos durante el desarrollo de este trabajo de investigación, se han realizado a la fecha, cuatro artículos científicos que fueron enviados para su publicación en las revistas que se enlistan a continuación:

Tabla 3. Listado de Artículos derivados de la investigación.

Artículos	Estado
<p><i>Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas</i></p> <p>Modelización espacial de <i>Oligonychus perseae</i> (Tuttle, Baker y Abbatiello) mediante técnicas geoestadísticas</p>	<p>Publicado: 10(6)2019.</p>
<p><i>Revista Fitotecnia Mexicana</i></p> <p>Modelización espacial de las poblaciones de <i>Oligonychus perseae</i> (Tuttle, Baker y Abbatiello) en el Estado de México.</p>	<p>Enviado y en Revisión por pares académicos</p>
<p><i>Revista Acta Universitaria</i></p> <p>Análisis de la disposición espacial de <i>Araptus schwarzi</i> Blackman (Coleoptera: Scolytidae) en el cultivo de aguacate en Tenancingo, Estado de México.</p>	<p>Enviado y en Revisión por pares académicos</p>
<p><i>Revista Ecosistemas y Recursos Agropecuarios</i></p> <p>Comportamiento espacial de <i>Araptus schwarzi</i> (Coleoptera: Scolytidae) en aguacate en villa guerrero Estado de México</p>	<p>Enviado y en Revisión por pares académicos</p>

Cabe mencionar que estas revistas se encuentran indexadas en Thomson ISI y en el Índice de Revistas Mexicanas de Investigación Científica y Tecnológica del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT). Se anexan los artículos y la portada de la revista y los envíos correspondientes.

7.1 Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas: Modelización espacial de *Oligonychus perseae* (Tuttle, Baker y Abbatiello) mediante técnicas geoestadísticas

Contenido

ISSN: 2007-9230

Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas

Edición bilingüe • Bilingual edition

Artículos	Página
El proceso de comercialización del café en el sur del Estado de México. Félix de Jesús González Pazo, Diana M. Saegemann-Jaquez, Susana Rebolledo Robledo, José Miguel Omate Silveira, Juvenal Hernández Martínez y Julián Morales Hernández.	1195-1206
Inducción de brotes a partir de vials florales de la orquídea <i>Phalaenopsis</i> spp. (Blume) (Vivíva) Karla Andrea Frawo Jaime, M. Del Carmen Ojeda Zaccara, César Guadalupe Alvarado Gómez, Eduardo Alejandro García Zúñiga, Humberto Rodríguez Fuentes y Gilberto Rodríguez Pim.	1207-1218
Influencia de la fertilización en rendimiento y calidad de grano del centeno en la zona árida de Sonora, México. Juan Pablo López Córdova, Francisco Rodríguez Félix, Francisco Javier Wong Coronel, Francisco Ramírez Reyes, Edgar César Rosada Panto y Guadalupe Amanda López Alvarado.	1219-1230
Tolerancia a estrés hídrico en frijol cv. Pinto Sahilillo modificado con el gen <i>pyrophosphatase vacuolar-1</i> de <i>Arabidopsis thaliana</i> . David Caldera-Hernández, Roberto Castillo-Arias y María Alejandra Mora-Avilés.	1231-1245
Comportamiento genómico y fisiológico de maíces nativos del sur este de México. Luis Felipe Concepción de la Santa, René Oyarzun, Roberto H. Andueza-Núñez, Luis Lavumenier-Moscoso, Javier O. Méndez-Correa y Argenteo Paredo-Díaz.	1247-1258
Antagonismo de <i>Trichoderma</i> spp. y hongos asociados al <i>mariposa</i> de Chile. Pérez Asúa de Hoyos, Alfonso Luna-Cruz, Eduardo Cuevas-Hernández, Ezequiel Molina-González, Natalia Landero-Valeza y Héctor Luis Barales-Correa.	1259-1272
Evaluación del comportamiento poscosecha de uchuva provenientes de sistemas de producción convencionales y agroecológicos. Aurea Jessica Guerra Collana, Edwin Andrés Villegas Muñoz, Fabian Andrea Volquez Ayala y Keyrick Domiza González Velazco.	1273-1285
Concentración y extracción de macronutrientes en cuatro variedades de fresa. María Angélica Tapia, Víctor Hugo Valle Hüller, Francisco Sánchez García, Mario Pérez Cispián y María Luz Fajardo Franco.	1287-1299
Adaptación de genotipos de frijol negro a diferentes ambientes de Veracruz y Chiapas. César Hugo Trujillo-Villa, Bernardo Vilch-Sánchez, José Raúl Rodríguez-Rodríguez, Francisco Javier Herrera-Pérez, Rogelio Zúñiga-Lacort, Pablo Andrés-Mesa y José Luis Arias López.	1301-1312
Nuevos indicadores <i>maxif</i> para el diagnóstico de etapas de la vida en especies de género <i>Dasyneura</i> . Martha Moctezuma Orozco-Sifuentes, Dulce Victoria Méndez-Rodríguez, Fernando Hernández-Gutiérrez, Octavio Martínez, José Ángel Villarreal-Quiñonez y M. Humberto Reyes-Velázquez.	1313-1324
Diseminación de la borra fría como efecto del cambio climático en México. Guillermo Méndez-García, José Grageda-Cinque, José Ángel Ruiz-Corral, José Ángel Casas-Pérez, Víctor Manuel Rodríguez-Moreno y Celia de la Mora-Orosco.	1325-1337
Caracterización agrícola en la región serrano-norte de Veracruz: contexto y traducción. Giovanni Luna Choncal, Juan Gabriel Roque Peña, Eduardo Fernández Echeverría, Eduardo Martínez Méndez, Ulises Aranda Díaz Zorrilla y Gregorio Fernández-Lambert.	1339-1351
Variables de influencia a la producción de miel utilizando abejas <i>Apis mellifera</i> en la región de Misantla. Anselmi Yelí Méndez-Tamayo, Fabrick Guadalupe Lobo-Rovito, Magisterio Landá-Zúñiga, Giovanni Luna-Choncal, Luis Enrique García-Santamarta y Gregorio Fernández-Lambert.	1353-1365
Efecto de un sistema de riego sobre calidad y producción de frutos de chile 'Serano'. Rubén López-Salazar, Raúl Moctezuma Peña Ramos, Francisco Sánchez-Bernal, Carolina Javier Lozano Cantero, Adalberto Benavides Méndez y José Antonio González-Fuentes.	1367-1378
Rendimiento genómico del jomote suplementado con micronutrientes Fe, Cu y Zn. Martha Susana Sosa, Marcelino Calvera De la Fuente, Adalberto Benavides Méndez, Alberto Sandoval Rangel, Harneisa Orrego Castro-Armas y Roberto Olivares.	1379-1391
Araña roja en yuca: bioecología y eficacia biológica de acaricidas. Luis Martín Hernández Fuentes, Elysa Montalvo Cisalón, Yvandra Nohara González, Pontiro Gutiérrez Martínez, Héctor González Hernández y José Juan Méndez-Morales.	1401-1409
Modelización espacial de <i>Oligonychus perseae</i> (Tuttle, Baker y Abbatiello) mediante técnicas geoestadísticas. Ana Verónica Lora Díaz, José Francisco Ramírez Dávila, Martín Rubi Arriaga, Juan Campos Alarcón, Patricia Inés Maldonado Zúñiga y Roberto Rivera Martínez.	1405-1416
InfoStat, InfoGen y SAS para contrastes mutuamente ortogonales en experimentos en bloques completos al azar en parcelas subdivididas. Andrés González Herrera, Delfina de Jesús Pérez López, Martín Rubi Arriaga, Francisco Gutiérrez, Rodríguez J Ramón Pascual Franco Martínez y Araceli Patricia Lora.	1417-1431





Instituto Nacional de Investigaciones
Fitopatológicas, Agrícolas y Parasitarias





Rev. Mex. Cienc. Agríc., Vol. 10 Núm. 6 p. 1195 - 1462 14 de agosto - 27 de septiembre, 2019

Spatial modeling of *Oligonychus perseae* (Tuttle, Baker and Abbatiello) using geostatistical techniques

Ana Verónica Lara Díaz¹
José Francisco Ramírez Dávila^{1,6}
Martín Rubi Arriaga¹
Juan Campos Alanís²
Fatima Irais Maldonado Zamora¹
Roberto Rivera Martínez¹

¹Faculty of Agricultural Sciences-Autonomous University of the State of Mexico. Toluca, Mexico AP. 5020. (sakua-02@hotmail.com; irita-3@hotmail.com; rob-m@live.com.mx; mrubia@uaemex.mx). ²Faculty of Geography-Autonomous University of the State of Mexico. Toluca, Mexico AP 5020. (juan-campos70@hotmail.com).

⁶Corresponding author: jrfamirez@uaemex.mx

Abstract

Within the pests that affect the avocado crop we find *Oligonychus perseae* or better known as crystalline spider. This mite produces affectations in the epidermis of the leaves discoloring the injured areas, in severe attacks they cause defoliation and low production, all this as a result of the extraction of the cellular content of the tissues. In the State of Mexico, there are about 10 000 hectares planted with avocado, with an average production of 15.602 t ha⁻¹. The spatial distribution of *O. perseae* in four municipalities producing avocado var. Hass through the application of geostatistical analysis and ordinary kriging. The results show that the crystalline spider populations are presented in an aggregate way, adjusting mostly spherical models. The area infested with the mite exceeded 73% of the municipality in all samples and the maximum number of individuals found was 1 445 organisms per tree. The most affected municipalities were Coatepec Harinas and Donato Guerra.

Keywords: avocado, crystal spider, kriging.

Reception date: May 2019

Acceptance date: September 2019

Introduction

Oligonychus perseae or crystalline spider is a mite native to Mexico, discovered in 1975 and described in 1976 by Tuttle, and so far its presence has been reported in the United States of America, Costa Rica, Israel, Spain and Portugal (EPPO, 2003, 2006; Alcázar *et al.*, 2005; Ferreira *et al.*, 2006). The crystalline mite is found in avocado crops throughout the year and the susceptibility to infestation varies significantly according to the variety (Kerguelen and Hoddle, 2000). The mite, which can be found in avocado trees throughout the year, requires temperatures between 10 and 25 °C, with the season becoming dry when their populations increase (Gallegos, 1983).

Nymphs and adults generate damage from the sap suction that they perform on the underside of the leaflets, where they form silky nests in a circular fashion. The characteristic damages consist of brown to black spots on the underside of the leaves (Hoddle, 2000). Severe damage thresholds have been detected when there are around 100 mites per leaf, which causes defoliation and therefore, sunspot on the fruits (Kerguelen and Hoddle, 2000).

The most efficient chemical control method (95% reduction) consists of 80% sulfur applied by direct spraying on trees, but it affects the beneficial entomofauna present in the avocado tree. The biological control for this mite has been carried out with predators of the Phytoseiidae family (Maoz *et al.*, 2011).

Therefore, precision agriculture is emerging as a new control alternative, since the application aimed at specific areas can avoid effects on beneficial fauna and minimize contamination of production orchards; for this purpose, it was intended to model the spatial distribution of *Oligonychus perseae*, through the use of geostatistics to represent it through population density maps and illustrate its presence in the municipalities.

Materials and methods

The study was conducted in four municipalities of the State of Mexico (Coatepec Harinas, Temascaltepec, Donato Guerra and Tenancingo de Degollado) where avocado production stands out among other crops. The municipality of Coatepec Harinas is located at 18.936 latitude and -99.76866 longitude with a height between 1 600 and 3 900 meters above sea level. Donato Guerra is located at 19.3083 north latitude and -100.142 longitude with an average altitude of 2 200 meters above sea level.

Temascaltepec is located south of the State at an average height of 1 720 meters above sea level at 19.0444 north latitude and -100.045 west longitude while Tenancingo de Degollado has its location at 18.9667 north latitude and -99.6 longitude with an average altitude of 2020 meters above sea level. The study area consisted of two hundred trees distributed and marked throughout the municipalities evaluated using the quadrant method.

Sampled trees were selected in plantations 10 years old. Fortnightly counts of the mobile crystalline spider stadiums were made. 60 leaves of the low, middle and high stratum of the tree were selected taking as reference the cardinal points of the tree. Each tree was georeferenced with a Garmin eTrex

Vista HCx2007 navigator. This according to the essays made by Gonzalez (2012). To make the observations a magnifying glass of 20 x was used, the sampling was performed from January 3 to June 18, 2017.

Geostatistical analysis

The experimental semivariograms were estimated using the data collected, the semivariogram was calculated using the following formula: (Journel and Huijbregts, 1978; Isaaks and Srivastava, 1989). Where: $\gamma^*(h)$ is the experimental value of the semivariogram for the distance interval h ; $N(h)$ is the number of pairs of sample points separated by the distance interval h ; $z(x_i)$ is the value of the variable of interest at the sampling point x_i , and $z(x_i + h)$ is the value of the variable of interest at the sampling point $x_i + h$.

Any mathematical function can be used for a semivariogram model as long as it is positive and defined (Armstrong and Jabin, 1981). The Variowin 2.2 program (Software for the analysis of spatial data in 2D. Spring Verlag, New York; USA) was used to perform the experimental semivariogram corresponding to each sampling.

The theoretical models commonly used to adjust the experimental semivariograms are the spherical, the exponential, the Gaussian, the logarithmic, the pure nugget, the hole effect and the monomic according to Samper and Carrera (1996); Trematerra and Sciarretta (2004). The parameters of the model to be validated (C0, nugget effect, C, plateau and a, range or scope) are modified until obtaining adequate cross-validation statistics. The cross-validation values are:

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

Where: $z^*(x_i)$ is the estimated value of the variable of interest at point x_i ; $z(x_i)$ is the measured value of the variable of interest at point x_i , and n is the number of sample points used in interpolation. The MEE should not be significantly different from 0 (t test), in which case, it would indicate that the semivariogram model allows the calculation of unbiased estimators.

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

A semivariogram model is considered adequate if, as a practical rule, the value of the statistic is close to zero (Hevesi *et al.*, 1992).

$$\text{Mean dimensionless quadratic error: } ECMA = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{[z^*(x_i) - z(x_i)]}{\sigma_k}$$

Where: σ_k is the standard deviation of the expected error in the estimate with the kriging. The validity of the model is satisfied if ECMA is between the values $1 \pm 2(2/N) 0.5$.

Level of spatial dependence

It was calculated in order to determine the strength of the relationship between the sampling data. This value is obtained by dividing the effect of nugget between the lower edge, expressed as a percentage: less than 25% is considered high, between 26 and 75% moderate and greater than 76% is considered low (Cambardella *et al.*, 1994; López *et al.*, 2002).

Mapping

The maps were prepared by interpolation of values through ordinary kriging, this process allows the unbiased estimation of values associated to points that were not sampled all this based on what was established by Samper and Carrera (1996) through the use of the program Surfer 9 (Surface Mapping System, Golden Software Inc. 809, 14th Street. Golden, Colorado 80401-1866. USA). And finally, the infested area of the estimates that are represented in the form of maps for each municipality was established, with the use of the GIMP version 2.8 and IMAGE J program.

Results and discussion

During the structural analysis of the data, the variogram was the process that best characterized spatial continuity. The variograms were constructed to later adjust them to theoretical models. The results show that the majority of semivariograms were adjusted to spherical models in the four municipalities evaluated (Table 1). The semivariograms were subjected to the cross-validation process, their values reflect the appropriate ranges to continue the process. This procedure has been carried out in several studies to corroborate that the model to which the distribution of other pests was adjusted is suitable, an example of this is the work of Jiménez *et al.* (2013); Rivera *et al.* (2017); Acosta *et al.* (2017).

The value of the nugget effect in the 12 samples of the four municipalities had a value equal to zero, which implies that the sampling scale applied for the mite was correct and that there is a minimum sampling error in the observations made for the 48 samples. This means that 100% of the variation of the *O. perseae* distribution is explained by the spatial structure established in the semivariograms corresponding to each sampling, a situation that is consistent with that reported by Rossi *et al.* (1992). The spatial dependence was determined high for all cases (Table 1).

Table 1. Parameters of the theoretical models adjusted to the semivariograms of *Oligonychus perseae* (Tuttle, Baker and Abbatiello) by sampling date in four municipalities of the State of Mexico.

Date	Model				Range (m)				Spatial dependence
	Coatepec Harinas	Donato Guerra	Temascaltepec	Tenancingo	Coatepec Harinas	Donato Guerra	Temascaltepec	Tenancingo	
3 Jan	Spherical	Spherical	Spherical	Spherical	18	13	14	19	High
18 Jan	Spherical	Spherical	Spherical	Spherical	16.5	19.5	20.5	21.5	High
3 Feb	Gaussian	Spherical	Spherical	Gaussian	19	16	15	14	High
18 Feb	Spherical	Spherical	Spherical	Spherical	21	18	17	17	High

Date	Model		Rank (m)						Spatial dependence
	Coatepec Harinas	Donato Guerra	Temascaltepec	Tenancingo	Coatepec Harinas	Donato Guerra	Temascaltepec	Tenancingo	
3 Mar	Spherical	Spherical	Gaussian	Spherical	11	17	14	14	High
18 Mar	Spherical	Gaussian	Spherical	Spherical	17.1	14.1	13.1	16.1	High
3 Apr	Spherical	Spherical	Spherical	Spherical	18.2	16.2	22.2	13.2	High
18 Apr	Spherical	Spherical	Spherical	Spherical	16.5	20.5	12.5	12.5	High
3 May	Gaussian	Spherical	Spherical	Gaussian	19.2	16.2	23.2	19.2	High
18 May	Spherical	Spherical	Spherical	Spherical	16.4	13.4	20.4	12.4	High
3 Jun	Spherical	Spherical	Spherical	Spherical	17.9	14.9	13.9	11.9	High
18 Jun	Spherical	Spherical	Gaussian	Gaussian	21	18	17	9.8	High

The range value is indicative of the maximum distance to which there is a relationship between the data and can be corroborated in the distribution maps. The values of the range for semivariograms of the municipality of Coatepec Harinas ranged from 11 to 21 m, while those corresponding to Temascaltepec showed ranges between 12.5 to 23.2 m, for Tenancingo, the value of the range showed a variation between 9.8 and 21.5 m differentiating Donato Guerra presented values ranging from 13 to 20.5 m (Table 1).

The maximum number of mites found in Coatepec Flours was 1 250 mites per tree during sampling in May, while for Temascaltepec it was 1 257 spiders per tree. For the municipalities of Tenancingo and Donato Guerra, 1 445 and 1 244 spiders per tree were found. The lowest incidence occurred in June, due to the presence of constant and abundant rains in the four production areas, while the decrease in temperature had interference in the months of January and February, beginning a rebound in March with more than 350 mites per tree.

As for the plateau, the values varied in the four study municipalities, Coatepec Harinas from 12.5 to 609.7, Donato Guerra ranged from 27.9 to 401, Temascaltepec showed values from 21.17 to 609.78 and Tenancingo de Degollado from 28.4 to 637; the above explains the types of aggregation present in the four municipalities. The incidence of the pest was managed by means of distribution maps, which will allow its graphic visualization and the spatial location of the aggregation centers.

In the distribution maps the red color is indicative of the largest number of individuals of *O. perseae* while the white color reflects the absence of mites. This technique has been used in other pests as thrips in the avocado crop in the State of Michoacán (Solares *et al.*, 2012), thrips in the gladiolus crop in the State of Mexico (Quiñonez *et al.*, 2015), Esquivel and Jasso (2014) with his study on the spatial distribution of soldierworms in the State of Mexico, Ramírez and Porcayo (2008) with the distribution of nymphs of *Jacobiasca hybica* in vineyards of Andalusia, Spain, among others.

In the different maps we can observe that the populations of *O. perseas* are presented in an aggregate way within the municipalities evaluated, this situation was also observed in the avocado leaves, since in the same nest we could find eggs, nymphs and adults, which corroborates the aggregation of crystal spider populations. These same results were observed by Silva *et al.* (2016) in the study of the population of *Vatiga* spp., which reports that this pest is presented in aggregate form in cassava cultivation. Maldonado *et al.* (2017) reports that avocado thrips populations in the State of Mexico are also presented in aggregate form within the commercial orchards evaluated during 2015.

As can be seen in Figure 1, in samples 1, 4, 7, 9, 10, 11 and 12 the location of the pest was found in the northern part of the municipality, while in samples 2, 3 and 6 the distribution was found in the center of the municipalities while sampling 5 showed the greatest number of mites in the east of the municipality and sampling 8 showed more mites in the Southeast of the municipality.

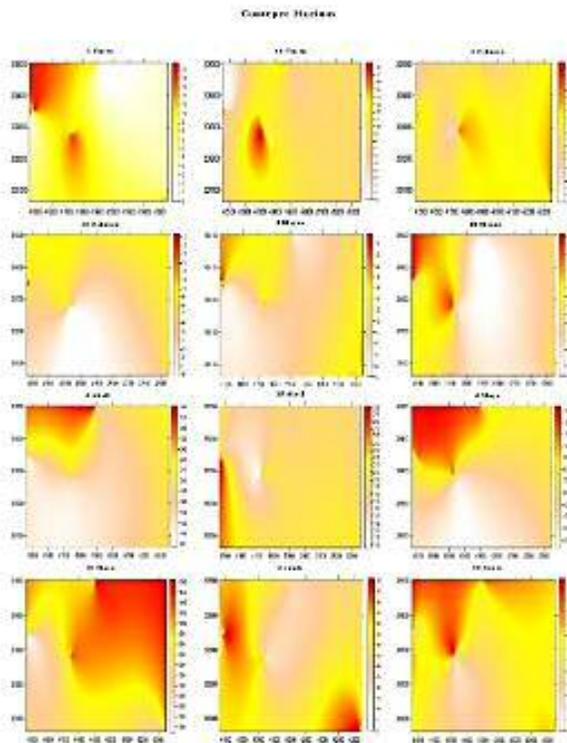


Figure 1. Density maps of the populations of *Oligonychus perseas* (Tuttle, Baker and Abbatiello) obtained in the sampling in the municipality of Coatepec Harinas, Mexico, semester 2017-A.

In Donato Guerra, the samples showed widespread infestation in the majority of the samples, with only samples 1, 8, 10 and 12 being the ones with the highest infestation towards the limits of the municipality (Figure 2).

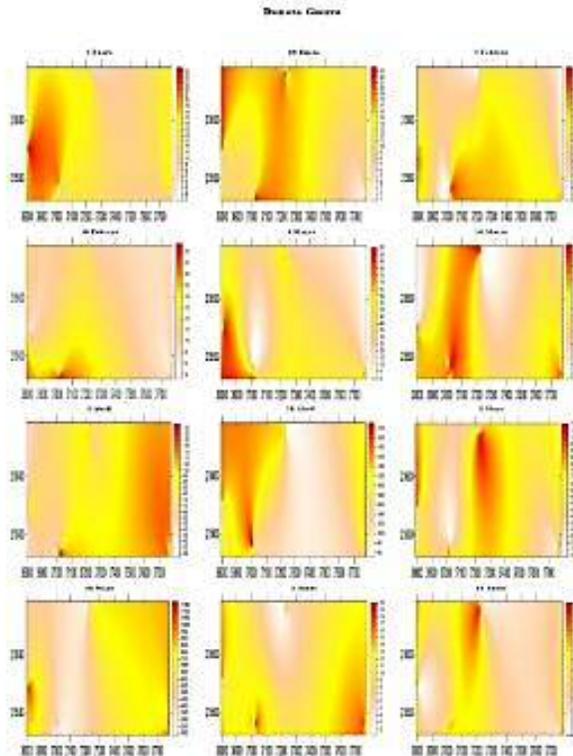


Figure 2. Density maps of the populations of *Oligonychus perseae* (Tuttle, Baker and Abbatiello) obtained in the sampling in the municipality of Donato Guerra, Mexico semester, 2017-A.

In the municipality of Temacaltepec (Figure 3), the plague showed a preference for the southern part of the municipality in samples 1, 3, 4, 6, 8, 10, 11, 12, while in the rest of the samples it was oriented more towards the Northeast (2, 5, 7), in sampling 9 we find a generalized infestation in the municipality.

The presence of spherical models in most semivariograms reflects that within the municipalities there are areas where there is a higher incidence of *O. perseae* allowing to locate the aggregation centers with more individuals in specific places as shown by the figures corresponding to the sampling of each municipality, which indicates that the distribution of this mite starts from a main focus and expands to the periphery, this behavior shows a similarity with the spatial distribution of *Brevipalpus phoenicis* in Valencia orange plantations in Colombia by Solano *et al.* (2008).

According to Isaaks and Srivastava (1989) cited by Moral (2004), a variable such as the density of insects on a plot is likely to be distributed very erratically over short distances, so that the most appropriate theoretical models for variograms should be spherical or exponential.

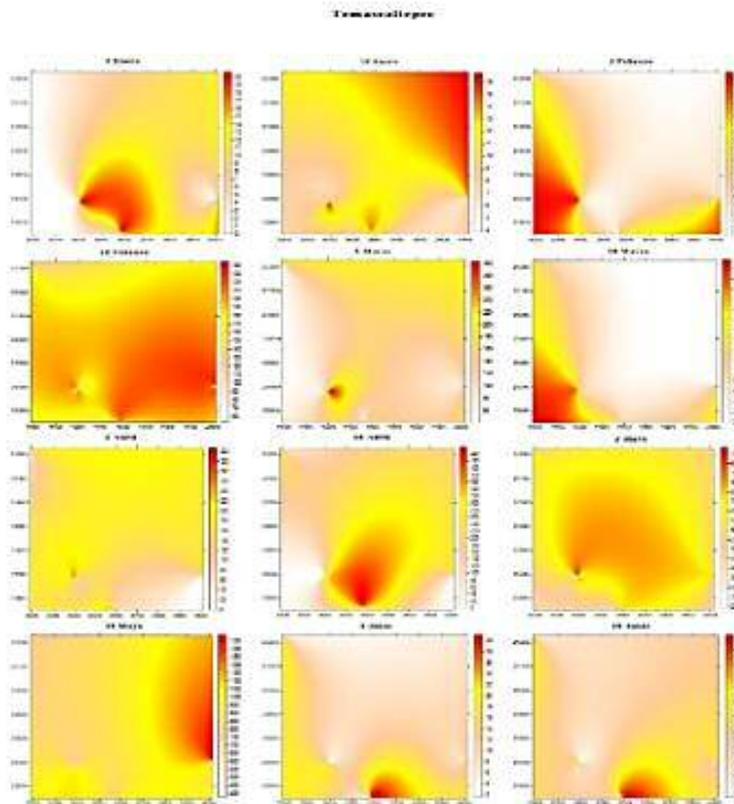


Figure 3. Density maps of the populations of *Oligonychus perseae* (Tuttle, Baker and Abbatiello) obtained in the sampling in the municipality of Temascaltepec, Mexico, semester 2017-A.

Regarding Tenancingo de Degollado, we could find a widespread infestation in samples 4, 6, 7 and 11 while in samples 1, 5 and 10 the plague was found west of the municipality. Samples 2, 8, 12 showed a presence of the plague towards the south and in the remaining samplings the plague appeared in the east of the municipality (Figure 4).

Thanks to the graphic representation of the presence of crystalline spider in avocado, it was possible to calculate the area infested by this mite in the four municipalities studied. For Coatepec Harinas the minimum infestation percentage was found in sampling 5; 91% of the infested area while most of the samples had 100% infestation. In Temascaltepec, the minimum infestation was observed in sampling 6; 73% followed by sampling 1, 7, 8 with more than 80% and the remaining samples with an infestation of 100%.

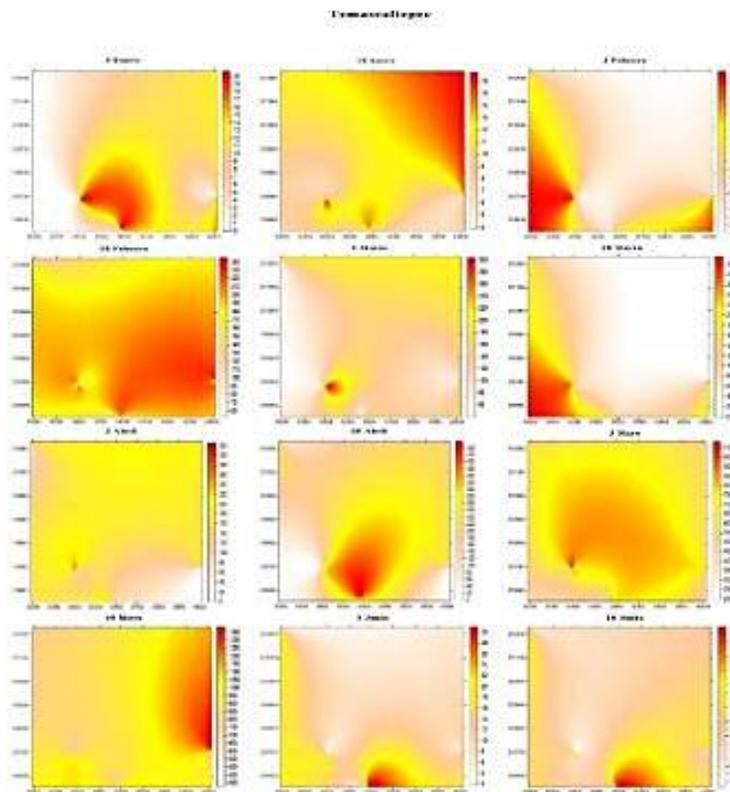


Figure 4. Density maps of populations of *Oligonychus perseae* (Tuttle, Baker and Abbatiello) obtained in the sampling in the municipality of Tenancingo de Degollado, Mexico, semester 2017-A.

Tenancingo de Degollado had the lowest infestation in sampling 12 with 78% of the area of the infested municipality followed by sampling 9, 7, 1, and 11 with up to 96% infested, all other samples had a 100% infestation. Donato Guerra presented the smallest infested area in sampling 6; 93% and 100% in the other samples except for sample 12 (Table 2). These incidents are mainly due to environmental conditions as reported by Salinas and Resendiz (1995) who conclude that the optimum relative humidity for the life cycle of *Oligonychus perseae* is 60% at a temperature of 25 °C for a biological cycle of between 24 days for males and 31 days for females.

As for the effects on foliage, it was observed that they do not generate significant damage despite the number of mites per tree found in the middle and low strata since they seek to migrate to the highest stratum of the tree in order to look for conditions for their survival, this behavior is explained since the lower part of the tree keeps more humidity, while the upper part of the tree presents a greater aeration, and therefore increases the temperatures therefore a lower relative humidity. Although it has been shown that high levels of infestation can reduce photosynthesis by more than 50%, its effect on performance has not yet been demonstrated (Maoz *et al.*, 2011) or observed during work development.

Table 2. Infested area of *Oligonychus perseae* (Tuttle, Baker and Abbatiello), by sampling date in four municipalities of the State of Mexico, semester 2017-A.

Num. sampling	(% Infested surface			
	Coatepec Harinas	Donato Guerra	Temascaltepec	Tenancingo de Degollado
1	100	100	80	99
2	100	100	100	100
3	100	100	100	100
4	100	100	100	100
5	91	95	100	100
6	92	93	73	100
7	100	100	94	98
8	100	100	90	100
9	100	100	100	87
10	100	100	100	100
11	100	100	100	96
12	97	96	100	78

Conclusions

The aggregate spatial distribution of *O. perseae* in the avocado crop was corroborated with the maps made with the kriged. The development of crystalline spider incidence and distribution maps facilitates the detection of areas with a high level of infestation in avocado producing municipalities in the State of Mexico, to apply timely and effective management. The use of geostatistical techniques makes it possible to strengthen phytosanitary management programs within economically important crops such as avocado.

The application of biological control is recommended with the release of phytoseids and entomopathogenic fungi, as is done in countries such as Spain, where the crystalline spider is a serious problem that affects the avocado. During this work, training was carried out for cooperating producers to show the usefulness of the application of geostatistical techniques in the detection and monitoring of pests that affect crops. It is recommended to continue the study to thoroughly analyze the behavior of the mite in the municipalities evaluated for a further time to be able to make an appropriate management plan for each population and thus issue the pertinent recommendations for this pest.

Cited literature

Acosta, A. D.; Ramirez, J. F.; Rivera, R.; Figueroa, K.; Lara, A. V.; Maldonado, F. I. and Tapia, A. 2017. Distribución espacial de trips spp. (Thysanoptera) y evaluación de su control mediante el depredador *Amblyseius Swirskii* en el cultivo de aguacate en México. *Southwestern Entomol.* 42(2):435-444.

- Armstrong, M. and Jabin, R. 1981. Variogram models must be positive-definite. *Mathematical Geology*. 13(5):455-459.
- Cambardella, C.; Moorman, T.; Novak, J.; Parkin, T.; Karlen, D.; Turco, R. and Konopka, A. 1994. Field scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58(5):1501-1511.
- EPPO. 2003. *Oligonychus perseae* (Acari: Tetranychidae-Persea mite). www.eppo.org/quarantine/alert.list/deleted%20files/insects/oligonychus.perseae.doc.
- EPPO. 2006. *Oligonychus perseae*. European and Mediterranean plant protection organization. www.eppo.org/Quarantine/alert.list/insects/oliGpa.htm.
- Esquivel, V. y Jasso, Y. 2014. Distribución espacial y mapeo de gusano soldado en seis localidades del Estado de México, en el año 2011. *Rev. Mex. Cienc. Agric.* 5(6):923-935.
- Ferreira, M. A.; Brazao, C. I. e Franquinho, A. M. 2006. Ocorrência de *oligonychus perseae* tuttle, Baker & Abbatiello (Acari: Tetranychidae) na ilha da madeira. *Agron. Lusitana*. 51(3):219-222.
- Gallegos, E. R. 1983. Algunos aspectos del aguacate y su producción en Michoacán. Universidad Autónoma de Chapingo (UACH). Texcoco, Estado de México. 317 pp.
- González, O. E. 2012. Estudio Geoestadístico de la distribución espacial de adultos de araña roja (*Oligonychus punicae* Hirts.) 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 p.
- Hevesi, J.; Istok, J. and Flint, A. 1992. Precipitation estimation in mountainous terrain using multivariate geostatistics. Part I. Structural analysis. *J. Appl. Meteorol.* 31(7):661-676.
- Hodde, M. S.; Robinson, L. and Virzi, J. 2000. Biological control of *Oligonychus perseae* on avocado: III. Evaluating the efficacy of varying release rates and release frequency of *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae). *Inter. J. Acarol.* 26(3):203-214.
- Isaaks, E. H. and Srivastava, R. M. 1989. An introduction to applied geostatistics. Oxford Univ. Press, 1ª (Ed.). New York, United States of America. 35-38 pp.
- Jiménez, R. D. L. A.; Ramírez, D. J. F.; Sánchez, P. J. R.; Salgado, S. M. L. y Laguna, C. A. 2013. Modelización espacial de *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) en tomate de cáscara por medio de técnicas geoestadísticas. *Rev. Colomb. Entomol.* 39(2):183-192.
- Journel, A. G. and Huijbregts, Ch. J. 1978. Mining geostatistics. Academic Press, Londres, Reino Unido 2ª (Ed.). 600 p.
- Kerguelen, V. and Hodde, M. S. 2000. Comparison of the susceptibility of several cultivars of avocado to the perseae mite, *Oligonychus perseae* (Acari: Tetranychidae). *Sci. Hortic.* 84(1-2):101-114.
- López, G. F.; Jurado, E. M.; Atenciano, S.; García, F. A.; Sánchez, M. and García, T. L. 2002. Spatial variability of agricultural soil parameters in southern Spain. *Plant Soil*. 246(1):97-105.
- Maldonado, F. I.; Lara, A.V.; Ramírez, J. F.; Acosta, A. D.; Rivera, R. y Tapia, A. 2017. Mapeo de la distribución espacial de trips (Insecta: Thysanoptera) en parcelas comerciales de aguacate Var. Hass en Coatepec Harinas, Estado de México. *Rev. Ecosist.* 26(2):52-60.
- Maoz, Y.; Gal, S.; Zilberstein, M.; Izhar, Y.; Alchnatis, V.; Coll, M. and Palevsky, E. 2011. Determining an economic injury level for perseae mite *Oligonychus perseae*, a new pest of avocado in Israel. *Entomol. Exp. et Applicata*. 138(2):110-116.
- Moral, G. 2004. Aplicación de la geoestadística en las ciencias ambientales. *Ecosistemas*. 13(1):78-86.

- Quiñones, R.; Sánchez, J.; Pedraza, A.; Castañeda, A.; Gutiérrez, A. y Ramírez, J. F. 2015. Análisis espacial de *Thrips* spp. (Thysanoptera) en el cultivo de gladiolo en la región sureste del Estado de México, México. *Southwest Entomol.* 40(2):397-408.
- Ramírez, J. F. y Porcayo, E. 2008. Distribución espacial de las ninfas de *Jacobiasca lybica* (Hemiptera: Cicadellidae) en un viñedo de Andalucía, España. *Rev. Colomb. Entomol.* 34(2):169-175.
- Rivera, R.; Acosta, A. D.; Ramírez, J. F.; Figueroa, D. K.; Maldonado, F. I. y Lara, A. V. 2017. Distribución espacial de las poblaciones de adultos de *Bactericera cockerelli* Sulc. en el cultivo de tomate de cascara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Southwestern Entomol.* 42(4):1057-1068.
- Rossi, R.; Mulla, J.; Journel, G. and Franz, H. 1992. Geostatistical tools for modeling and interpreting ecological spatial dependence. *Ecol. Monographs.* 62(2):277-314.
- Salinas, P. y Reséndiz, B. 1995. Control biológico de la araña cristalina del aguacatero *Oligonychus Perseae* (Tuttle, Baker y Abbatiello) (Prostigmata: Tetranychidae). *Rev. Chapingo Ser. Protección Vegetal.* 2(1):53-56.
- Samper, F. J. y Carrera, J. 1996. *Geoestadística: aplicaciones a la hidrología subterránea.* 2ª (Ed.). Centro Internacional de Métodos en Ingeniería. Barcelona. 484 p.
- Silva, A. S.; Mota, T. A.; Piñeyro, N. Y.; Fernandes, M. G. y Pereira, F. F. 2016. Distribución espacial de *Vatiga* spp. (Hemiptera: Tingidae) en el cultivo de yuca. *Acta Biol. Colomb.* 21(1):195-200.
- Solano, D.; Álvarez H. y Rodríguez, J. 2008. Distribución espacial de *Brevipalpus phoenicis*, vector de la leprosis de los cítricos en el cultivo de naranja Valencia (*Citrus sinensis*) en Yapal, Casanare (Colombia). *Agron. Colomb.* 26(3):399-410.
- Solares, V. M.; Ramírez, J. F. y Sánchez, J. R. 2012. Distribución espacial de trips (Insecta: Thysanoptera) en el cultivo de aguacate (*Persea americana* Mill.). *Bol. Mus. Entomol. Univ. Valle.* 12(2):1-12.
- Trematerra, P. and Sciarretta, A. 2004. Spatial distribution of some beetles infesting a feed mill with spatio-temporal dynamics of *Oryzaephilus surinamensis*, *Tribolium castaneum* and *Tribolium confusum*. *J. Stored Products Res.* 40(4):363-377.

7.2 Revista Fitotecnia Mexicana: Modelización espacial de las poblaciones de *Oligonychus perseae* (Tuttle, Baker y Abbatiello) en el Estado de México.



Revista Fitotecnia Mexicana

PUBLICADA POR LA SOCIEDAD MEXICANA DE FITOGENÉTICA, A.C.



CARTA DE RECEPCIÓN

Chapingo, Estado de México, 09 de mayo de 2019

JOSÉ FRANCISCO RAMÍREZ DÁVILA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

Con la presente se hace constar que se ha recibido el manuscrito propuesto para su publicación en la **REVISTA FITOTECNIA MEXICANA** titulado:

MODELIZACIÓN ESPACIAL DE LAS POBLACIONES DE *Oligonychus perseae* (Tuttle, Baker Y Abatiello) EN EL ESTADO DE MÉXICO

Autores: ANA VERÓNICA LARA DIAZ JOSÉ FRANCISCO RAMÍREZ DÁVILA*, FATIMA IRAIS MALDONADO ZAMORA, ROBERTO RIVERA MARTÍNEZ, AGUSTÍN DAVID ACOSTA GUADARRAMA, FIDEL LARA VÁZQUEZ.

Para su evaluación, el manuscrito con clave: **R2019050** será enviado a dos revisores técnicos y a un editor, cuyo dictamen se hará de su conocimiento tan pronto esté disponible.

Para facilitar la comunicación del caso, le agradeceré que en toda correspondencia relacionada con este manuscrito anote la clave asignada. En adición, es necesario que oportunamente nos avise de cualquier cambio de domicilio y que nos proporcione su número telefónico, y correo electrónico.

Sin otro particular por el momento, me es grato enviarle un cordial saludo.

Atentamente

Dr. Amalio Santacruz Varela
Director

ASV*gd

MODELIZACIÓN ESPACIAL DE *Oligonychus perseae*

MODELIZACIÓN ESPACIAL DE LAS POBLACIONES DE *Oligonychus perseae* (Tuttle, Baker Y Abatiello) EN EL ESTADO DE MÉXICO

SPATIAL MODELING OF THE POPULATIONS OF *Oligonychus perseae* (Tuttle, Baker AND Abatiello) IN THE STATE OF MEXICO

Ana Veronica Lara-Díaz¹ José Francisco Ramírez-Dávila^{1*}, Fatima Irais Maldonado-Zamora¹, Roberto Rivera-Martínez¹, Agustín David Acosta-Guadarrama¹, Fidel Lara-Vázquez¹

(1) Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, México. Apartado postal 5020.

*Autor para correspondencia (jframirezd@uaemex.mx)

RESUMEN

Oligonychus perseae es un ácaro que afecta al cultivo de aguacate prácticamente a nivel mundial. En países como Estados Unidos y España se reporta como la principal plaga que afecta el follaje del aguacatero. Los daños incluyen afectación de los tejidos celulares de las hojas debido a la alimentación de ácaro, defoliación y hasta daños por mancha de sol debido a la baja cantidad de foliolos en el árbol, el umbral económico de esta plaga se reporta entre 100 y 500 ácaros por hoja. La finalidad del presente trabajo fue modelizar el comportamiento de las poblaciones de araña cristalina en cuatro municipios productores de aguacate en el Estado de México, México. Los resultados muestran que el municipio más afectado por esta plaga fue Donato Guerra, donde encontramos hasta 83 arañas por hoja en el mes de septiembre. Las poblaciones de araña cristalina se distribuyen de manera agregada en los municipios muestreados apegándose a modelos esféricos y gaussianos principalmente. Todos los muestreos se validaron adecuadamente mediante validación cruzada. La distribución de las poblaciones se ilustró mediante mapas de densidad que muestran la ubicación precisa de los centros de agregación en los municipios muestreados. Con base en los mapas se calculó la superficie infestada, superando el 57 % de la superficie de los municipios evaluados.

Palabras clave: México, modelización espacial, *Olygonichus perseae*.

SUMMARY

Oligonychus perseae is a mite that affects avocado cultivation practically worldwide. In countries like the United States and Spain it is reported as the main pest that affects the foliage of

the avocado tree. The damages include affectation of the cellular tissues of the leaves due to mite feeding, defoliation and even damage by sun spot due to the low amount of leaflets in the tree. The economic threshold of this pest is reported between 100 and 500 mites per leaf. The purpose of this work was to model the behavior of crystalline spider populations in four avocado producing municipalities in the State of Mexico, Mexico. The results show that the municipality most affected by this plague was Donato Guerra, where we found up to 83 spiders per leaf in the month of September. The crystalline spider populations are distributed in an aggregate manner in the sampled municipalities, mainly adhering to spherical and Gaussian models. All the samples were validated properly by cross-validation. The distribution of the populations was illustrated by density maps that show the precise location of the aggregation centers in the sampled municipalities. Based on the maps, the infested area was calculated, which exceeded 57% of the area of the municipalities evaluated.

Keywords: Mexico, spatial modeling, *Oligonychus perseae*.

INTRODUCCIÓN

Oligonychus perseae es un ácaro ampliamente distribuido a nivel mundial y en México ha sido reportado en Michoacán, Morelos, Chiapas, Puebla y Tamaulipas (Tuttle et al. 1976). Actualmente su distribución se ha ampliado conforme las zonas aguacateras incrementan. Según Aponte y McMurtry (1997) este ácaro se alimenta del follaje provocando manchas color rojizo en las hojas debido a la inserción de los estiletes en los tejidos de la planta y en ataques muy severos provoca defoliación (Ochoa et al, 1994). Según reportes de Teliz y Mora (2007) y Alcázar et al (2005), el daño que origina el ataque de ácaros en aguacate puede reducir hasta en un 30% la actividad fotosintética de las hojas. Hoddle en Rippa (2008) reportan que la susceptibilidad de los cultivares es variable, siendo el cultivar Fuerte el menos susceptible al ataque del ácaro seguido de Lamb Hass, Reed, Esther, Pinkerton, Gwen y Hass, siendo este el más susceptible presentando poco más del 38% de la superficie de la hoja con daños por la presencia de araña cristalina.

Hasta el momento se han realizado diversos trabajos para controlar esta plaga, ejemplo de ello, el trabajo realizado por Bouriga et al (2016) en Zirimicuaro y Ziracuaretico, Michoacán, mediante la aplicación de insecticida orgánico acompañado de un adherente ovicida. Otro ejemplo es el trabajo realizado por Salvador et al (2016) con control biológico, en su trabajo reportan como principal depredador natural de ácaros en el cultivo de aguacate a *Euseius hibisci*. Este ácaro pertenece a la familia Phytoseiidae y está ampliamente distribuido mientras que Flores et al (2011) señalan que gracias a la capacidad depredadora de *E. hibisci*, puede reducir las poblaciones de *O. perseae* a niveles que no representen importancia. El control de los ácaros en el aguacate se realiza en mayor medida mediante control químico con la aplicación de abemectina, azufre mojable, azadiractin y jabón potásico en sus diferentes presentaciones comerciales, todo lo anterior con las implicaciones ecológicas que genera en la entomofauna benéfica.

Por ello, la determinación de los posibles patrones de distribución a los que se ajusta una población de insectos en un cultivo dado, ayuda a conocer sus hábitos de vida, su tendencia a agruparse en las diferentes etapas de su desarrollo y las preferencias con respecto a su hábitat (Southwood, 1995; Manoiloff et al., 1982). Una alternativa para describir los patrones de

distribución espacial es el uso de la Geoestadística, que emplea información acerca del valor que toma la variable y además de la ubicación espacial de los puntos de muestreo a fin de resumir la correlación entre puntos.

Dado lo anterior y ante los costos ecológicos que genera la aplicación de agroquímicos y otros compuestos usados en la agronomía, surge como una alternativa la aplicación de la geoestadística en la agricultura para minimizar el impacto que genera la producción de alimentos reduciendo la cantidad de insumos aplicados, ya que esta técnica favorece la aplicación dirigida a lugares donde se encuentran poblaciones en altas densidades dejando libres las zonas donde las poblaciones son mínimas o nulas.

El estudio tuvo por objeto modelizar el comportamiento de *Oligonychus perseae* mediante la aplicación de técnicas geoestadísticas e ilustrar su distribución en cuatro municipios productores de aguacate en el Estado de México, México mediante mapas obtenidos por medio del krigado ordinario.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en cuatro municipios del Estado de México (Coatepec Harinas, Temascaltepec, Donato Guerra y Tenancingo de Degollado) donde la importancia en la producción de aguacate es destacada. **Coatepec Harinas se encuentra entre los paralelos 18° 48' y 19° 05 de latitud norte, los meridianos 99° 43' y 99° 54' con una altitud entre 1600 y 3900 msnm. Donato Guerra se ubica en las coordenadas 19° 24' 07'' latitud norte 100° 19' 13'' longitud oeste a una altitud media de 2200 msnm. Temascaltepec se ubica al sur del Estado a una altitud media de 1720 msnm localizada en las coordenadas 19°02' 36'' latitud norte y 100°02'36'' latitud oeste, mientras que Tenancingo de Degollado tiene su ubicación entre 19° 59'00'' latitud norte y 99° 10' 00'' con una altitud media de 2020 msnm.**

El área de estudio consistió en doscientos árboles distribuidos y marcados a lo largo y ancho de los municipios evaluados usando el método de cuadrantes. Los árboles muestreados se seleccionaron en plantaciones de 10 años de edad. Se efectuaron conteos quincenales de los estadios móviles de *O. perseae*. Se seleccionaron 60 hojas del estrato bajo, medio y alto del árbol tomando de referencia los puntos cardinales del árbol. Cada árbol fue georreferenciado con un navegador GARMIN modelo eTrex Vista HCx2007. Esto de acuerdo con los ensayos hechos por González en 2012. Para las observaciones se usó una lupa de aumento de 20X, los muestreos se realizaron a partir del 1 de julio al 22 de diciembre de 2017.

Una vez obtenidos los datos en campo, se realizó la estimación de los semivariogramas experimentales con los datos recopilados, el semivariograma se calculó mediante fórmula propuesta por (Journel y Huijbregts, 1978; Isaak y Srivastava, 1989). Cualquier función matemática se puede utilizar para un modelo de semivariograma siempre que sea positiva y definida (Armstrong y Jabin 1981). Para el semivariograma experimental correspondiente a cada muestreo se empleó el programa Variowin 2.2 (Software para el análisis de datos espaciales en 2D. Primavera Verlag, New York; EE. UU).

Los modelos teóricos comúnmente usados para ajustar los semivariogramas experimentales son: esférico, exponencial, gaussiano, logarítmico, efecto pepita puro, efecto agujero y el monómico según Samper y Carrera (1996), Trematerra y Sciarretta (2002). Los parámetros del modelo a validar (C0, efecto pepita, C, meseta y a, rango o alcance) se van modificando hasta la obtención de estadísticos de validación cruzada adecuados los cuales son:

- a) Media de los errores de estimación (MEE)
- b) Error cuadrático medio (ECM) (Hevesi *et al.*, 1992).
- c) Error cuadrático medio adimensional (ECMA)

Se calculó el nivel de dependencia espacial con el fin de determinar la fortaleza de la relación entre los datos del muestreo. Este valor se obtiene al dividir el efecto de pepita entre el borde inferior, expresado en porcentaje: menos 25% se considera alto, entre 26 y 75% moderado y superior al 76% se considera bajo (Cambardella, *et al.*, 1994; López, *et al.*, 2002).

Se elaboraron los mapas mediante la interpolación de valores a través del kriging ordinario que permite la estimación no sesgada de valores asociados a puntos que no fueron muestreados todo esto con base a 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 municipio, mediante el uso del programa Surfer 10 (Surface Mapping System, Golden Software Inc. 809, 14th Street. Golden, Colorado 80401-1866. USA, 2011).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fue posible generar la modelización espacial de las poblaciones de *O. perseae* con la aplicación de métodos geoestadísticos, y determinar el patrón de la distribución del ácaro en los cuatro municipios muestreados. La distribución espacial de araña cristalina se presentó en agregados dentro de los municipios evaluados. Mediante el uso de estas técnicas, también fue posible determinar la dependencia espacial que existe entre los agregados encontrados en los huertos de producción, esto debido a la concentración de ácaros por hoja encontrados en cada muestreo.

En los muestreos realizados se observó que el mayor número de individuos por árbol se encontró durante los meses de octubre y noviembre, existiendo una disminución en este último debido a una reducción en las temperaturas, lo que limita su reproducción, situación que coincide con lo reportado por Darrouy (2000) quien menciona que el clima es un factor determinante en la abundancia de estos organismos debido a que la temperatura limita la actividad diaria y la tasa de reproducción de los ácaros; ya que en los meses de mayor precipitación ocurre una disminución abrupta de las poblaciones de ácaros tetránquidos considerando a la lluvia como un factor supresor de las poblaciones de ácaros.

El comportamiento de araña cristalina en aguacate se apegó principalmente a modelos esféricos en el municipio de Donato Guerra (Cuadro 2), Temascaltepec (Cuadro 3) y Tenancingo de Degollado (Cuadro 4), mientras que para Coatepec Harinas (Cuadro 1) se obtuvo un modelo gaussiano. Estos modelos explican ampliamente la disposición espacial de las plagas al mostrar que

las poblaciones se presentan en centros de agregación dentro de las parcelas y en el caso del modelo esférico muestra una disposición espacial aleatoria de los centros de agregación de la plaga, mientras que el modelo gaussiano implica una distribución continua dentro de las áreas de muestreo. Ambos modelos han explicado correctamente el comportamiento de otras plagas, ejemplo de ello es el trabajo realizado por Jiménez *et al.* (2013) donde el modelo gaussiano es el que mejor explica la distribución espacial de huevos de trips en el cultivo de tomate de cáscara, mientras que en el estudio sobre la distribución espacial de *Helicoverpa armígera* en tomate, los modelos que mejor explican la distribución de la plaga son el esférico y exponencial (Moral *et al.* 2004) debido a que las plagas se distribuyen muy erráticamente dentro de distancias muy cortas dentro de pequeñas parcelas de cultivo (Isaaks y Srivastava, 1989), pero dada la naturaleza del presente estudio, las distancias entre los puntos de muestreo y la poca movilidad de *O. perseae*, tanto el modelo esférico como el gaussiano explican adecuadamente el comportamiento de los ácaros.

El valor del efecto pepita fue cero para todos los muestreos realizados en los cuatro municipios, señalando que el 100% de la variación de la distribución de *O. perseae*, se explica por la estructura espacial establecida en los semivariogramas respectivos (Cuadro 1, 2, 3, 4), lo cual indica un reducido error de muestreo, este valor muestra una relevancia importante debido al comportamiento errático de las plagas dentro de las parcelas, ya que este valor tiene influencia en el proceso posterior a la estimación (Moral *et al.* 2004) para este trabajo, el valor del efecto pepita indica que la distancia entre los puntos muestrales fue adecuada, ya que a medida que alejamos los puntos de captura será más notable el efecto pepita. Los valores dentro del rango apropiado de los estadísticos de la validación cruzada permiten validar los modelos ajustados para cada muestreo (Cuadro 1, 2, 3, 4).

Cuadro 1. Parámetros de los modelos teóricos ajustados de los semivariogramas de *Oligonychus perseae* en aguacate en Coatepec Harinas, Estado de México.

Municipio	Modelo	Pepita	Rango	Meseta	Pepita /Meseta	Dependencia espacial	Superficie infestada
Coatepec Harinas	Esférico	0	15.23	61.2	0	Alta	100
	Exponencial	0	23.26	65.99	0	Alta	100
	Exponencial	0	18.7	26.51	0	Alta	100
	Exponencial	0	24.77	49.10	0	Alta	100
	Gaussiano	0	14.3	74.99	0	Alta	99

Gaussiano	0	14.63	54.94	0	Alta	100
Gaussiano	0	17.6	49.45	0	Alta	100
Esférico	0	12.1	28.05	0	Alta	99
Gaussiano	0	19.03	20.68	0	Alta	97
Gaussiano	0	16.5	11.25	0	Alta	99
Esférico	0	12.1	8.40	0	Alta	100
Esférico	0	18.13	1.96	0	Alta	100

Los valores del rango pertenecientes al municipio de Coatepec Harinas oscilaron (Cuadro 1), entre 12.1 y 23.26 m, para el municipio de Donato Guerra (Cuadro 2) este dato arrojo valores entre 11.50 y 21.49m, Temascaltepec obtuvo valores entre 11.0 y 21.49m (Cuadro 3) y en el caso de Tenancingo (Cuadro 4) la variación fue de entre 10.40 y 16.83m. Este dato es importante debido a que refleja la distancia máxima hasta la que existe dependencia espacial entre los datos obtenidos durante los muestreos. Este mismo análisis ha sido realizado por Ramírez *et al.* (2011) para determinar la distancia entre la que existe dependencia espacial para *Bactericera cockerelli* en el cultivo de papa.

Cuadro 2. Parámetros de los modelos teóricos ajustados de los semivariogramas de *Oligonychus perseae* en aguacate en Donato Guerra, Estado de México.

Municipio	Modelo	Pepita	Rango	Meseta	Pepita /Meseta	Dependencia espacial	Superficie infestada
Donato Guerra	Esférico	0	13.2	39.25	0	Alta	100
	Gaussiano	0	11.50	13.85	0	Alta	85
	Esférico	0	16.5	68.04	0	Alta	100
	Gaussiano	0	17.6	10.33	0	Alta	99

Esférico	0	20.9	79.15	0	Alta	100
Gaussiano	0	16.5	50.66	0	Alta	100
Esférico	0	21.49	82.43	0	Alta	97
Esférico	0	12.1	60.84	0	Alta	96
Gaussiano	0	22.0	10.81	0	Alta	98
Esférico	0	16.92	11.48	0	Alta	98
Esférico	0	16.9	10.264	0	Alta	96
Esférico	0	19.37	10.90	0	Alta	97

Otro análisis fue realizado por Márquez *et al.* (2018), donde se determinó el patrón espacial de Huanglobing (HLB) en limón persa corroborando una distribución espacial agregada y una dependencia espacial a 40 m de distancia con la participación del psílido asiático de los cítricos *Diaphorina citri* como vector reportado para México pudiendo llegar a afectar hasta el 95% de las plantaciones de limón.

Cuadro 3. Parámetros de los modelos teóricos ajustados de los semivariogramas de *Oligonychus perseae* en aguacate en Temascaltepec, Estado de México.

Municipio	Modelo	Pepita	Rango	Meseta	Pepita /Meseta	Dependencia espacial	Superficie infestada
Temascaltepec	Esférico	0	21.49	26.02	0	Alta	100
	Esférico	0	18.53	12.29	0	Alta	100
	Gaussiano	0	14.63	71.49	0	Alta	99
	Esférico	0	19.71	61.22	0	Alta	60

Gaussiano	0	16.5	88.18	0	Alta	57
Gaussiano	0	11.0	72.70	0	Alta	88
Esférico	0	12.1	45.78	0	Alta	98
Esférico	0	15.06	9.07	0	Alta	99
Esférico	0	12.1	11.69	0	Alta	100
Esférico	0	17.6	8.87	0	Alta	91
Gaussiano	0	11.0	8.15	0	Alta	99
Esférico	0	19.44	2.17	0	Alta	98

Con base en los resultados obtenidos del valor del efecto pepita y el valor de la meseta, se calculó la dependencia espacial cuyo valor en todos los casos fue alto (Cuadros 1, 2, 3 y 4). El cálculo de la dependencia espacial ha sido usado ampliamente, ejemplo de ello el estudio sobre la distribución espacial de *Aedes aegypti* en Puerto Carreño, Colombia, donde se encontró una dependencia espacial media en el comportamiento del vector de dengue y un ajuste al modelo esférico (Niño, 2011).

Cuadro 4. Parámetros de los modelos teóricos ajustados de los semivariogramas de *Oligonychus perseae* en aguacate en Tenancingo, Estado de México.

Municipio	Modelo	Pepita	Rango	Meseta	Pepita /Meseta	Dependencia espacial	Superficie infestada
Tenancingo de Degollado	Esférico	0	15.4	31.15	0	Alta	100
	Gaussiano	0	11.25	75.68	0	Alta	99
	Gaussiano	0	10.40	25.70	0	Alta	97
	Esférico	0	12.86	24.92	0	Alta	100

Esférico	0	13.2	25.94	0	Alta	73
Esférico	0	15.65	68.05	0	Alta	99
Esférico	0	13.2	45.04	0	Alta	99
Gaussiano	0	13.4	32.17	0	Alta	93
Esférico	0	13.36	15.57	0	Alta	99
Esférico	0	16.83	15.36	0	Alta	99
Esférico	0	15.56	8.54	0	Alta	99
Esférico	0	15.65	8.50	0	Alta	100

Los porcentajes de la superficie infestada muestran que en la mayoría de los muestreos en los cuatro municipios llegó al 100% en los árboles muestreados como se observa en los (Cuadro 1, 2, 3 y 4), la menor superficie infestada estuvo en el muestreo correspondiente al mes de septiembre en el municipio de Temascaltepec con una superficie infestada del 57 %, la información se puede visualizar mejor a través de los mapas donde podemos observar la agregación de los ácaros, donde los patrones de agregación son indicativo de la presencia de interacciones entre los ácaros o entre los ácaros y el medio (Figura. 1, 2, 3 y 4) pudiendo observar áreas libres e infestadas por *O. perseae*, si bien esta especie se presenta en los meses más calurosos sin embargo, en los muestreos presentados encontramos un comportamiento irregular debido a que la impermeabilidad de los nidos no se ve afectada por las lluvias y los ácaros permanecen protegidos y esta condición no merma las poblaciones de arañas cristalinas. Comportamientos iguales fueron vistos en el trabajo realizado por Solano (2011) sobre la dinámica poblacional de *O. perseae* donde menciona que el ácaro para protegerse de la lluvia y de las altas humedades relativas que podrían ocasionarle una elevada mortalidad, se ven obligados a construir un mayor número de nidos y esto provoca un aumento de las poblaciones al inicio de las lluvias.

Las técnicas geoestadísticas aplicadas en el control de plagas han permitido tener el conocimiento de distribución espacial, lo que contribuye a conocer sus hábitos de vida lo que se ve expresado en los modelos de dispersión en las zonas de muestreo, la información arrojada nos permite crear planes de control en diferentes etapas de desarrollo del ácaro y de esta manera implementar programas de muestreo, control y vigilancia dentro de las zonas de cultivo de aguacate. La ilustración de la presencia de araña cristalina del aguacatero se realizó mediante el proceso de krigeado ordinario, este método de estimación geoestadística consiste en proporcionar el valor más probable de una variable espacial en un punto, el krigeado es un estimador ELIO

(estimador lineal, insesgado y óptimo) que posee diversos métodos propuestos para abordar situaciones tanto teóricas como prácticas (Chica-Olmo, 2005).

Los mapas realizados para los cuatro municipios evaluados nos permiten ilustrar la presencia de los centros de agregación con el mayor número de ácaros (color rojo), mientras que a medida que disminuye la presencia de estos organismos, la intensidad del color disminuye a amarillo y en ausencia de arañas se torna blanco (Figura.1, 2, 3y 4). Los mapas permitieron determinar los focos de infestación de *O. perseae* y con ello llevar a cabo un uso racional de los acaricidas cuidando la fauna entomológica benéfica, además de predecir las zonas donde se desarrollarán poblaciones altas en las siguientes temporadas, esto en función de los niveles de población al final de la anterior, estos mapas pretenden ayudar a los productores de aguacate para decidir dónde y cuándo aplicar diversas medidas de control, puesto que, la recurrente presencia del ácaro en las parcelas de cultivo de aguacate en el Estado de México ha provocado que los productores realicen métodos de control químico regularmente a lo largo del año.

El control de ácaros en las plantaciones de aguacate se lleva a cabo con aplicación de abamectinas, que tienen un costo de alrededor de \$ 1,000.00 M.N/ha lo que representa una inversión muy costosa en las huertas. Para el caso de nuestro estudio la aplicación de acaricidas se ve justificada en las áreas con coloración roja de los mapas (muestreos 1, 2, 11 y 12 en el municipio de Coatepec Harinas (Figura.1), muestreo 7 en Donato Guerra (Figura.2), muestreo 7 y 8 del municipio de Temascaltepec (Figura.3) y muestreo 1 en Tenancingo de Degollado (Figura.4)., pero debido a que no superan los umbrales económicos se debería evitar considerando que en muchas ocasiones las aplicaciones no son realizadas correctamente y algunos organismos han generado resistencia a piretroides y organofosforados como lo menciona Rodríguez (2015). Sin embargo, según lo reportado por Ramos *et al.* (2015), *O. perseae* no ha mostrado resistencia según el estudio de susceptibilidad a acaricidas que realizó en huertos de aguacate en Nayarit, México.

En los mapas podemos observar que las áreas en blanco y amarillo son indicativas para un control alternativo como es la aplicación de control biológico, puesto que los niveles de ácaros son inferiores a 10 individuos por árbol, se recomienda el uso de ácaros depredadores pertenecientes a la familia *Phytoseiidae*. Estudios realizados por Kerguelen y Hoddle (1999) demostraron que *Neoseiulus californicus* (McGregor) y *Galendromus helveolus* son las especies con mayor eficiencia en reducir las poblaciones de este ácaro en plantaciones de aguacate en California, estos depredadores controlan mejor la plaga cuando se encuentra en bajas densidades. También se puede optar por contar con fauna endémica auxiliar en el control de *O. perseae*, pero para ello se requiere eliminar la aplicación de agroquímicos que afecten las poblaciones de estos organismos.

CONCLUSIONES.

Los ácaros pueden representar un grave problema si no se controlan a tiempo, por ello se requiere llevar a cabo trabajos con manejos puntuales usando nuevas técnicas como la geoestadística, estas herramientas nos proveen de información necesaria para conocer e ilustrar los modelos de dispersión de los organismos que ayuden en la toma de decisiones para poner en marcha planes de control eficientes en el control de plagas apoyado en manejo integrado y dejando como

último recurso el uso de agroquímicos evitando así problemas medioambientales, ecológicos y de resistencia a los pesticidas.

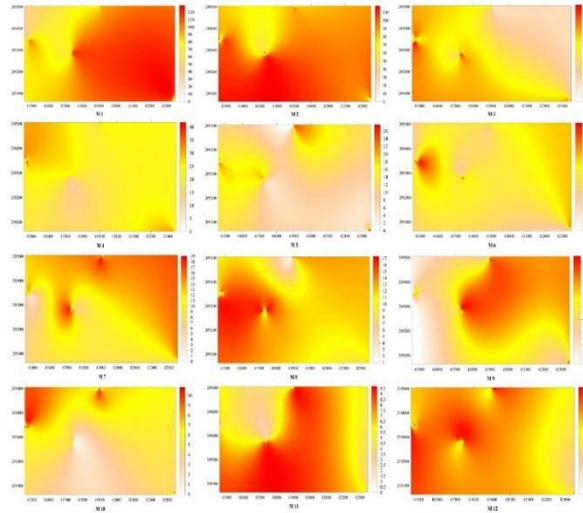


Figura 1. Mapas de densidad de las poblaciones de *Oligonychus perseae* en el cultivo de aguacate en Coatepec Harinas, Estado de México.

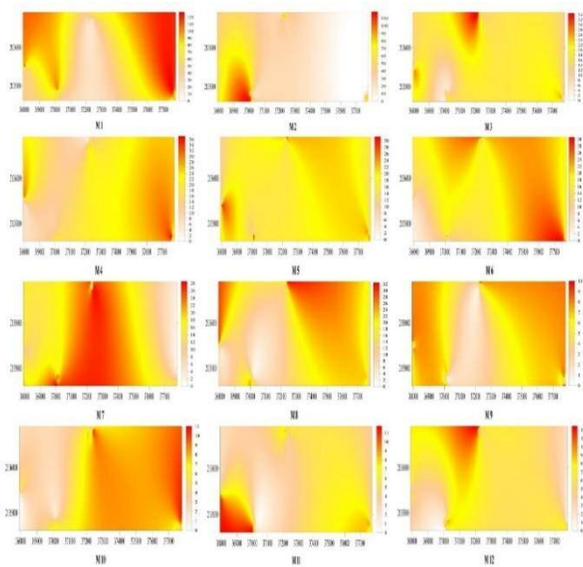


Figura 2. Mapas de densidad de las poblaciones de *Oligonychus perseae* en el cultivo de aguacate en Donato Guerra, Estado de México.

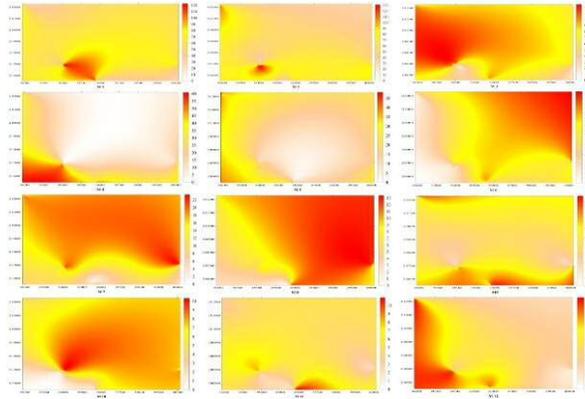


Figura 3. Mapas de densidad de las poblaciones de *Oligonychus perseae* en el cultivo de aguacate en Temascaltepec, Estado de México.

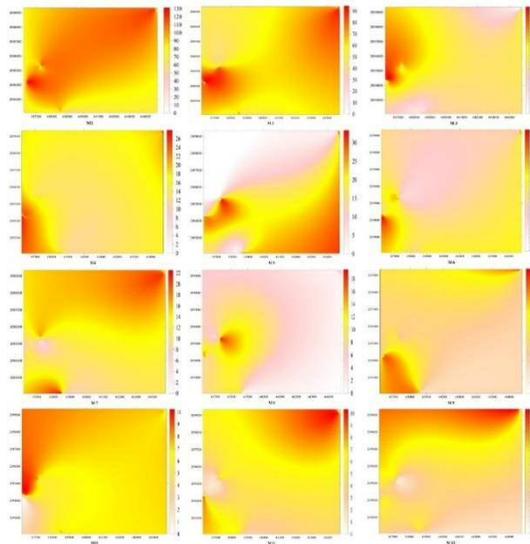


Figura 4. Mapas de densidad de las poblaciones de *Oligonychus perseae* en el cultivo de aguacate en Tenancingo, Estado de México.

BIBLIOGRAFÍA

Alcázar M.D., G. Aranda, A. L. Márquez, L. Sánchez, and C. Ruiz (2005) *Oligonychus perseae* (Acari: Tetranychidae) una nueva plaga en el aguacate en el Sur de España. IV Congreso Nacional de Entomología Aplicada. Braganza, Portugal pp: 213.

Aponte O. and J. A. Mc Murtry (1997) Biology, life table and mating behavior of *Oligonychus perseae* (Acari: Tetranychidae). International Journal of Acarology 23: 199–207, doi :10.1080/01647959708683564

- Armstrong, M. and R. Jabin. (1981) Variogram models must be positive-definite. *Mathematical Geology* 13: 455-459, <https://doi.org/10.1007/BF01079648>
- Bouriga-Valdivia, E., M. Vargas-Sandoval., J. J. Ayala-Ortega., M. B. N. Lara-Chávez., and M. Contreras-Gutiérrez (2016). Evaluación de insecticidas orgánicos para el control de ácaros en el cultivo del aguacate *Entomología Mexicana* 3: 25-130.
- Cambardella, C., T. Moorman, J. Novak, T. Parkin, D. Karlen, R. Turco, and A. Konopka. (1994) Field scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil. Science. Society. America. Journal.* 58: 1501-1511 doi:10.2136/sssaj1994.03615995005800050033x
- Chica Olmo, M. (2005) La geoestadística como herramienta de análisis espacial de datos de inventario forestal. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales.*19: 47-55,doi:<https://doi.org/10.31167/csef.v0i19.9484>
- Darrouy, N. (2000) Desarrollo de una crianza masiva de *Stethorus histrio* Chazeau, biocontrolador de la araña roja del palto (*Oligonychus yothersi* (McGregor)) (en línea). Tesis Lic. Ing. Agr. Chile, Universidad Católica de Valparaíso. Consultado 19 de diciembre de 2019. Disponible en: http://www.avocadosource.com/papers/Chile_Papers_A-Z/D-E-F/DarrouyNicole2000.pdf
- Flores-Canales, R. J., N. Isiordia-Aquino, A. Robles-Bermúdez, O. Ortega-Ávalos, R. Pérez-González, and A. Ramos-Quirarte. (2011) Ácaros fitófagos asociados a frutales en la zona de **Nayarit**. *Revista Fuente*, 2: 25-33. <http://fuente.uan.edu.mx/publicaciones/03-07/3.pdf> (noviembre 2018)
- Hevesi, J., J. Istok, and A. Flint. (1992) Precipitation estimation in mountainous terrain using multivariate geostatistics. Part I. Structural analysis. *Journal of Applied Meteorology.*31: 661-676, doi: 10.1175/1520-0450(1992)031<0661: PEIMTU>2.0.CO;2
- Isaaks, E. H., and R. M. Srivastava (1989) *An Introduction to Applied Geostatistics*. Oxford Univ. Press, 1° ed. New York, United States of America. 35-38 pp.
- Jiménez, C. R. D. L. Á., J. F. Ramírez, D. J. R. Sánchez, P. J. R, Salgado, S. M. L, and Laguna, C. A. (2013) Modelización espacial de *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) en tomate de cáscara por medio de técnicas geoestadísticas. *Revista Colombiana de Entomología.*39: 183-192.
- Journel, A. G., and C. J. Huijbregts, Ch. J. (1978) *Mining geostatistics* Academic press. Londres,Reino Unido.600p.
- López, G. F., E. M. Jurado, S., Atenciano, F. A. García, M. Sánchez and T. L. García (2002). Spatial variability of agricultural soil parameters in southern Spain. *Plant and Soil.* 246: 97-105.
- Manoiloff, I. T., J. M. Barral and G. A. de Lavalle. (1982) Distribución de la Población de Pulgones (*Aphis gossypii* Glov) en Algodón en la EERA Saenz Peña (Chaco) y su Aplicación en el Muestreo Secuencial para la Toma de Decisiones en el Control de la Plaga. 11 Págs.

- Márquez-Pérez, F.J., J.L. Flores-Sánchez, L. Rodríguez-Mejía, J. Márquez-Gómez, S. J. Michereff, V. Ancona, A. Robles-Bermúdez and S. Domínguez-Monge. (2018) Progress and spatial pattern of huanglongbing in Persian lime in Nayarit, México. *Revista Bio Ciencias* 5: e351, doi: <http://dx.doi.org/10.15741/revbio.05.02.01>
- Moral, G. (2004) Aplicación de la geoestadística en las ciencias ambientales. *Ecosistemas* 13: 78–86. <https://revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/582>
- Niño, L. (2011) Interpolación espacial de la abundancia larval de *Aedes aegypti* para localizar focos de infestación. *Revista Panamericana de Salud Pública*.29: 416–422.
- Ochoa, R., H. Aguilar, and C. Vargas. (1994) Phytophagous mites of Central America: An illustrated guide. Manual Técnico, CATIE, Turrialba, Costa Rica. 234 p.
- Ramírez-Dávila, J. F., Porcayo. C. E., and Sánchez, P. J. R. (2011) Análisis de la distribución espacial de *Bactericera cockerelli* Sulc (Hemiptera: Triozidae) en *Solanum tuberosum* L. en Donato Guerra, México. *Boletín del Museo de Entomología de la Universidad del Valle* 12: 12–24.
- Ramos-Gutiérrez F.A., C. Santillán-Ortega, A. Robles-Bermúdez, N. Isiordia-Aquino, M. García-López, R.J. Flores-Canales and M.S. González-Corona. (2015) Susceptibility to acaricides in *Oligonychus perseae* from avocado orchards in Nayarit, México. *Revista Bio Ciencias* 3: 220–227,doi:<https://doi.org/10.15741/revbio.03.03.08>
- Ripa, R., and P. Larral (2008) Manejo de plagas en paltos y cítricos. Santiago, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. 399 p. (Colección de Libros INIA, no. 23).
- Rodríguez, J. C. (2015) Detección y manejo de la resistencia insecticidas. Colegio de Postgraduados.[http://www.bayercropscience.com.mx/bayer/cropscience/bcsmexico.nsf/files/extraneat/\\$file/MANEJO%20DE%20LA%20RESISTENCIA.pdf](http://www.bayercropscience.com.mx/bayer/cropscience/bcsmexico.nsf/files/extraneat/$file/MANEJO%20DE%20LA%20RESISTENCIA.pdf). (enero 2019)
- Salvador-De Jesús, L. A., E. G. Estrada-Venegas, A. Equihua-Martínez and M. P. Chaires-Grijalva. (2016) Relación *Oligonychus perseae* (Prostigmata: Tetranychidae) y *Euseius hibisci* (Mesostigmata: Phytoseiidae) en dos huertas de aguacate en Uruapan, Michoacán. *Entomología Mexicana* 3:115–119.
- Samper, F. J., and J. Carrera. (1996) Geoestadística: Aplicaciones a la Hidrología subterránea. 2ª Ed. Centro Internacional de Métodos en Ingeniería. Barcelona. 484 p.
- Southwood, T. R. E. (1995) *Ecological Methods*. With particular reference to the study of insects population. 2nd Edition. Chapman & Hall. USA. pp 7-47.
- Téliz, D., and A. Mora. (2007) El aguacate y su manejo integrado. 2 ed. Mundi –Prensa.México D.F., México p.156–158.
- Trematerra, P., and A. Sciarretta. (2002) Phenology and spatial analysis of some Coleoptera infesting a feed mill. In *Proceedings of the 8th international working conference on stored-product protection*, New York,pp. 276–280.

Tuttle, D. M., E. W. Baker, and M. J. Abbatiello. (1976) Spider mites of México (Acari: Tetranychidae). *International Journal of Acarology* 2: 1-108, https://doi.org/10.1007/978-90-481-9837-5_96.

7.3 Revista Acta Universitaria: Análisis de la disposición espacial de *Araptus schwarzi* Blackman (Coleoptera: Scolytidae) en el cultivo de aguacate en Tenancingo, Estado de México.

Acta Universitaria Tareas 1 Español (España) Ver el sitio jframirez

Biblioteca de envío Ver metadatos

Análisis de la disposición espacial de *Araptus schwarzi* Blackman (Coleoptera: Scolytidae) en el cultivo de aguacate en Tenancingo, Estado de México.
Ana Veronica Lara Diaz, José Francisco Ramírez Dávila, Armando Equihua Martínez, Fatima Irais Mal...

Envío Revisión Editorial Producción

Archivos de envío Buscar

40028-1 jframirezd, araptus tenancingo Acta Universitaria.docx Texto del artículo

Descargar todos los archivos

Discusiones prerrevisión Añadir discusión

Nombre	De	Última respuesta	Respuestas	Cerrado
--------	----	------------------	------------	---------

[AU] Submission Acknowledgement



Sonia Karina Aguirre Flores <actauniversitaria@gmail.com>

Jue 10/10/2019 02:25 PM

Usted; Ana Veronica Lara Diaz; Armando Equihua MARTINEZ

Hello,

José Francisco Ramírez Dávila has submitted the manuscript, "Analysis of the spatial arrangement of *Araptus schwarzi* Blackman (Coleoptera: Scolytidae) in the avocado crop in Tenancingo, State of Mexico." to Acta Universitaria.

If you have any questions, please contact me. Thank you for considering this journal as a venue for your work.

Sonia Karina Aguirre Flores

Analysis of the spatial arrangement of *Araptus schwartzi* Blackman (Coleoptera: Scolytidae) in the avocado crop in Tenancingo, State of Mexico.

Análisis de la disposición espacial de *Araptus schwartzi* Blackman (Coleoptera: Scolytidae) en el cultivo de aguacate en Tenancingo, Estado de México.

Ana Veronica Lara Diaz¹, *José Francisco Ramírez Dávila², Armando Equihua Martínez³ y Fatima Irais Maldonado Zamora¹.

¹. Universidad Autónoma del Estado de México. sakua_02@hotmail.com, irita_3@hotmail.com.

². Laboratorio de Entomología, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma del Estado de México. jframirez@uaemex.mx

³. Instituto de Fitosanidad, Entomología y Acarología, Colegio de Posgraduados, Campus Montecillo. equihua@colpos.mx

*Autor de correspondencia: jframirez@uaemex.mx

Analysis of the spatial arrangement of *Araptus schwarzi* Blackman (Coleoptera: Scolytidae) in the avocado crop in Tenancingo, State of Mexico.

Análisis de la disposición espacial de *Araptus schwarzi* Blackman (Coleoptera: Scolytidae) en el cultivo de aguacate en Tenancingo, Estado de México.

Abstract:

The insect borers are a complex and some of them may cause damage to woody species, they are characterized by ovipositing their eggs inside the plant tissues, for once the immatures emerge they feed on them. *Araptus schwarzi* affects the fallen fruits and contributes to the degradation of the avocado and in rarely been reported in mature fruits. The study was carried out in avocado plantations of approximately twelve years of age in the municipality of Tenancingo, State of Mexico during 2018. The spatial distribution of *Araptus schwarzi* in avocado was determined through the application of geostatistical techniques adjusting to spherical models mainly with a high spatial dependence. The infested area exceeded the 88 % of the area of the municipality, reflecting that it could become a potential pest for the avocado grown in this area.

Key Words: geoestatistic, borer, avocado seed.

Resumen:

Los barrenadores son un complejo de insectos, de los que algunas especies podrían causar daños en especies leñosas, se caracterizan por ovipositar sus huevecillos dentro de los tejidos vegetales, para que una vez que emerjan los inmaduros se alimenten de ellos. *Araptus schwarzi* afecta frutos caídos y coadyuvan a la degradación de la semilla de

aguacate, y rara vez se ha reportado en frutos maduros. El estudio se realizó en plantaciones de aguacate de aproximadamente doce años de edad en el municipio de Tenancingo, Estado de México durante el año 2018. Se determinó la distribución espacial de *Araptus schwarzi* en aguacate a través de la aplicación de técnicas geoestadísticas ajustándose a modelos esféricos principalmente con una dependencia espacial alta. La superficie infestada superó el 88 % de la superficie del municipio, lo cual refleja su papel en los procesos de descomposición de semillas de aguacate de esta zona de producción.

Palabras clave: geoestadística, barrenador, semilla de aguacate

Introducción

Los insectos son un grupo amplio que participan de diversas maneras en el acontecer de la vida del ser humano, hasta hoy se tienen descritos más de 1 millón de especies (Wilson, Gullan & Cranston, 2010). Dentro de esta diversidad encontramos a los escarabajos (Orden Coleoptera) que comprende el 25% de todos los animales descritos sobre la tierra (Zhang *et al.*, 2018), estos se encuentran distribuidos a nivel mundial en la mayoría de los ecosistemas llevando a cabo diversas funciones; ejemplo de ello están depredadores que controlan insectos plaga, descomponedores de materia orgánica, polinizadores, entre otros.

Los escolítidos pertenecen a este numeroso grupo de escarabajos, son insectos pequeños de forma cilíndrica que comprenden aproximadamente 220 géneros y unas 6,000 especies distribuidas mundialmente. En México se han registrado 846 especies de escolítidos con hábitos alimentarios, huéspedes y distribución geográfica variada (Pérez, Hernández & De la Cruz, 2016), se les clasifica por sus hábitos de colonización: descortezadores y barrenadores. Los descortezadores habitan bajo la corteza de los árboles,

mientras que los barrenadores perforan las ramas o troncos de los árboles colonizando áreas más profundas, a este grupo se unen los ambrosiales que presentan una asociación con hongos, que les ayudan a colonizar los árboles rompiendo la defensa de estos, de esta manera les proporcionan alimento (Cruz, Hernández, Cruz & Sánchez, 2016; Burgos & Equihua 2007; Atkinson, 2017).

La familia Scolytidae es reconocida por poseer especies de importancia forestal, frutícola y ornamental, cuya función desde el punto de vista ecológico es regular las poblaciones vegetales a las que se asocian (Pérez et al., 2016). Este complejo ha provocado daños importantes en amplias variedades de especies vegetales, ejemplo de ello es el aguacate (*Persea americana* Mill), en el año 2012 la producción de aguacate var. Antillano se vio afectada en Florida a causa del hongo *Raffaelea lauricola*, agente causal de la enfermedad conocida como marchitez del laurel transmitida por el escarabajo *Xyleborus glabratus* Eichhoff 2008, (Carrillo, Duncan & Peña, 2012) este insecto ha sido clasificados como plaga cuarentenaria en la NOM-081-FITO-2001.

Siendo México el principal productor mundial de aguacate, específicamente Michoacán, Jalisco y el Estado de México, se debe tener especial cuidado ante el riesgo potencial de introducción y el efecto negativo que representan estos escarabajos para la industria del aguacate en el país. El presente trabajo tiene como objetivo determinar la distribución espacial de *Araptus schwarzi* en el cultivo de aguacate cv. Hass empleando técnicas geoestadísticas promoviendo el conocimiento del comportamiento espacial del insecto para evitar su dispersión y establecimiento en los huertos del Estado de México.

Materiales y Métodos

El estudio se realizó en el municipio de Tenancingo en el Estado de México, este municipio se ubica a 48 km de la capital mexiquense entre las coordenadas 18° 57' 5" y 19° 02' 25" latitud norte y entre 98° 35' 45" y 99° 38' 37" longitud oeste, presenta altitudes entre 2060 y 2490 msnm con una temperatura que oscila entre los 4 y 27°C con una precipitación media anual de 1195 mm.

El área de estudio consistió en doscientos árboles distribuidos y marcados a lo largo y ancho del municipio evaluado usando el método de cuadrantes. Las plantaciones tenían una edad aproximada de 12 años. Se efectuaron conteos quincenales de los estadios móviles del escolítido, para ello se utilizó un cuadro de alambazón de 50x50cm que fue lanzado al azar bajo la copa del árbol cuatro veces (una por punto cardinal). Cada árbol fue georreferenciado con un navegador GARMIN modelo eTrex Vista HCx2007. Para hacer las observaciones se usó una lupa de aumento de 20X, los muestreos se realizaron quincenalmente a partir del 1 de enero al 18 de diciembre de 2018. Los adultos fueron conservados en alcohol al 70% para su posterior determinación que se llevó a cabo en el edificio de fitosanidad y fue realizada por el Doctor Armando Equihua Martínez.

Una vez obtenidos los datos en campo, se realizó una prueba de Curtosis para verificar la normalidad de los datos obtenidos en campo, este valor se debe encontrar en un rango entre 3 y -3, de lo contrario se debe realizar una transformación para adecuar los datos a una distribución normal. Seguido de lo anterior, se realizó la estimación de los semivariogramas experimentales con los datos recopilados, el semivariograma se calculó mediante la siguiente fórmula: (Journel & Huijbregts, 1978; Isaak & Srivastava, 1989).

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

Dónde: $\gamma^*(h)$ es el valor experimental del semivariograma para el intervalo de distancia h ; $N(h)$ es el número de pares de puntos muestrales separados por el intervalo de distancia h ; $z(x_i)$ es el valor de la variable de interés en el punto muestreo x_i , y $z(x_i+h)$ es el valor de la variable de interés en el punto muestral x_i+h . Cualquier función matemática se puede utilizar para un modelo de semivariograma siempre que sea positiva y definida (Armstrong & Jabin, 1981). Para la realización del semivariograma experimental correspondiente a cada muestreo se empleó el programa Variowin 2.2 (Software para el análisis de datos espaciales en 2D. Primavera Verlag, New York; EE. UU).

Los modelos teóricos comúnmente usados para ajustar los semivariogramas experimentales son: el esférico, el exponencial, el gaussiano, el logarítmico, el de efecto pepita puro, el de efecto agujero y el monómico según Samper & Carrera (1996), Trematerra & Sciarretta (2004). Los parámetros del modelo a validar (C_0 , efecto pepita, C , meseta y a , rango o alcance) se van modificando hasta la obtención de estadísticos de validación cruzada adecuados.

Los valores de la validación cruzada son:

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

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

Dónde: $z^*(x_i)$ 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 (Hevesi, Istok & Flint, 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: σk es la desviación estándar del error esperado en la estimación con el krigado. La validez del modelo se satisface si ECMA está comprendido entre los valores $1 \pm 2 (2/N)^{0.5}$.

Se calculó el nivel de dependencia espacial con el fin de determinar la fortaleza de la relación entre los datos del muestreo. Este valor se obtiene al dividir el efecto de pepita entre el borde inferior, expresado en porcentaje: menos del 25% se considera alto, entre 26 y 75% moderado y superior al 76% se considera bajo (Cambardella *et al.*, 1994; López, *et al.*, 2002).

Se elaboraron los mapas mediante la interpolación de valores a través del krigado ordinario que permite la estimación no sesgada de valores asociados a puntos que no fueron muestreados. Todo esto con base a lo establecido por Samper & Carrera (1996). Este método se considera apropiado para este tipo de estudios (Webster & Oliver, 2007 y Li & Heap, 2011). Y finalmente, se estableció la superficie infestada de las estimaciones que se representan en forma de mapas para cada muestreo, mediante el uso del programa Surfer 10 (Surface Mapping System, Golden Software Inc. 809, 14th Street. Golden, Colorado 80401-1866. USA, 2011).

La dependencia espacial se puede observar cuando la semivarianza en un semivariograma aumenta a medida que aumenta la distancia. A cierta distancia, la semivarianza se convierte en constante (meseta), la distancia a la que alcanza esa meseta es el (rango) y el valor de la semivarianza cuando la distancia es igual a cero se llama efecto pepita (Liebhold, Rossi & Kemp, 1993).

Resultados

Se verificó la normalidad de los datos a través de la prueba de Curtosis, para este estudio no fue necesario realizar una transformación logarítmica puesto que los datos recolectados se mantuvieron dentro del rango antes mencionado.

La aplicación de las técnicas geoestadísticas permitió modelar el comportamiento espacial de *A. schwarzi* mediante el ajuste a los semivariogramas correspondientes. El semivariograma teórico al que mejor se ajustó el comportamiento de *A. schwarzi* es el esférico seguido del modelo gaussiano y exponencial (Tabla 1). El ajuste a un semivariograma empírico es muestra que la presencia del insecto se da en forma agregada dentro de los huertos evaluados.

El valor nulo de la pepita (Tabla 1) indica que la escala de muestreo empleada fue adecuada y que el error de muestreo fue mínimo, también refleja que el 100% de la variación en la distribución del insecto se explica por la estructura espacial establecida en los semivariogramas.

[Insertar Tabla 1.]

Los valores de rango o alcance oscilaron entre los 18.09 y los 46.66 metros (Tabla 1), este valor refiere la distancia a la que existe asociación espacial entre los datos obtenidos en los muestreos del insecto.

El nivel de dependencia espacial se calculó para determinar el grado de relación espacial que existe entre los datos de campo, para este caso, debido a que este valor fue menor a 25%, el nivel de dependencia espacial se calculó alto en todos los casos.

Los valores de validación cruzada se encontraron dentro de los rangos apropiados, lo que permitió validar los modelos a los que se ajustó la presencia del insecto, siendo 19 esféricos, 2 gaussianos y 3 exponenciales, lo cual es atribuible a la distancia entre los árboles muestreados y el número de insectos presentes en cada punto de muestreo. El ajuste al modelo teórico tipo esférico implica que dentro del municipio existen parcelas, zonas o puntos específicos desde donde la plaga inició la infestación y, por ende, durante el 2018 la plaga se manifestó más en diversos puntos del municipio.

La distribución de *A. schwarzi* se pudo ilustrar mediante el método del krigeado obteniendo un mapa por cada uno de los muestreos realizados, en ellos podemos observar que la distribución del insecto encuentra las mejores condiciones en la parte central inferior, ya que es donde se mantiene prácticamente sin cambios a través del tiempo, entretanto, hacia los límites del municipio, podemos observar cambios según las condiciones

climáticas que se presentan durante el año. Las poblaciones más altas encontradas se presentaron durante mayo y la primera semana de junio (Figura 1) encontrando hasta adultos, mientras que las poblaciones redujeron al inicio de la temporada invernal (4 adultos) y manteniéndose así durante noviembre y diciembre (Figura 2).

[Insertar Figura 1.]

[Insertar Figura 2.]

En todos los modelos se pudieron obtener mapas de agregación de la incidencia de *A. schwartzi*. Los mapas no solo puntualizan la distribución de escolítidos sino el número de adultos encontrados bajo la copa de los árboles muestreados. La utilidad de estos mapas se atribuye al hecho que, a partir de ellos, podemos dirigir las medidas de control a puntos o zonas específicas en donde se encuentren los barrenadores, teniendo así zonas delimitado los espacios de control para este barrenador secundario de la semilla esto nos ayudara a prevenir infestaciones futuras dentro de las huertas y hacia otros cultivos aledaños.

Debido a que la plaga no se aloja en frutos en crecimiento y su fuente de alimento se encuentra en el suelo, no se recomienda la aplicación de control químico, con un control cultural o mecánico principalmente, se podrían disminuir las poblaciones considerablemente. La principal recomendación es en las plantaciones evitar la presencia de frutos en el suelo o una incorporación de estos al suelo, a fin de evitar que el insecto realice la ovoposición y su proliferación.

Discusión

La aplicación de los sistemas de información geográfica sobre la distribución de especies de insectos que generan daño a plantas de interés económico se realizan en diversos países desde hace algunos años y han tenido relevancia por la aplicabilidad que tienen en la agricultura y otras áreas, ya que como lo señala Mateo, Felicísimo & Muñoz (2012), los modelos de distribución de especies representan información que sintetiza relaciones entre especies y variables ambientales que serían difíciles de interpretar por otros medios.

Tal como lo menciona Felicísimo (2011), aunque el número total de registros de especies existente es enorme, a la hora de analizar una especie concreta es frecuente que aparezcan unas pocas decenas de observaciones georreferenciadas. Esta situación limita el conocimiento de los organismos y se hace necesario, en consecuencia, desarrollar técnicas que permitan aprovechar la información existente, aunque esta sea escasa consiguiendo análisis de distribución potencial de especies.

En el cultivo de aguacate, los barrenadores han sido objeto de diversos estudios por afectar tanto los árboles como los frutos, pero no se ha abordado la distribución espacial que presentan estas especies, siendo estos estudios de fundamental importancia debido a que con ellos, se complementa tanto la biología como la ecología de las poblaciones y pueden ser de vital importancia para la adopción de medidas de control, ejemplo de ello son los trabajos realizados por Ramírez *et al.* (2018) y Acosta *et al.* (2017), donde por medio del conocimiento del comportamiento espacial de trips, llevaron a cabo la aplicación de control biológico con el uso de *Orius insidiosus* y *Amblyseiu swirskii* en el cultivo de aguacate con efectos favorables en ambos casos.

Para realizar trabajos de esta índole es importante la realización de un análisis exploratorio, ya que este procedimiento permite evaluar la calidad y consistencia de la información, investigar la distribución de las variables de interés, investigar adherencia a las suposiciones estadísticas necesarias en etapas posteriores del análisis, resumir información mediante diferentes estadísticos y gráficos, evaluar la necesidad **de realizar transformación de las variables de interés y detectar valores “fuera de serie” o “outliers”, entre otras cosas (Duarte, 2012), por ello se aplica la prueba de Curtosis** en el desarrollo de la presente investigación.

El semivariograma es una herramienta útil y confiable para evaluar la dependencia entre puntos de muestreo (Matheron, 1963). Para el caso de *A. schwarzi*, el modelo que mejor explicó su comportamiento se apegó a un modelo esférico, ya que es el modelo que mejor explica el comportamiento de los insectos aunado al modelo exponencial, ya que los insectos se distribuyen muy erráticamente en distancias muy cortas (Isaaks & Srivastava, 1989). Casos que corroboran lo anterior son los trabajos realizados por Quiñonez *et al.*, (2017) con trips en el cultivo de gladiolo, Rivera, *et al.* (2017) con *Bactericera cockerelli* en el cultivo de tomate de cáscara, al igual que Contreras *et al.* (2016) para huevos y ninfas de *B. cockerelli* en el cultivo de papa.

Los modelos de distribución de especies se basan en el concepto de que el requisito fundamental del insecto es completar su ciclo biológico dentro de un modelo de adaptación estacional adecuado, en el que existe una sincronía apropiada entre los recursos indispensables, tales como plantas hospederas que proporcionan alimento y resguardo, y las correspondientes etapas de desarrollo (Régnière, Nealis &

Poter, 2008). Ejemplo de ello es el caso de trips en el cultivo de tomate de cascara, donde las arvenses representan un nicho que puede evitar el control efectivo de esta plaga (Jiménez, Ramírez, Sánchez, Salgado & Laguna, 2013).

El propio concepto de ecología, que hace referencia a las interacciones entre los organismos y el ambiente presupone la existencia de dependencia temporal y espacial entre los distintos componentes del ecosistema (Rossi, Mulla, Journel & Franz, 1992). La distribución espacial agregada es una conducta normal en los organismos vivos debido a hábitos de reproducción o formación de colonias (abejas), Según Taylor (1984, 1961) la distribución espacial agregada se presenta en al menos el 96% de los artrópodos; por ello, en estudios sobre distribución espacial deben ser tomados en cuenta los valores del rango, ya que la distribución espacial será agregada en aquellos casos en los cuales la presencia de un individuo genera una mayor probabilidad de encontrar en las cercanías otros de la misma población (Clavijo, 1993; Salom & McLean, 1989; & Kirkendall, Biedermann, Jordal, 2015) reportan que la distancia máxima a la que se dispersan los escolítidos son cien metros a partir del árbol donde emergieron hasta encontrar un nuevo hospedero donde ovipositar para que emerja la siguiente generación y este dato corrobora que los alcances observados durante el trabajo tienen relación con respecto al comportamiento del insecto. Situación que es corroborada para la distribución espacial del escolítido en el agroecosistema aguacate en el Municipio de Tenancingo en el Estado de México, así como para la presencia *Thrips simplex* en plantaciones de gladiolo en el Valle de Toluca (Quiñonez, *et al.*, 2017).

Chacón *et al.* (2018) Han estudiado la distribución espacial de organismos mediante el índice de dispersión y la ley potencial de Taylor entre otras técnicas, observando un

patrón agregado de *T. urticae* y *P. persimilis* en los cuatro estados de desarrollo, sobre tres variedades de rosal bajo condiciones de invernadero observando que los cuatro métodos utilizados mostraron que *T. urticae* y *P. persimilis* tiene una distribución agregada. *P. persimilis* no modifica la distribución espacial de *T. urticae*, pero si su distribución vertical. Los modelos geoestadísticos en comparación con los usados en el trabajo antes mencionado proporcionan una medida más directa de la dependencia espacial debido a que toman en cuenta la naturaleza bidimensional de la distribución de los organismos a través de su exacta localización espacial, además de ser independiente de la relación entre la media y la varianza (Samper & Carrera, 1996)

Se sugiere que en un modelo que explique bien la realidad, la pepita no debe representar más del 50% de la meseta (Giraldo, 2002) y para el caso de la presencia de *A. schwarzi* el valor del efecto pepita fue cero y por los datos obtenidos en el valor de la pepita, el rango y la validación cruzada realizada, estos valores ofrecen la validez suficiente para representar fehacientemente el comportamiento del barrenador en el cultivo. El proceso de validación cruzada ha sido ampliamente utilizado para la presencia de insectos plaga y enfermedades en cultivos comerciales. Ramírez *et al.* (2018) aplicó esta técnica para validar la distribución espacial que presentó *Scirtothrips sp.* en el cultivo de aguacate durante 2014 y 2015, mientras que Esquivel & Jasso (2014) validaron por este método la presencia de gusano soldado en maizales del Estado de México.

El krigado ordinario ha mostrado ser una herramienta eficiente para obtener representaciones graficas que ilustren la distribución organismos de interés. En

cuestiones ambientales Ramírez-Dávila, Jiménez-Carrillo, Sánchez-Pale, Rubí-Arriaga & Figueroa-Figueroa (2014) estudiaron la distribución y abundancia de *Asclepias curassavica* L., planta con potencial de uso ornamental y medicinal en tres municipios del Estado de México (Temascaltepec, Malinalco y Valle de Bravo) aplicando técnicas geoestadísticas y SADIE, mientras que Ramírez-Dávila, Sánchez-Pale, Figueroa-Figueroa & de León (2014) aplicó estas mismas técnicas en cuestiones fitopatológicas evaluando la distribución espacial de *Sporisorium reilianum* en sembradíos de maíz en el Estado de México.

El alto nivel de dependencia espacial que presenta *A. schwarzi* indica una fuerte relación espacial entre los puntos muestreados para todos los muestreos, lo que sugiere que existe estabilidad de los centros de agregación a través del tiempo, situación similar al comportamiento reportado por Lara *et al.* (2018) para el comportamiento de *Olygonichus punicae* en plantaciones comerciales de aguacate variedad Hass.

Conclusiones

Conocer la distribución espacial nos permite observar cómo se estructuran las poblaciones de insectos dentro de las plantaciones para poner en práctica medidas de control, interpretar variables biológicas, predecir áreas donde las poblaciones de insectos exceden el umbral económico, crear planes de muestreo, conocer su comportamiento a través del tiempo y facilitar la localización de agentes de control.

La optimización en el uso racional de plaguicidas es algo imperante en la producción de alimentos, ya que no solo implica un ahorro económico al productor, sino que reduce la contaminación que genera esta actividad por ello, este tipo de trabajos sienta un precedente para futuras investigaciones en México.

Referencias

- Acosta-Guadarrama, A. D., Ramírez-Dávila, J. F., Rivera-Martínez, R., Figueroa-Figueroa, D. K., Lara-Díaz, A. V., Maldonado-Zamora, F. I., & Tapia-Rodríguez, A. (2017). Distribución espacial de Trips spp. (Thysanoptera) y evaluación de su control mediante el depredador *Amblyseius swirskii* en el cultivo de aguacate en México. *Southwestern Entomologist*, 42(2), 435-446. doi: <https://doi.org/10.3958/059.042.0214>
- Armstrong, M., & Jabin, R. (1981). Variogram models must be positive-definite. *Mathematical Geology*, 13(5):455-459. <https://doi.org/10.1007/BF01079648>
- Atkinson, T.H. (2017). Familia Curculionidae: Subfamilia Scolytinae. En Cibrián, D. Fundamentos Entomología Forestal. Redes *Temáticas de la Comisión Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)* 328-335.
- Bursgos, S., & Equihua, M. A. (2007). Platypodie y Scolytidae (Coleoptera) de Jalisco, México. *Dugesima*, 14 (2), 59-82.
- Cambardella, C., Moorman, T., Novak, J., Parkin, T., Karlen, D., Turco, R., & Konopka, A. (1994). Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil science society of America Journal*, 58(5), 1501-1511. doi: <http://doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800050033x>
- Carrillo, D., Duncan, R. & Peña, J. E. (2012). Ambrosia beetles (Coleoptera: Curulionidae: Scolytinae) that breed in avocado wood in Florida. *Florida Entomologist*, 95(3), 573-579.
- Contreras-Rendón, A., Gutiérrez-Ibañez, A. T., Silva-Rojas, H. V., Sánchez-Pale, J. R., Laguna-Cerda, A., & Ramírez-Dávila, J. F. (2016). Distribución espacial de

- Candidatus *Liberibacter solanacearum* y *Bactericera cockerelli* (Sulc) (Hemiptera: Triozidae) en papa (*Solanum tuberosum* L.). *Southwestern Entomologist*, 41(1), 105–114. doi: <https://doi.org/10.3958/059.041.0112>
- Chacón-Hernández, J. C., Cerna-Chave, E., Mora-Ravelo, S. G., Ochoa-Fuentes, Y., Rocandio-Rodríguez, M., Landeros-Flores J. (2018). Distribution patterns of *Tetranychus urticae* Koch and *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot (Acari: Tetranychidae, Phytoseiidae) in three roses varieties. *Bio Ciencias*, 5(2) ,423. doi: 10.15741/revbio.05.02.05
- Clavijo, S. A. (1993). *Fundamentos de manejo de plagas* (No. 632.9C617). Universidad Central de Venezuela, Caracas, (Venezuela). Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico.
- Cruz, M.P., Hernández, M.M.A., Cruz, P.A.D., & Sánchez, S.S. (2016). Scolytinae y Platypodinae (Coleoptera: Curculionidae) de dos áreas de conservación en Tabasco, México. *Rev. Biol. Trop*, 64, 335–342.
- Diario Oficial de la Federación. 2001. Norma Oficial Mexicana NOM-081-FITO-2001, Manejo y eliminación de focos de infestación de plagas, mediante el establecimiento o reordenamiento de fechas de siembra, cosecha y destrucción de residuos. Disponible en: <http://legismex.mty.itesm.mx/normas/fito/fito081-02.pdf> (Fecha de consulta: 28-03 2019)
- Esquivel, H. V., & Jasso, G. Y. (2014). Distribución espacial y mapeo de gusano soldado en seis localidades del Estado de México, en el año 2011. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(6), 923–935.

- Felicísimo, A.M., Muñoz, J., Villalba, C., & Mateo, R.G (2011). Análisis de impactos y vulnerabilidad de la flora y vegetación españolas ante el cambio climático. Oficina Española de Cambio Climático, Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino, Madrid, España.
- Giraldo, R. (2002). Construcción de un Indicador para el Estudio Conjunto de la Distribución Espacial de Múltiples Variables Binarias. Tesis de Maestría en Estadística. Departamento de Estadística. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Hevesi, J., Istok, J., & Flint, A. (1992). Precipitation estimation in mountainous terrain using multivariate geostatistics. Part. I. Structural analysis. *Journal of Applied Meteorology*, 31(7), 661-676. doi: [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1992\)031<0661: PEITU>2.0.CO; 2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1992)031<0661: PEITU>2.0.CO; 2)
- Isaaks, E.H., & Srivastava, R.M. (1989). *Applied Geostatistics*: Oxford University Press. New York, 561.
- Jiménez, R. D. L. Á. C., Ramírez, J. F.D., Sánchez, J. R.P., Salgado, M. L.S., & Laguna, A.C. (2013). Modelización espacial de *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) en tomate de cáscara por medio de técnicas geoestadísticas. *Revista Colombiana de Entomología*, 39(2), 183-192.
- Journel, A.G., & Huijbregts, C. J. (1978). *Mining geostatistics* (Vol.600). London, Reino Unido: Academic Press.
- Duarte Barea, F. (2012). Caracterización espacio-temporal de *Grapholita molesta* (Lepidoptera: Tortricidae) mediante métodos geoestadísticos y sistemas de información geográfica.

- Kirkendall, L.R., Biedermann, P.H.W., Jordal, B.H. (2015). Evolution and diversity of bark and ambrosia beetles. In *Bark Beetles* (pp. 85–156). Academic Press.
- Lara-Vázquez, F., Ramírez-Dávila, J. F., Rubí-Arriaga, M., Morales-Rosales, E. J., Figueroa-Figueroa, D. K., Acosta-Guadarrama, A. D., & Rivera-Martínez, R. (2018). Distribución Espacial de Araña Roja *Oligonychus punicae* Hirst en el Cultivo del Aguacate, en dos Municipios del Estado de México. *Southwestern Entomologist*, 43(3), 743–760. <https://doi.org/10.3958/059.043.0320>
- Li, J., & Heap, A.D. (2011). A review of comparative studies of spatial interpolation methods in environmental sciences: Performance and impact factors. *Ecological Informatics*, 6(3-4) 228–241.
- Liebholt, A.M., Rossi, R. E & Kemp, W.P. (1993). Geostatistics and geographic information systems in applied insect ecology. *Annu Rev Entomol* 38:303–327.
- López, G. F., Jurado, E. M., Atenciano, S., García, F.A., Sánchez, M., & García, T. L. (2002). Spatial variability of agricultural soil parameters in southern Spain. *Plant and Soil*. 246(1) ,97–105.
- Mateo R.G., Felicísimo, Á.M., & Muñoz, J. (2012). Modelos de distribución de especies y su potencialidad como recurso educativo interdisciplinar. *Reduca (Biología). Serie Ecología*, 5 (1), 137–153.
- Matheron, G. (1963). Principles of geostatistics. *Econ Geol* 58:1246–1266.
- Pérez, M., Hernández., & De la Cruz, A. (2016). Scolytinae y Platypodinae (Coleoptera: Curculionidae) de dos áreas de conservación en Tabasco, México. Biología tropical de dos áreas de conservación en Tabasco, México). *Biología Tropical*, 64(1), 335–342.

- Quiñones-Valdez, R., Sánchez-Pale, J.R., Castañeda-Vildozola, A., Franco-Mora, O., Johansen-Naime R., & Mojica-Guzman, A. (2017). Distribución espacial de *thrips simplex* (thysanoptera: thripidae) en plantaciones de gladiolo del valle de Toluca del estado de México, México. *Boletín del Museo de Entomología de la Universidad del Valle*, 17, (2): 21-28.
- Ramírez-Dávila, J. F., Jiménez-Carrillo, R. A., Sánchez-Pale, J. R., Rubí Arriaga, M., & Figueroa-Figueroa, D. K. (2014). Distribución espacial de *Asclepias curassavica* L., en el Estado de México, México. *Phyton (Buenos Aires)*, 83(1), 193-202.
- Ramírez-Dávila, J. F., Rivera-Martínez, R., Acosta-Guadarrama, A. D., Maldonado-Zamora, F. I., Lara-Díaz, A. V., & Figueroa-Figueroa, D. K. (2018) Estudio de la distribución espacial de *scirtothrips sp.* (insecta: thysanoptera) y su control mediante el depredador *orius insidiosus* say. En el cultivo de aguacate en México. *INTERCIENCIA*, 43(7) ,526-533. https://www.interciencia.net/wp-content/uploads/2018/07/526-ramirez-davila-43_07.pdf
- Ramírez-Dávila, J. F., Sánchez-Pale, J. R., Figueroa-Figueroa, D. K., & de León, C. (2014). Asociación espacial de largo plazo de *Sporisorium reilianum* en el cultivo de maíz. *Revista mexicana de micología*, 40, 37-45. Recuperado en 18 de julio de 2019, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-31802014000200007&lng=es&tlng=pt.
- Régnière, J., Nealis, V., & Porter, K. (2008). Climate suitability and management of the gypsy moth invasion into Canada. In *Ecological impacts of Non-Native Invertebrates and Fungi on Terrestrial Ecosystem* Springer, Dordrecht.p.11-135.
- Rivera-Martínez, R., Ramírez-Dávila, J. F., & Acosta-Guadarrama, A. D. (2018). Distribución espacial de las poblaciones de huevos de *Bactericera cockerelli* Sulc. En

- el cultivo de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Acta universitaria*, 28(5), 24–33. <https://dx.doi.org/10.15174/au.2018.1944>.
- Rossi, R. E., Mulla, D., Journel, A.G., & Franz, E. H. (1992). Geostatistical tools for modeling and interpreting ecological spatial dependence. *Ecological monographs*, 62(2), 277–314. doi: <https://doi.org/10.2307/2937096>
- Salom, S.A., Mclean, J.A. (1989). Influence of wind on the spring flight of *Trypodendron lineatum* (Oliver) (Coleoptera: Scolytinae) in a second-growth coniferous forest. *The Canadian Entomologist*, 121(2), 109–119.
- Samper, F. J., & Carrera, J. (1996). *Geoestadística, aplicaciones a la hidrogeología*. España: Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería.
- Taylor L. R. (1961). Aggregation, variance and the mean. *Nature*, 189: 732–35.
- Taylor L. R. (1984). Assessing and interpreting the spatial distributions of insects populations. *Ann.Rev. Entomol.* 29: 321–357.
- Trematerra, P., & Sciarretta, A. (2004). Spatial distribution of some beetles infesting a feed mil with spatio-temporal dynamics of *Oryzaephilus surinamensis*, *Tribolium castaneum* and *Tribolium confusum*. *J. Stored Products Res.* 40(4):363–377.
- Webster, R., & Oliver, M.A. (2007). *Geostatistics for Environmental Scientists*. (pp.3–30). Inglaterra, John Wiley & Sons, Ltd, Chichester.
- Wilson, R. P., Gullan, P. J., & Cranston, P. S. (2010). The insects: an outline of entomology (4th edition). *J. Insect Conserv.* 14, 745–746.
- Zhang, S.Q., Che, L.H., Li, Y., Dan, Liang., Pang, H., **Ślipiński, A.**, & Zhang, P. (2018). Evolutionary history of Coleoptera revealed by extensive sampling of genes and

species. *Nature. Communications*, 9 (1), 9–11. <https://doi.org/10.1038/s41467-017-02644-4>.

Tabla 1. Parámetros de los modelos teóricos ajustados a los semivariogramas de *Araptus schwartzi* en el municipio de Tenancingo, Estado de México durante 2018.

Fuente: Elaboración propia.

es de Muestreo	Modelo	Pepita	Meseta	Rango	Sup. Infestada (%)
Enero	Esférico	0	1.512	22.02	50
	Exponencial	0	49.00	46.66	86
Febrero	Esférico	0	33.75	21.6	55
	Esférico	0	33.44	21.46	74
Marzo	Esférico	0	9.20	22.29	64
	Esférico	0	5.27	22.66	87
Abril	Esférico	0	15.64	23.03	79
	Esférico	0	15.53	18.13	85
Mayo	Esférico	0	15.11	23.21	79
	Exponencial	0	45.38	41.53	55
Junio	Esférico	0	31.85	20.77	66
	Esférico	0	30.46	21.97	43
Julio	Gaussiano	0	28.5	19.01	43
	Esférico	0	28.52	23.35	60
Agosto	Esférico	0	25.13	24.99	43
	Esférico	0	19.32	20.86	58
Septiembre	Esférico	0	23.66	23.12	74
	Gaussiano	0	11.16	18.09	67
Octubre	Esférico	0	11.10	22.29	70
	Esférico	0	8.14	20.77	56
Noviembre	Esférico	0	3.86	24.99	53
	Esférico	0	3.31	21.46	57
Diciembre	Esférico	0	2.59	25.40	60
	Exponencial	0	1.15	19.24	69

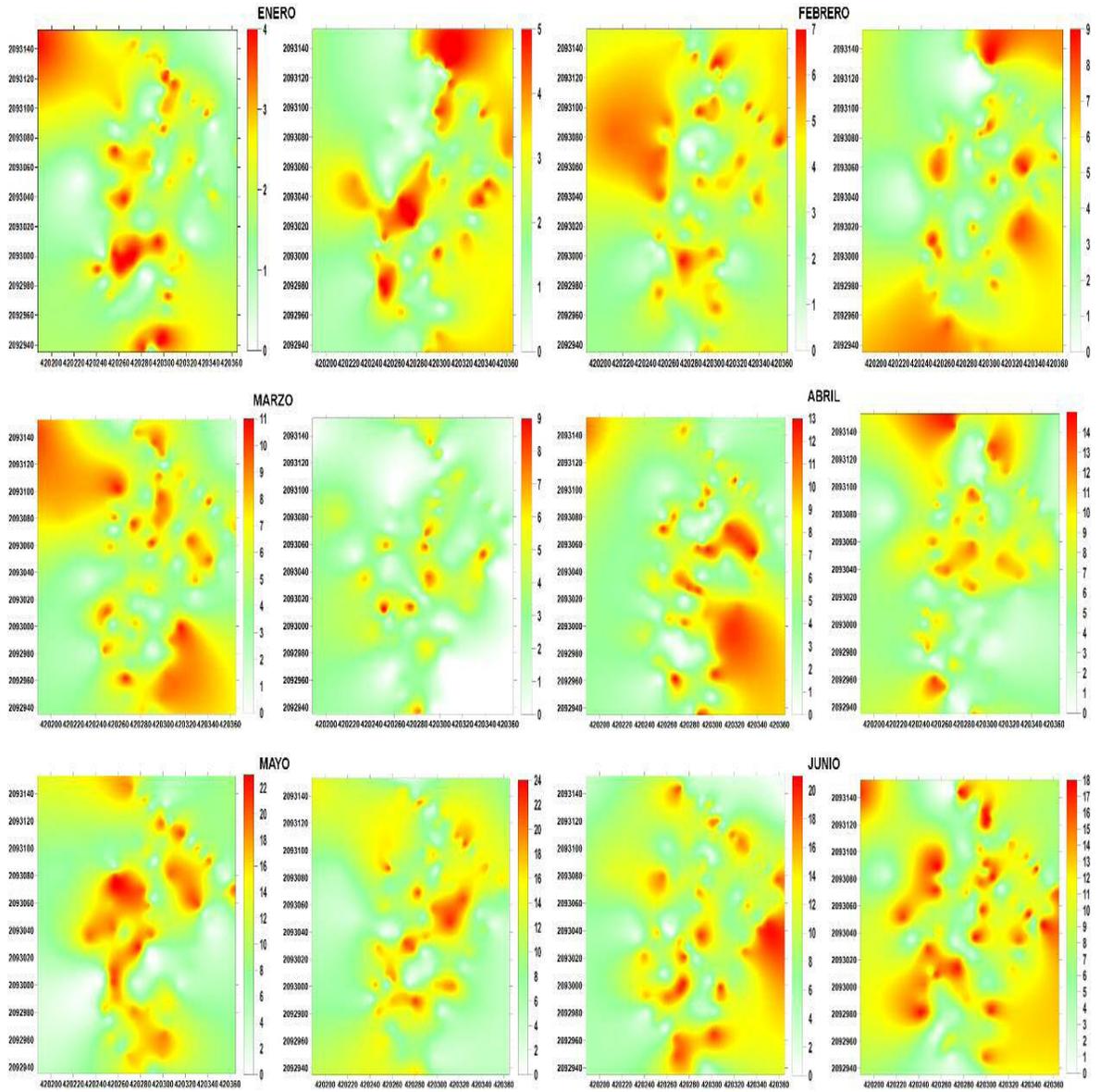


Figura 1. Mapas de densidad de *Araptus schwartzi* en el cultivo de aguacate en Tenancingo, Estado de México (enero-junio 2018).

Fuente: Elaboración propia

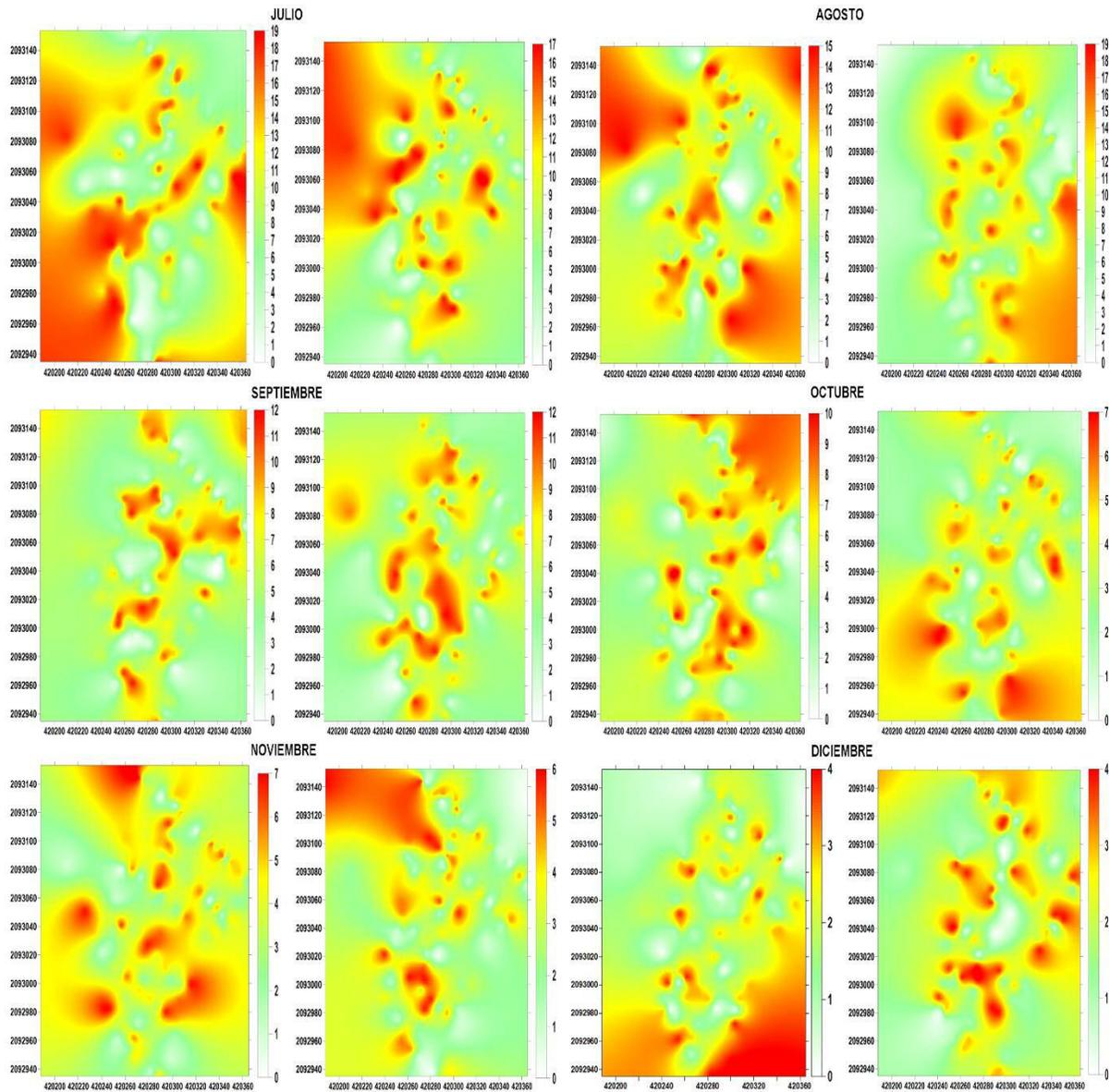


Figura 2. Mapas de densidad de *Araptus schwartzi* en el cultivo de aguacate en Tenancingo, Estado de México (julio-diciembre 2018).

Fuente: Elaboración propia.

7.4 Revista Ecosistemas y Recursos Agropecuarios: COMPORTAMIENTO ESPACIAL DE *Araptus schwarzi* (COLEOPTERA: SCOLYTIDAE) EN AGUACATE EN VILLA GUERRERO ESTADO DE MÉXICO

 Dr. Efraín de la Cruz Lázaro <editorera1@ujat.mx>
Mar 12/11/2019 12:16 PM
Usted ▾

[ERA] Acuse de recibo de envío 

Gracias por enviar el manuscrito "COMPORTAMIENTO ESPACIAL DE *Araptus schwarzi* (COLEOPTERA: SCOLYTIDAE) EN AGUACATE EN VILLA GUERRERO, ESTADO DE MÉXICO," a Ecosistemas y Recursos Agropecuarios. Con nuestro sistema de gestión de revistas en línea, podrá iniciar sesión en el sitio web de la revista y hacer un seguimiento de su progreso a través del proceso editorial.

URL del manuscrito:
<http://era.ujat.mx/index.php/rera/author/submission/2478>
Nombre de usuario/a: jframirez

En caso de dudas, contacte conmigo. Gracias por elegir esta revista para publicar su trabajo.

Dr. Efraín de la Cruz Lázaro
Ecosistemas y Recursos Agropecuarios

Ecosistemas y Recursos Agropecuarios
<http://era.ujat.mx>

Email secured by Check Point

**COMPORTAMIENTO ESPACIAL DE *Araptus schwarzi* (COLEOPTERA: SCOLITIDAE) EN
AGUACATE EN VILLA GUERRERO, ESTADO DE MÉXICO.**

**SPATIAL BEHAVIOR OF *Araptus schwarzi* (COLEOPTERA: SCOLITIDAE) IN AVOCADO IN
VILLA GUERRERO, STATE OF MEXICO.**

Comportamiento espacial de *Araptus schwarzi*

Ana Veronica Lara Diaz¹, Fatima Irais Maldonado Zamora¹, José Francisco Ramirez Dávila^{2*};
Armando Equihua Martínez³.

¹ Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, México. CP 50200. alarad_03@outlook.com, irita_3@hotmail.com

² Profesor Investigador de la Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, México. CP 50200. jframirez@uaemex.mx. *Autor de correspondencia

³ Profesor Investigador del Colegio de Posgraduados Campus Montecillo (Fitosanidad, entomología y acarología). equihuaa@colpos.mx.

Resumen. Durante 2018, se monitoreó quincenalmente la presencia de *Araptus schwarzi* en el cultivo de aguacate en el municipio de Villa Guerrero, Estado de México para llevar a cabo un análisis geoestadístico mediante el uso del programa Variowin 2.2 y su representación gráfica mediante mapas de estimación obtenidos a través del krigeado ordinario con el programa Surfer 9.0. Se encontró una distribución espacial agregada de *A. schwarzi* con una dependencia espacial alta para los doce muestreos realizados. La presencia del escolítido se ajustó a modelos esféricos principalmente con

un valor pepita o nugget igual a cero y un valor de rango entre 15.57 y 24.37 metros. La superficie infestada por el insecto superó el 56% en todos los casos.

Palabras clave: *Araptus schwarzi*, aguacate, krigeado ordinario, geoestadística, superficie infestada.

Abstract. During 2018, the presence of *Araptus schwarzi* in the avocado crop was monitored biweekly in the municipality of Villa Guerrero, State of Mexico to carry out a geostatistical analysis through the use of the Variowin 2.2 program and its graphic representation through estimation maps obtained at through ordinary krigeado with the Surfer 9.0 program. An aggregate spatial distribution of *A. schwarzi* was found with a high spatial dependence for the twelve samples performed. The presence of the scoliid was adjusted to spherical models mainly with a nugget nugget value equal to zero and a range value between 15.57 and 24.37 meters. The area infested by the insect exceeded 56% in all cases.

Key words: *Araptus schwarzi*, avocado, ordinary kriging, geostatistic, infested surface.

INTRODUCCIÓN

La distribución espacial de organismos determina la ubicación de los individuos en un espacio determinado (Southwood, 1995) y es una de las características más importantes para que una población sea muestreada de manera eficiente (Ruesink, 1982) ya que las poblaciones tienen un entramado complejo que requiere del conocimiento de los atributos esenciales que les son inherentes. Estos atributos, como son la disposición que presentan en el espacio, las fluctuaciones poblacionales en el tiempo y su relación con las variables meteorológicas, entre otras, son herramientas que permiten establecer medidas precisas para la elaboración de programas de control y manejo (Sharov, 1996; Sánchez *et al.* 2016). Las metodologías mediante las que se determina implica la utilización de índices o mediante la geoestadística. Ésta es una técnica que se basa en la teoría de las variables regionalizadas donde se mide la dependencia espacial entre mediciones tomadas a diferentes

distancias, utiliza al semivariograma para calcular la dependencia espacial de una variable comparando las varianzas entre las mediciones separadas por una distancia específica (Sánchez *et al.* 2016).

Por lo anterior, la geoestadística se perfila como una opción que coadyuva al conocimiento del comportamiento de las plagas presentes en los cultivos y a las estrategias de control que pudieran llevarse a cabo. Dentro de las ventajas que presenta la aplicación de estas técnicas, Ramírez *et al.* (2005) mencionan que la geoestadística caracteriza la distribución espacial en un espectro de escalas y direcciones múltiples, además de ser independientes de la relación entre la media y la varianza, adicionalmente proporciona una medida más directa de la dependencia espacial, ya que tienen en cuenta la naturaleza bidimensional de la distribución de los organismos a través de su exacta localización espacial (Blom y Fleisher, 2001)(Bloom 2002) y permite elaborar mapas de gran utilidad sobre la distribución espacial de un organismo (Oliver y Webster, 1991). Adicionalmente permite establecer preferencias en la estructura en la que se agregan y los niveles de infestación (Rossi *et al.* 1992).

Los escolítidos pertenecen al orden Coleoptera y pueden dividirse en dos grandes grupos: los escarabajos descortezadores que se alimentan de ciertos tejidos de la planta o del floema directamente y los escarabajos ambrosiales que se caracterizan principalmente por entablar una relación simbiótica con algunos hongos y construyen sus galerías en el xilema de la planta (Hulcr *et al.* 2007). Algunas especies han llegado a ser considerados organismos plaga dentro de los sistemas de producción debido a los daños que causan.

Araptus schwarzi es un barrenador asociado al cultivo de aguacate estableciéndose preferentemente en semillas de frutos caídos y ha sido reportado en los estados de Nayarit, Michoacán, Coahuila, Guanajuato, Hidalgo, Querétaro, Tabasco y Estado de México. Hasta el momento se conocen los

hábitos alimenticios de esta especie, pero se desconoce su distribución espacial dentro de los huertos de producción y dada la importancia económica y fitosanitaria que ha tomado el cultivo en los últimos años en el Estado, el presente trabajo pretende ilustrar mediante mapas de distribución el comportamiento del insecto dentro de las plantaciones de aguacate en el municipio de Villa Guerrero en el Estado de México.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el municipio Villa Guerrero en el Estado de México, este municipio se ubica entre las coordenadas 18° 48' 58" latitud norte y 99° 36' 28" longitud oeste, presenta altitudes entre 1600 y 3760 msnm con una temperatura que oscila entre los 4°C y 31°C con una precipitación media anual de 1242.53 mm.

El área de estudio consistió en doscientos árboles distribuidos y marcados a lo largo y ancho del municipio evaluado usando el método de cuadrantes. Los árboles muestreados tenían 10 años de edad. Se efectuaron conteos quincenales de los estadios móviles del escolitino, para ello se utilizó un cuadro de alambazón de 50x50cm que fue lanzado al azar bajo la copa del árbol cuatro veces (una por punto cardinal). Cada árbol fue georreferenciado con un navegador GARMIN modelo eTrex Vista HCx2007. Para hacer las observaciones se usó una lupa de aumento de 20X, los muestreos se realizaron a partir del 1 de enero al 19 de diciembre de 2018.

Una vez obtenidos los datos en campo, se realizó la estimación de los semivariogramas experimentales con los datos recopilados, el semivariograma se calculó mediante la siguiente fórmula: (Journel y Huijbregts, 1978; Isaaks y Srivastava, 1989.).

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

Dónde: $\gamma^*(h)$ es el valor experimental del semivariograma para el intervalo de distancia h ; $N(h)$ es el número de pares de puntos muestrales separados por el intervalo de distancia h ; $z(x_i)$ es el valor de la variable de interés en el punto muestreo x_i , y $z(x_i+h)$ es el valor de la variable de interés en el punto muestral x_i+h . Cualquier función matemática se puede utilizar para un modelo de semivariograma siempre que sea positiva y definida (Armstrong y Jabin, 1981). Para la realización del semivariograma experimental correspondiente a cada muestreo se empleó el programa Variowin 2.2 (Software para el análisis de datos espaciales en 2D. Primavera Verlag, New York; EE. UU).

Los modelos teóricos comúnmente usados para ajustar los semivariogramas experimentales son: el esférico, el exponencial, el gaussiano, el logarítmico, el de efecto pepita puro, el de efecto agujero y el monómico según Samper y Carrera, (1996), Trematerra y Sciarretta, (2002). Los parámetros del modelo a validar (C_0 , efecto pepita, C , meseta y a , rango o alcance) se van modificando hasta la obtención de estadísticos de validación cruzada adecuados.

Los valores de la validación cruzada son:

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

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

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

Se calculó el nivel de dependencia espacial con el fin de determinar la fortaleza de la relación entre los datos del muestreo. Este valor se obtiene al dividir el efecto de pepita entre el borde inferior, expresado en porcentaje: menos 25% se considera alto, entre 26 y 75% moderado y superior al 76% se considera bajo (Cambardella *et al.* 1994; López *et al.* 2002).

Se elaboraron los mapas mediante la interpolación de valores a través del krigado ordinario que permite la estimación no sesgada de valores asociados a puntos que no fueron muestreados todo esto con base a 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 municipio, mediante el uso del programa Surfer 10 (Surface Mapping System, Golden Software Inc. 809, 14th Street. Golden, Colorado 80401-1866. USA, 2011).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La presencia del insecto se ajustó a modelos esféricos principalmente, a excepción de los muestreos 3, 12, 17 y 22 que se apegaron a un modelo gaussiano. El ajuste al modelo esférico implica que, dentro de los huertos, existen centros de agregación desde donde se diseminan los insectos hacia otros puntos, mientras que el modelo gaussiano indica que la plaga se expresa de manera continua dentro de los huertos de aguacate en Villa Guerrero. El modelo esférico es el que mejor explica el comportamiento de los insectos debido a que estos se distribuyen de manera errática en cortas distancias (Moral, 2004). Esta situación ha sido corroborada en el comportamiento de otros insectos como trips en el cultivo de aguacate (Maldonado *et al.* 2017), *Bactericera cockerelli* en plantaciones de tomate de cáscara (Rivera *et al.* 2018 y *Ceratitís capitata* en el cultivo de *Cofea arabica* L., *Manguifera indica* L., *Citrus reticulata* y *Citrus sinensis* (Epsky *et al.* 2010).

En todos los muestreos encontramos un valor 0 del efecto pepita, este valor indica la incertidumbre asociada a los datos experimentales, dicho de otro modo, a menor valor en el efecto pepita menor será el error de muestreo, es decir la escala de muestreo usada en el presente trabajo fue la correcta y el 100% de la variación fue explicada por el semivariograma al que se ajustó la presencia del escoltído. Otros trabajos que muestran situaciones similares son los realizados por Esquivel y Jasso (2014) quienes encontraron un efecto pepita muy cercano a cero en el estudio sobre el comportamiento de *Mythimna unipuncta* en el cultivo de maíz en seis municipios del Estado de México, donde la presencia del insecto se ajustó a modelos esféricos principalmente con una dependencia espacial alta y una

superficie infestada del 94% al igual que el trabajo realizado por Quiñones *et al.* (2015) donde señalan un valor cero en el efecto pepita en el comportamiento espacial de trips en gladiolo ajustándose a modelos esféricos, gaussianos y exponenciales. Se calculó el nivel de dependencia espacial, el cual resultó alto para los 24 muestreos realizados, situación que sugiere que el nivel de agregación de *A. schwarzi* es alto y que sus poblaciones dependen entre sí al igual que las investigaciones de Ramírez *et al.* (2018), Jiménez *et al.* (2014) y Maldonado *et al.* (2017). Los valores del rango o alcance muestran la distancia hasta la que existe relación o dependencia espacial entre los datos muestreados, es decir una vez superada la distancia marcada por el rango, la dependencia espacial es nula. En el caso del escolítido, los rangos oscilaron entre 15.57 y 24.37 m. según la fecha de muestreo, esta información coincide con lo reportado por Kirkendall *et al.* (2015) quienes reportan que los hábitos de dispersión de los escolítidos no superan los 100 m a partir del árbol de donde emergen para encontrar un hospedero donde ovipositar.

Los modelos a los que se ajustó la presencia de *A. schwartzii* se lograron validar mediante el proceso de validación cruzada al encontrarse dentro de los rangos permisibles (Acosta *et al.* 2017; Lara *et al.* 2018).

La representación gráfica se llevó a cabo mediante mapas de distribución (Figura 1) que permitieron visualizar la preferencia del insecto por la parte izquierda inferior de los mapas que corresponde a la parte noroeste del municipio, a excepción de los muestreos 4, 6, 15, 20 y 23 que muestran una predilección por la parte sureste, esto debido a que en esa área existen más plantaciones de aguacate y por ende se encuentra más alimento disponible. El muestreo por cuadrantes, los mapas de distribución del escolítido mostraron que las poblaciones de *A. schwarzi* se distribuyen en centros de agregación o lo que es lo mismo, se localizan en puntos específicos de las parcelas de aguacate

siendo el krigeado una herramienta útil para ilustrar la presencia de problemas fitosanitarios de los cultivos.

Las fechas en las que se encontró la mayor cantidad de escolitinos corresponden a los muestreos realizados en la segunda quincena de mayo (20 insectos) y la primera quincena de junio con hasta 21 insectos. Las poblaciones se vieron reducidas durante noviembre y diciembre por la reducción de temperaturas propia del invierno. La superficie infestada mínima (56%) se encontró en el muestreo 12, que corresponde a la segunda quincena de junio, mientras que en el primer muestreo de febrero pudimos encontrar a este insecto en el 98% de la superficie muestreada, cabe mencionar que el escolítido se encontró durante los doce muestreos en las plantaciones del municipio.

Ejemplos de la aplicación de la geoestadística a especies fitófagas encontramos los realizados por Ramírez *et al.* (2002) para conocer el comportamiento espacial de huevos de *Jacobiasca lybica* en viñedos de España donde se encontró un comportamiento agregado y una estabilidad espacial en sitios específicos; por su parte, Moral (2004) encontró que *Helicoverpa armígera* Hb presenta un comportamiento agregado en el cultivo de jitomate y señala que con las condiciones medioambientales idóneas, el insecto podría infestar la totalidad de la plantación, por lo que los mapas de distribución son muy importantes para una correcta planeación del control que se aplicará. Otro ejemplo donde se demuestra la efectividad de los métodos geoestadísticos fue la distribución de *Cydia pomponella* y *Pandemis heparana* en manzano y peral realizado por Ribes *et al.* (1998).

Otros métodos para conocer la distribución espacial de insectos son el índice de Morissita, índice de Green, índice de Iwao, la ley de potencia de Taylor, el modelo matemático de Binomial Negativa, entre otros. Murúa *et al.* (2009) abordó la distribución espacial y temporal de *Spodoptera frugiperda* en Argentina de 2004 a 2006 en plantaciones de maíz y otras especies que albergan a este insecto, pero al no hacer uso de la geoestadística, no se puede evaluar la dependencia espacial ni el nivel de

agregación que tiene la plaga, adicionalmente, no se puede ilustrar mediante mapas su distribución, lo que impide realizar un plan de manejo con medidas dirigidas a puntos específicos de las parcelas evaluadas, esta situación se replica en los trabajos realizados por Vivas y Notz, (2011) y De Souza Silva *et al.* (2016). En estos trabajos conocemos que existe agregación de las plagas evaluadas, pero no se lleva a cabo la ilustración de su ubicación precisa para planes de manejo posteriores a los muestreos lo que coloca en desventaja estos métodos frente a la geoestadística.

El uso de la geoestadística permitió modelar el comportamiento de *A. schwartzi* e ilustrarlo mediante mapas de agregación, se recomienda realizar un análisis de estabilidad espacial y temporal para verificar si las poblaciones se mantienen a través del tiempo en los huertos de producción y así realizar un plan de manejo para el insecto, de tal manera que se apliquen técnicas de control que no afecten el ambiente y reduzcan las poblaciones considerablemente. Para evitar la proliferación de este insecto en las zonas productoras de aguacate se recomienda evitar la presencia de frutos caídos, ya que estos sirven de alimento y refugio a los individuos de esta especie.

LITERATURA CITADA

- Acosta AD, Ramírez JF, Rivera R, Figueroa DK, Lara AV, Maldonado FI y Tapia A (2017) Distribución Espacial de Trips spp. (Thysanoptera) y Evaluación de su Control Mediante el Depredador *Amblyseius Swirskii* en el Cultivo de Aguacate en México. *Southwester Entomologist*. 42(2): 435-446. doi:10.3958/059.042.0214
- Armstrong M y Jabin R (1981) Variogram models must be positive-definite. *Mathematical Geology*. 13(5): 455-459.
- Blom E y Fleisher S (2001) Dynamics in the spatial structure of *Leptinotarsa decemlineata* (Coleoptera: Chrysomelidae). *Environ. Entomology*. 30(2): 350- 364.

- Cambardella C, Moorman T, Novak J, y Parkin T (1994). Field scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil Science Society of America Journal*. 58(5):1501-1511.
- De Souza Silva A, Mota TA, Piñeyro NG, Fernandes MG., y Pereira FF (2016). Distribución espacial de *Vatiga* spp. (Hemiptera: Tingidae) en el cultivo de yuca. *Acta Biológica Colombiana*. 21(1): 195-200. Obtenido de <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/actabiol>
- Epsky ND, Espinoza HR, Kendra PE, Abernathy R, Midgarden D y Heath R (2010) Effective Sampling Range of a Synthetic Protein-Based Attractant for *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae). *Journal of Economic Entomology*. 103(5): 1886-1895. Doi:10.1603/ec09286
- Esquivel-Higuera V, y Jasso-García Y (2014) Distribución espacial y mapeo de 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. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_artte
- Hevesi J, Istok J, y Flint AL (1992) Precipitation estimation in mountainous terrain using multivariate geostatistics, Part I, Structural analysis. *Journal Applied Meteorology*. 31(7): 661–676.
- Isaaks E H, y Srivastava R M (1989.) *An Introduction to Applied Geostatistics* 1 Edition. Oxford University. Press New York, United States of America. 561p.
- Jiménez-Carrillo R A, Ramírez-Dávila JF, Sánchez- Pale JR, Salgado-Sinclán ML, y Laguna-Cerda 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. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/3828/382837657003.pdf>

Journal AJ, y Huijbregts CJ (1978) Mining Geostatistics. 2nd Edition. Academic Press Londres. Reino Unido: 600.

Kirkendall LR, Biedermann HW, y Jordal BH (2015) Evolution and diversity of bark and ambrosia beetles. In Bark Beetles. Academic Press. Págs 85-156. Doi: 10.1016 / B978-0-12-417156-5.00003-4

Lara-Vázquez F, Ramírez-Dávila JF, Rubí-Arriaga M, Morales-Rosales EJ, Figueroa-Figueroa DK, Acosta-Guadarrama AD, y Rivera-Martínez R. (2018). Distribución espacial de Araña Roja *Oligonychus punicae* Hirst, en el Cultivo de Aguacate, en dos municipios del Estado de México. *Southwestern Entomologist*. 43(3): 743-759. Doi:10.3958/059.043.0320

López GF, Jurado EM, Atenciano S, García FA, Sánchez M, y García TL (2002) Spatial variability of agricultural soil parameters in southern Spain. *Plant and Soil*. 246 (1): 97-105.

Maldonado FI, Lara AV, Ramírez JF, Acosta AD, Rivera R, y Tapia A. (2017) Mapeo de la distribución espacial de trips (Insecta: Thysanoptera) en parcelas comerciales de aguacate Var. Hass en Coatepec Harinas, Estado de México. *Revista Ecosistemas*. 26(2): 52-60. Doi:10.7818/re.2014.26-2.00.

Maldonado FI, Ramírez JF, Rubí M, Antonio X, Lara AV, Acosta AD, Ávila AL (2017) Modelización espacial de *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) en aguacate. *Revista Phytton*. (86): 97-111. Obtenido de <http://www.revistaphyton.fundromuloraggio.org.ar/vol86/Maldonado.pdf>.

Moral G. (2004). Aplicación de la geoestadística en las ciencias ambientales. *Ecosistemas*. 13 (1): 78-86.

- Murúa GM, Molina-Ochoa J, y Fidalgo P (2009) Natural distribution of parasitoids of larvae of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*, in Argentina. *Journal of Insect Science*. 9(20): 1–17. Doi:<https://doi.org/10.1673/031.009.2001>.
- Oliver MA y Webster R (1991) How geostatistics can help you. *Soil use and Management*. 7(4):206-217.
- Quiñones-Valdez R, Sánchez-Pale JR., Pedraza-Esquivel AK, Castañeda-Vildozola A, Gutierrez-Ibañez A. T y Ramírez-Dávila JF (2015) Análisis espacial de Thrips spp. (Thysanoptera) en el cultivo de gladiolo en la región sureste del estado de México, México. *Southwest Entomologist*. 40(2): 397–408. doi:<https://doi.org/10.3958/059.040.0213>
- Ramírez-Dávila JF, González-Andújar JL, López-Martínez AM, Ocete R, y Ramírez (2005) Modelización y mapeo de la distribución espacial de las ninfas del mosquito verde *Jacobiasca lybica* (Bergevin & Zanon) (Hemiptera, Cicadellidae) en viñedo. *Boletín Sanidad Vegetal de Plagas*. 31: 119-132.
- Ramírez-Dávila J F, González-Andújar JL, Ocete R, y Martínez LM (2002) Descripción geoestadística de la distribución espacial de los huevos del mosquito verde *Jacobiasca lybica* (Bergevin y Zanon) (Hemiptera: Cicadellidae) en viñedo: modelización y mapeo *Boletín Sanidad Vegetal de Plagas*. 28: 87-95.
- Ramírez-Dávila JF, Martínez-Rivera, R, Acosta-Guadarrama AD, Maldonado-Zamora FI, Lara-Díaz AV, y Figueroa-Figueroa DK (2018) Estudio de la distribución espacial de *Scirtothrips* sp.(INSECTA: THYSANOPTERA) y su control mediante el depredador *Orius insidiosus* SAY. en el cultivo de aguacate en México. *Interciencia*. 43(7): 526-533. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33957461011>

- Ribes Dasi M, Bascuñana Casasús M, y Avilla H (1998) Estudio de la distribución espacial de *Cydia pomonella* (L.) y *Pandemis heparana* (Denis & Schiffermüller) en Torregrossa (Lleida) mediante métodos geoestadísticos. *Boletín de sanidad vegetal.Plagas*. 24(4): 935-948.
- Rivera-Martínez R, Ramírez-Dávila JF, y Acosta-Guadarrama AD (2018) Distribución espacial de las poblaciones de huevos de *Bactericera cockerelli* Sulc. en el cultivo de tomate de cáscara a (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Acta Universitaria*. 28(5): 24-33. Doi: 10.15174/au.2018.1944
- Rossi RE, Mulla DJ, Journel AJ, y Franz EH (1992) Geostatistical tools for modeling and interpreting ecological spatial dependence. *Ecological monographs*. 62(2): 277-314.
- Ruesink WA (1982) The quantitative basis of pest management: sampling and measuring. *Introduction to pest management*. 315-352.
- Samper FJ y Carrera J (1996) *Geoestadística: Aplicaciones a la Hidrología subterránea (2ª Ed)*. Centro Internacional de Métodos en Ingeniería. Barcelona, España. 484p.
- Sánchez A, Miranda I, Quiñones M, Piñol B y Fernández M (2016) Saltahojas (Typhlocybinae) y su relación con los síntomas de enfermedades en un campo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista Protección Vegetal*. 31(3):153-158.
- Sharov A (1996) *Quantitative population ecology*. Virginia Tech, Blacksburg, VA. : Department on Entomology. Disponible en: <http://www.ento.vt.edu/~sharov/PopEcol/popecol.html>
- Southwood TRE (1995) *Ecological Methods*. Whith particular reference to the study of insects population. 2nd Edition. USA: Chapman & Hall. 224 p. DOI: 10.1007 / 978-94-009-1225-0
- Trematerra P y Sciarretta A (2002) Phenology andspatial analysis of some Coleoptera infesting a feed mill. 8th ed. Int. Working Conf. Stored-Product Protection, York. 276-280.

Vivas LE y Notz A (2011) Distribución espacial en poblaciones de *Oebalus insularis* Stal (Hemiptera:Pentatomidae) en el cultivo de arroz en Calabozo, estado Guárico, Venezuela. Revista Científica UDO Agrícola. 11(1):109-125.

No. Muestreo	Modelo	Rango	Meseta	Pepita/Meseta	Nivel de dependencia espacial	% Superficie infestada
1	Esférico	24.37	1.41	0	Alta	84
2	Esférico	19.24	1.25	0	Alta	61
3	Gaussiano	16.28	3.29	0	Alta	98
4	Esférico	20.35	3.71	0	Alta	87
5	Esférico	22.78	7.13	0	Alta	68
6	Esférico	19.32	7.42	0	Alta	78
7	Esférico	21.23	10.70	0	Alta	66
8	Esférico	22.16	10.80	0	Alta	96
9	Esférico	19.99	25.82	0	Alta	90
10	Esférico	19.5	25.07	0	Alta	98
11	Esférico	24.17	25.94	0	Alta	97
12	Gaussiano	19.01	26.49	0	Alta	56
13	Esférico	22.06	22.82	0	Alta	93
14	Esférico	22.2	22.86	0	Alta	90
15	Esférico	20.46	24.20	0	Alta	79
16	Esférico	23.60	24.78	0	Alta	88
17	Gaussiano	19.89	24.18	0	Alta	96
18	Esférico	23.81	25.38	0	Alta	81
19	Esférico	20.77	9.98	0	Alta	90
20	Esférico	24.12	9.62	0	Alta	87
21	Esférico	21.69	3.60	0	Alta	82
22	Gaussiano	21.69	3.33	0	Alta	78
23	Esférico	15.57	1.30	0	Alta	81
24	Esférico	22.35	1.56	0	Alta	96

Tabla 1. Parámetros (Efecto Pepita, Meseta y Alcance) de los modelos ajustados a los semivariogramas *A. schwartzi* en las huertas muestreadas en Villa Guerrero Estado de México 2018.

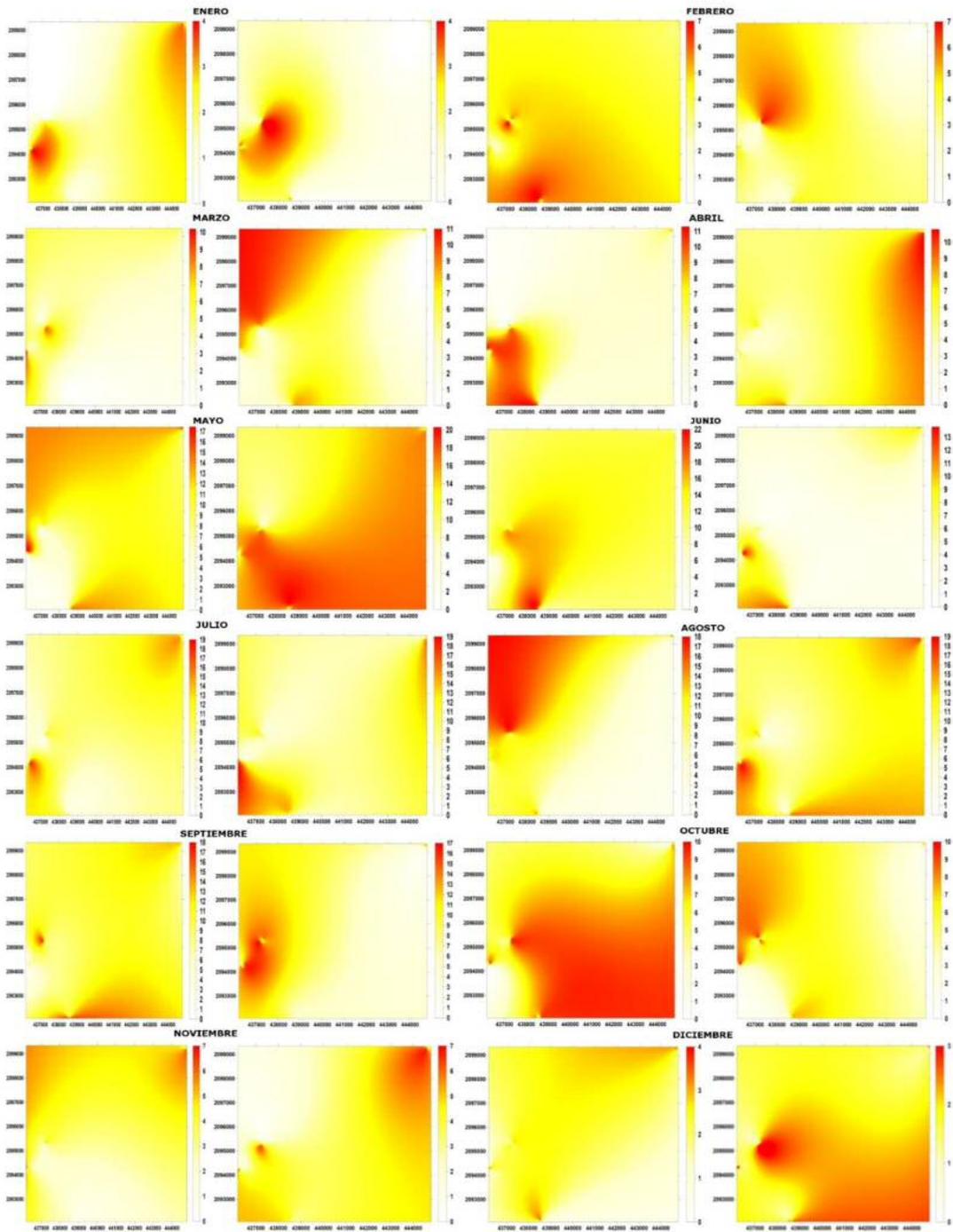


Figura 1. Mapas de densidad de los muestreos de *A. schwarzi* de Villa Guerrero Estado de México año 2018.

VIII. DISCUSIÓN GENERAL

Los primeros estudios sobre ecología poblacional de insectos plaga complementan el análisis de variación temporal de sus poblaciones como base para tomar medidas de manejo (Liebhold, Rossi, y Kemp, 1993; Emmen, 2004), por ello es importante conocer la estructura espacial de los organismos plaga para su correcto control permitiendo optimizar los recursos usados en el manejo ya que las medidas de control se pueden dirigir hacia las zonas específicas de infestación tal como lo señalan Blom, Fleischer, y Smilowitz (2002) con lo anterior se puede reducir el número de insecticidas, retrasar el desarrollo de resistencia y promover la conservación de enemigos naturales (Midgarden, Fleischer, Weisz, y Smilowit, 1997).

La geoestadística fue desarrollada originalmente para aplicaciones geológicas, pero estas técnicas se han convertido en las metodologías más usadas por su compatibilidad con los sistemas de información geográfica y su versatilidad para analizar grandes volúmenes de datos (Liebhold, Rossi, y Kemp, 1993). Los modelos donde se utiliza la geoestadística proporcionan mayor información de la dependencia espacial, ya que este tipo de métodos tienen en cuenta la distribución de los organismos a través de su exacta localización espacial (Samper y Carrera, 1996).

8.1 *Oligonychus perseae* (Tuttle, Baker y Abbatiello)

Los métodos geoestadísticos usados en este trabajo de investigación permitieron determinar la distribución espacial de *O. Perseae* bajo una estructura espacial agregada para los 24 muestreos, resultados similares fueron observados por (Silva, Mota, Piñeyro, Fernandes, y Pereira, 2016) en el estudio de la población de *Vagita* spp, reportando comportamientos en agregados de esta plaga en el cultivo de yuca.

Las técnicas geoestadísticas poco a poco se van integrando al control de plagas, lo que permite tener mejor conocimiento acerca de los hábitos de vida y de distribución de la plaga, gracias a la visualización por medio de mapas mediante la técnica de kriging ordinario, en donde se pudieron observar los modelos de dispersión para los cuatro municipios evaluados, con esta información se apoya a los planes de monitoreo de las arañas cristalinas en aguacate, implementando programas de vigilancia y control, este mismo método de interpolación fue usado en el trabajo de Distribución espacial de las poblaciones de huevos de *Bactericera cockerelli* Sulc. en el cultivo de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) realizado por Rivera, Ramírez, y Acosta (2018).

Durante el desarrollo del presente trabajo se observó que en algunos de los muestreos correspondientes al primer semestre, las poblaciones de *O. perseae* reportan altos niveles en los cuatro municipios, siendo el más afectado el municipio de Tenancingo mientras que los muestreos correspondientes al segundo semestre permanecen más libres de ácaros, como lo muestran los mapas de infestación, esto nos permite sugerir las medidas de control focalizadas hacia los puntos donde se localiza la mayor agregación de este ácaro dentro del cultivo de aguacate, concordando con los trabajos realizados por Rong, Dian-Mo, Bao-Yo, Zhe, y Dong-Li (2006) quienes en su trabajo *Locusta migratoria manilensis* (Meyen) indican que el manejo de esta especie debe de ser hacia puntos específicos de agregación; Kroschel, Alcazar, y Poma (2009) por su parte, mencionan que el conocimiento de la disposición espacial del insecto y del patrón de colonización del cultivo, ofrece ventajas de índole práctica para el manejo de plagas. Comportamientos similares a los detectados para las poblaciones de *O. perseae* han sido documentadas para otras especies de insectos plaga, tal es el caso de Solares, Ramírez, y Sánchez (2012) en su estudio con trips en el cultivo de aguacate en el estado de México, y los reportados por Ramírez y Porcayo (2008) en el trabajo

de distribución de ninfas de *Jacobiasca lybica* en viñedos de Andalucía, España. Es posible apreciar la densidad de ácaros y sus diversos centros de agregación por medio de los mapas temáticos generados, lo que permite al productor direccionar medidas de control certeras bajo diversos métodos de control, generando beneficios económicos al realizar con menor frecuencia las aplicaciones de plaguicidas, y tal como lo señalan Fleischer, Blom, y Weisz (1999) menor uso de combustibles, menor impacto al medio ambiente, retardar el desarrollo de resistencia al no tratar toda la superficie de cultivo.

Respecto al semivariograma experimental para el estudio de las poblaciones de araña cristalina en los cuatro municipios evaluados, la mayoría de los semivariogramas se ajustaron al modelo teórico de tipo esférico, este modelo biológicamente sugiere que las poblaciones de arañas cristalinas se presentan en ciertas zonas o áreas de estudio respecto del resto de los puntos considerados en el muestreo, es decir, los centros de agregación del muestreo presentan una distribución irregular y no en zonas específicas dentro de las huertas de aguacate muestreadas para este estudio. Otro modelo al que se ajustaron la minoría de los semivariogramas es el modelo exponencial, este modelo indica que las poblaciones de arañas cristalinas presentan una distribución en zonas específicas de las huertas de aguacate.

El valor hayado en el efecto pepita fue cero o cercanos a cero en todos los casos, lo que permite aseverar que la escala de muestreo utilizada fue la adecuada y además que el error de muestreo es mínimo tal como lo señalan (Oliver y Webster, 1998) con lo cual se afirma que los modelos ajustados tienen un 98% de confiabilidad, mismos resultados fueron encontrados por Maldonado, Ramírez, Rubí, Antonio y Lara (2016.) en su investigación acerca de la distribución espacial de trips en aguacate donde reportan valores de cero en los modelos ajustados.

La disponibilidad de las arañas cristalinas dentro de las parcelas de estudio de aguacate en los cuatro municipios evaluados, se debe a diversos factores de tipo ambiental y su comportamiento individual es determinado por la población, situación que se corrobora en el comportamiento de otros ácaros como *Oligonychus punicae* (Lara, et al., 2019).

En las parcelas de aguacate en el Estado de México, es muy recurrente el uso indiscriminado de plaguicidas, por ello los productores requieren de otras formas de control

y además de técnicas de monitoreo y control confiables para las arañas cristalinas que les permitan mayor precisión espacial de focos de alta densidad de las plaga, con estas técnicas geoestadísticas, podemos obtener controles bien dirigidos hacia centros de infestación de mayor frecuencia optimizando el uso de plaguicidas químicos, y tal como lo menciona Hoddle *et al.*, (1999); para el control químico del ácaro del aguacate se recomienda usar plaguicidas que tengan el mínimo impacto posible sobre los enemigos naturales, dejando algunas plantas como refugio de cualquier aplicación. Aunado a ello, son importantes la aplicación de controles culturales y biológicos con los que se pueda llevar a cabo un manejo integrado de la plaga, ejemplo de ello es el uso de ácaros depredadores pertenecientes a la familia *Phytoseiidae*. Estudios realizados por Kerguelen y Hoddle (1999) demostraron que *Neoseiulus californicus* (McGregor) y *Galendromus helveolus* son las especies con mayor eficiencia en reducir las poblaciones de este ácaro en plantaciones de aguacate en California, estos depredadores controlan mejor la plaga cuando se encuentra en bajas densidades. También se puede optar por contar con fauna endémica auxiliar en el control de *O. perseae*, pero para ello se requiere eliminar o bajar las aplicaciones de agroquímicos que afecten las poblaciones de este y otros ácaros, ya que en trabajos previos como los realizados por Rodríguez (2015) menciona que las aplicaciones químicas mal manejadas y en exceso pueden llegar a generar resistencia a piretroides y organofosforados. Sin embargo, según lo reportado por Ramos *et al.*, (2015), *O. perseae* no ha mostrado resistencia según el estudio de susceptibilidad a acaricidas que realizó en huertos de aguacate en Nayarit, México; para evitar factores adversos se sugiere hacer uso de los mapas obtenidos por medio del krigado ordinario, los cuales nos ayudan a observar las áreas de mayor o menor incidencia de los ácaros teniendo un control más preciso.

El control biológico puede ser utilizado como una alternativa en los meses de febrero, marzo, abril, mayo, septiembre, octubre y noviembre donde las poblaciones de arañas se presentan de manera regular. Calvache (1991) señala que con la aplicación de tratamientos preferenciales en las zonas periféricas del campo, se podría impedir que los insectos colonicen y avancen hacia el interior del cultivo.

La presencia de un alto nivel de dependencia espacial se debió a el resultado de dividir el valor del efecto pepita entre el valor de la meseta del semivariograma, dicho valor fue menor

del 25% para todos los semivariogramas analizados, la alta dependencia espacial permite suponer que las poblaciones de *O. perseae* dependen entre si y su nivel de agregación como también lo indican Rossi, Mulla, Journe, y Franz (1992), y cabe señalar que entre más fuerte sea la dependencia espacial es más posible que los centros de agregación se mantengan más fuertes y por lo tanto posiblemente el ácaro va a formar nichos ecológicos que sean estables a través del tiempo. Acosta *et al.* (2017) obtuvo también niveles de dependencia espacial alto en todos los muestreos realizados en trips en Coatepec Harinas en el Estado de México, lo que corrobora que en organismos plaga es muy común encontrar dependencia entre los datos recolectados en campo.

8.2 *Araptus Schwarzii* (Blackman)

La integración de los modelos geoestadísticos en el estudio de *A. schwarzi*, brinda una herramienta importante para el conocimiento y contribución de los atributos ecológicos, el entendimiento de la dinámica poblacional y su relación con el ambiente además de conocer la distribución geográfica de *A. schwarzi*; este estudio proporciona la primera evidencia para la caracterización y desarrollo de la distribución espacial de esta especie dentro del cultivo de aguacate en el Estado de México.

A. schwarzi es una especie poco estudiada y que hoy no representa mayor peligro, pero con el estudio de su comportamiento podemos empezar a generar los parámetros para el desarrollo de planes de muestreo en campo y contribuir a los planes de manejo integrado de plagas para conocer la distribución espacial de insectos benéficos y perjudiciales dentro de las huertas de aguacate, Vílchez, (2000) resalta la importancia de hacer uso de las nuevas tecnologías y programas de manejo integrado, por medio de programas computacionales especializados para conocer el comportamiento de las especies plaga.

El uso de interpoladores posibilita analizar la distribución y variaciones de las observaciones basadas en el análisis de dependencia espacial entre valores de una variable medidos en sectores vecinos con el fin de generar estimaciones en otras posiciones dentro de la región estudiada (Pose, González y Armesto, 2001; Córdoba, Balzarini Bruno y Costa, 2012).

El desarrollo de Sistemas de Información Geográfica (SIG) ha impulsado el análisis de la distribución espacial aplicada a la ecología de los insectos (Moral-García, 2004), esto con el fin de conocer cómo interactúan las especies con su ambiente y proporcionar un medio simple y flexible del modelado de las relaciones existentes (Briggs, 2005; Jerrett, Arain, Kanaroglou, Beckerman, y Potoglou, 2005).

Los interpoladores espaciales utilizan una diversidad de métodos para la estimación; sin embargo, una de las más utilizadas es el Kriging desarrollado por Matheron y Krige, su principio básico radica en función de la estimación de observaciones que utiliza un modelo de variogramas para la predicción de sitios, con el fin de proveer el mejor estimado lineal imparcial en una distribución espacial (Peña, 2006; Stein, 2012; Pyrcz y Deutsch, 2014). En

este trabajo se pudo corroborar que el uso del krigado puede estimar las variables en los puntos no muestrales basándose en las muestras conocidas.

Los picos de abundancia encontrados para *A. schwarzi* parecen alternarse a lo largo del año de muestreo como se aprecia en los mapas generados por medio del krigado ordinario, en estos observamos que las poblaciones se presentaron en varios centros de agregación y que la mayor incidencia se da en el mes de mayo, junio y julio reduciendo las poblaciones en el mes de noviembre y diciembre para ambos municipios de estudio, esto es debido a la disponibilidad de recursos alimenticios y condiciones climáticas adecuadas llevándolo a tener los medios adecuados para su desarrollo y, tal como lo menciona Wolda (1988) la estacionalidad de los insectos es generalmente controlada por tres factores: disponibilidad de recursos, temperatura y precipitación. Legendre (1993) reconoce que es fundamental reconocer que en la naturaleza los organismos se encuentran formando agregaciones o gradientes en respuesta a características estructurales controladas por variables bióticas y abióticas que presentan los hábitats.

En el municipio de Tenancingo se observa que la mayor concentración de este barrenador se dio en las semillas desnudas, mientras que en Villa Guerrero el comportamiento fue más fuerte hacia frutos maduros caídos al suelo, estos comportamientos se dan por que en ocasiones los productores no tienen el cuidado de recoger los frutos del suelo dejándolos como materia orgánica, sin tomar en cuenta que estos organismos pueden estar creando grandes colonias. Régnière, Nealis y Porter, (2008) mencionan que los modelos de distribución de especies se basan en el concepto de que el requisito fundamental del insecto es completar su ciclo biológico dentro de un modelo de adaptación estacional adecuado, en el que existe una sincronía apropiada entre los recursos indispensables tales como plantas hospederas que proporcionan alimento y resguardo, y las correspondientes etapas de desarrollo. Mientras el escolítino mantenga las condiciones idóneas y siga teniendo alimento no reportará daños graves, pero tal como lo menciona Equihua *et al*; (2016) en su estudio de comportamiento de *Araptus schwarzi* en semillas de aguacate en Michoacán, se hace importante mencionar que este insecto se observó barrenando frutos verdes en laboratorio, una conducta que no es común en campo, lo que nos quiere decir que si no hubiese frutos caídos en campo existe la posibilidad de que ataque a los frutos verdes en los árboles.

Las poblaciones de escolítidos se ven mermadas por la precipitación, puesto que estos barrenadores son muy pequeños y son arrastrados por el agua; esto mismo sucede por ejemplo en las poblaciones de trips las cuales disminuyen ante la presencia de lluvias ya que el agua lava estos pequeños insectos de la planta (Turcios, 2013).

El patrón de distribución del escolítino resulto agregado en los 24 muestreos realizados, este mismo comportamiento también fue observado en el trabajo realizado por Paz y Arrieche (2017) en el piojito de la cebolla, *Thrips tabaci* (Thysanoptera: Thripidae) donde los patrones de distribución del insecto resultaron agregados, otro ejemplo es la investigación de Bautista, Cardona, y Soto (2013) donde encontraron que los insectos *Collaria scenica* y *Hortensia similis* se distribuyen de forma agregada mediante técnicas geoestadísticas.

Los parámetros geoestadísticos evaluados (modelo teórico, efecto pepita, meseta y rango) fueron estimados en función de los conceptos señalados por Journel y Huijbregts (1978). Los semivariogramas alcanzaron rangos que definieron distancias de dependencia espacial entre 24.37 m y 15.57 m para Villa Guerrero y de 46.66 m a 18.09 m para el caso de Tenancingo e indican que los focos de infestación inciden en las huertas inmediatamente circundantes, estos valores están influenciados por la disponibilidad de alimento y el manejo de las huertas algunas son manejadas como un cultivo de carácter primario o secundario, puesto que en estos municipios existen otros cultivos florícolas y hortícolas.

Los modelos que mejor explicaron el comportamiento de *A. schwarzi* fue el modelo esférico, este es el modelo que mejor explica el comportamiento de los insectos, ya que los insectos se distribuyen muy erráticamente en distancias muy cortas (Isaaks y Srivastava, 1989). Para constatar esto tenemos los análisis realizados por Piña, Casanovas, y Casas (2012) en su estudio de estimación espacial de *Alternaria Solani* Sor en el cultivo de tomate; de igual forma (Vergara, Orozco, Bustillo, y Chaves, 2001) demuestran que el análisis espacial para los semivariogramas fueron esféricos y gaussianos encontrando dependencia espacial del parasitismo presentado por *P. coffea* sobre adultos de *H. hampei*.

Para este análisis se hace difícil realizar comparaciones directas de regiones de densidad con otros estudios dado que no se tienen estudios profundos acerca del comportamiento del barrenador *A. schwarzi*, por lo que conocer con mayor detalle su comportamiento espacial en

huertos de aguacate resulta de importancia como lo consideran Schotzko y O' Keeffe, 1989; Liebhold *et al.* (1991) han realizado trabajos en entomología aplicada bajo métodos geoestadísticos para analizar la distribución espacial de insectos y la generación de mapas que ilustren su comportamiento.

Para ambas investigaciones se vuelve relévate el uso de estas técnicas ya que permite el manejo de estas y otras especies, conocer su ubicación geográfica y permiten conocer su patrón espacial. Adicionalmente, lo anterior puede ser usado en predicciones del comportamiento de las poblaciones que pueden ser monitoreadas en todo momento para hacer los controles necesarios de las plagas (Paz y Arrieche, 2017).

9.1 *Oligonychus perseae* (Tuttle, Baker y Abbatiello)

- I. La distribución espacial agregada de *Oligonychus perseae* en el cultivo de aguacate fue corroborada con los mapas realizados con el krigeado ordinario, esta representación permite indicar la dispersión de los ácaros a través de cada fecha de muestreo en los municipios evaluados, estos mapas indican las áreas con mayor y menor incidencia de ácaros durante el año de muestreo.
- II. El modelo que mejor explicó la distribución espacial de este ácaro fue el esférico, la distancia de los puntos de muestreo se ajustó a los valores de auto correlación que van desde los 9.8 m hasta 23 m, esto simplifica los planes de muestreo.
- III. La dependencia espacial en todos los casos fue alta, lo que indica que existe relación espacial entre los datos muestreados.
- IV. Las técnicas geoestadísticas permiten fortalecer los programas de manejo fitosanitario dentro de los cultivos de importancia económica como lo es el aguacate.
- V. Este tipo de estudios conllevan a importantes ahorros económicos a los productores, además de representar un menor impacto ambiental al disminuir los agroquímicos usados en contra de esta plaga.
- VI. Se recomienda la aplicación de control biológico con la liberación de fitoseidos y hongos entomopatógenos, además de continuar con el estudio de *O. perseae* bajo un análisis de SADIE y estudios de estabilidad espacio temporal para comprender mejor el comportamiento del ácaro y poder realizar planes de manejo específicos a cada parcela.
- VII. Mediante la aplicación de esta metodología se pueden mejorar las futuras investigaciones dirigidas con técnicas geoestadísticas.

9.2 *Araptus Schwarzzi* (Blackman)

- I. La distribución espacial de *A. schwarzi* responde a un patrón de agregado.
- II. Los modelos que mejor explicaron el comportamiento espacial de los escolítinos fueron el modelo esférico y exponencial, con efecto pepita igual a cero.
- III. Las evidencias de la presencia de *A. schwarzi* en semillas desnudas y frutos caídos del árbol se encontraron de manera generalizada en ambos municipios estudiados, pero los mayores daños y los focos de infestación activos se presentaron para el municipio de Tenancingo.
- IV. La distancia máxima de auto correlación llegó a ser de 18.96 m a 46.66 para Tenancingo y en Villa Guerrero 24.37 m a 15.57 m, con esto podemos conocer la distancia correcta para la colocación de trampas de muestreo y el número de observaciones por unidad productiva.
- V. Las representaciones graficas trabajadas bajo el krigeado ordinario nos permiten visualizar la dispersión de *A. schwarzi* en las huertas de aguacate en los municipios de Tenancingo y Villa Guerrero Estado de México, indicando las áreas de mayor concentración de la especie y donde deberían de realizarse métodos de vigilancia enfocados a la detección oportuna o predicción de incrementos anormales en el crecimiento de la población de escolítinos.
- VI. Con ayuda de los mapas se logró establecer el porcentaje de la superficie infestada, lo que es de utilidad para conocer los umbrales económicos de daño en caso de plagas que afecten directamente el cultivo de interés. Para *A. schwarzi* se localizaron áreas libres de la presencia del escolitino.
- VII. Se sugiere entonces la realización de un estudio de SADIE y espacio-temporal, con el fin de evaluar si hay cambios de los patrones a través del tiempo y cómo son estos cambios en el cultivo de aguacate en el Estado de México.
- VIII. El conocimiento de la distribución espacial de *A. schwarzi* en el cultivo de aguacate facilita la realización de planes de muestreo y manejo permitiendo el control regionalizado de este escolitino.

X. BIBLIOGRAFÍA

- Acosta J, D. ([1590]1985). *Historia natural y moral de las indias*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Acosta-Guadarrama, A., Ramírez-Dávila, J., Rivera-Martínez, R., Figueroa-Figueroa, D., Lara-Díaz, A., & Maldonado-Zamora, F. (2017). Distribución Espacial de *Trips* spp. (Thysanoptera) y Evaluación de su Control Mediante el Depredador *Amblyseius swirskii* en el Cultivo de Aguacate en México 42:.. *Southwestern Entomologist*, 42, 435-446.
- Alcazar, M. D., Aranda, G., Marquez, A. L., Sánchez, L., & Ruiz, C. (2005). *Oligonychus perseae* (Acari: Tetranychidae) una nueva plaga en el aguacate en el Sur de España. (pág. 213). Bragaza, Portugal: IV Congreso Nacional de Entomología Aplicada.
- Alfaro, M. (2007). Estimación de Recursos Mineros. Obtenido de http://cg.ensmp.fr/bibliotheque/public/ALFARO_Cours_00606.pdf
- Alfonso, J. (2008). *Manual técnico del cultivo del aguacate Hass (Persea americana L.)*. La Lima, Cortés, Honduras: Centro de Comunicación Agrícola de la Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA).
- Amórtegui-Ferro, I. (2001). *El cultivo de aguacate: Módulo educativo para el desarrollo Tecnológico de la comunidad rural*. Ibagué, CO: Corporación para la promoción del desarrollo rural y agroindustrial del Tolima.
- APEAM. (2019). Informe de Mercado (IDM) APEAM Asociación de Productores y Empacadores de Aguacate de México. México. Obtenido de <http://www.apeamac.com/>
- Aponte, O., y McMurtry J, A. (1997a). Biology, life table and mating behavior of *Oligonychus perseae* (Acari: Tetranychidae). *International Journal of Acarology*, 199-207.

- Aponte, O., y McMurtry J, A. (1997b). **Damage on ‘Hass’ avocado leaves, webbing and nesting behaviour of *Oligonychus perseae* (Acari: Tetranychidae).** *Experimental and Applied Acarology*, 21, 265–272.
- Armstrong, M. (1984). “Problem with Universal Kriging”.** *Mathematical Geology*, 16(1), 101–108.
- Atkinson T, H., y Equihua Martínez , A. (1986). Biology of bark and ambrosia beetles (Coleoptera: Scolytidae and Platypodidae) of a tropical rain forest in forest in southeastern Mexico with and annotated checklist of species. *Annals of the Entomological Society of America*, 79, 414–423.
- Atkinson, T. H. (2013). *Estado de conocimiento de la taxonomía de los escarabajos descortezadores y ambrosiales de México (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae).* XVI Simposio Nacional de Parasitología Forestal. Comisión Nacional Forestal .
- Aveling, T., y Rijkenberg, F. (1986). Infection of susceptible avocado by *Phytophthora cinnamomi*. *South African Avocado Growers Association Yearbook* , 9, 55–56.
- Badii , M. H., Guillen , A., Cerna , E., y Landeros, J. (2011). Dispersión Espacial: El Prerrequisito Esencial para el Muestreo. *Daena International Journal of Good Conscience*, 6(1), 40–71.
- Badii, M. H., y Abreu, J. L. (2006b). Control biológico una forma sustentable de control de plagas. *Daena International J. of Good Conscience*, 1 82–89.(1), 82–89.
- Badii, M. H., y Landeros, J. (2007). Invasión de especies o el tercer jinete de Apocalipsis ambiental. *Daena*, 2(1), 39–53.
- Baker E, W., y Tuttle D, M. (1994). *A guide to the spider mites (Tetranychidae) of the United States.* West Bloomfield, MI: Indira. Publishing House.
- Baldacchino, F., Sciarretta , A., y Addante , R. (21012). Evaluating the spatial distribution of *Dociostaurus maroccanus* egg pods using different sampling desigNS. *Bulletin of Insectology*, 65, 223–231.

- Barrientos A, F., y López López, L. (1999). *Historia Genética del Aguacate*. Fundación Salvador Sánchez Colín . Coatepec Harinas, México: CICTAMEX S.C.
- Barrientos-Priego, A. F., y López , L. L. (2000). *Historia y genética del aguacate*. In Téliz D. *el Aguacate y su manejo integrado*. México: Mundi-prensa.
- Bautista, L. G., Cardona, J. A., y Soto, A. (2013). Distribución espacial de *Collaria scenica* (Hemiptera: Miridae) y *Hortensia similis* (Hemiptera: Miridae) y *Hortensia similis* (Hemiptera: Cicadellidae) en Valles Andinos. *Boletín Científico Museo de Historia Natural*, 17, 75-84.
- Bautista, L. G., Cardona, J. A., y Soto, A. (2013). DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE *Collaria scenica* (HEMIPTERA:CICADELLIDAE) EN VALLES ANDINOS. *Boletín Científico. MUSEO DE HISTORIA NATURAL*, 17(2), 75-84.
- Benavente F, T. M. ([1542] 2003). *Historia de los indios de la Nueva España*. España: Dastin,S.L.
- Ben-David, T., Melamed, S., Gerson, U., y Morin, S. (2007). ITS2 sequences as barcodes for identifying and analyzing spider 2 L. Zappalà et al. Downloaded by [Colorado College] at 15:18 05 March 2015 mites (Acari: Tetranychidae). *Experimental and Applied Acarology*, 41, 169-181.
- Bender, G. S. (1993). A new mite problem in avocados. California Avocado Society. *Yearbook*, 73-77.
- Binns , M. R., y Nyrop., J. P. (1992). Sampling insect populations for the purpose of IPM decision making. Annual. *Review of Entomology*, 37, 427-53.
- Bliss, C. I., y Fisher, R. (1953). Fitting the negative binomial distribution to biological data and note on the efficient fitting of the negative binomial. *Biometrics*, 9, 176-200.
- Blom, P. E., Fleischer, S. J., y Smilowitz, Z. (2002). Spatial and Temporal Dynamics of Colorado Potato Beetle (Coleoptera:Chrysomelidae) in Fields with Perimeter and

Spatially Targeted Insecticides. *Entomological Society of America (Published by BioOne)*, 31, 149–159.

Briggs, D. (2005). The role of GIS: coping with space (and time) in air pollution exposure assessment. *Journal of Toxicology and Environmental Health*, 68, 1243–1261.

Brower, E., Zar, H., y Von Ende, N. (1990). *General Ecology: Field and laboratory methods*. 5th Edition (Ed.). Wm. C. Brown Publisher.

Burgos Solorio, A., y Equihua Martínez, A. (2007). Platypodidae y Scolytidae (Coleoptera) de Jalisco, México. *14(2)*, 59–82.

Burgos-Solorio, A., y Equihua Martínez, A. (2007). Platypodidae y Scolytidae (Coleoptera) de Jalisco, México. *Dugesiana*, 14, 59–82.

Cabezas, J., Hueso, C., y Cuevas, J. (2003). Identificación y descripción de los estados fenológicos-tipo del aguacate (*Persea americana* Mill.). (págs. 231–23). Málaga, España: Consejería de Agricultura y Pesca: en Proc V World Avocado Congress.

Cabezas, C., Hueso, J., y Cuevas, J. (2003). Identificación y descripción de los estados fenológicos del aguacate (*Persea americana* Mill.). *Proc. V World Avocado Congress* (págs. 231–23). Málaga, España: Consejería de Agricultura y Pesca.

Calvache, H. (1991). Efecto de barreras vegetales y químicas en el control del gusano blanco de la papa (*Premnotrypes vorax* Hustache). Asociación Latinoamericana de la papa (Alap). *Revista Latinoamericana de la Papa*, 4, 22–35.

Cambardella, C., Moorman, T., Novak, J., Parkin, T., Karlen, D., Turco, R., y KONOPKA, A. (1994). Field scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil Science Society of America Journal*, 58(5), 1501–1511.

Cárdenas, M. R. (1984a). *Plagas en aguacate*. Notas y Noticias Entomológicas Mayo–Junio 1984.

Castañeda, A. (2008). *Bioecología del barrenador grande de la semilla del aguacate *Heilipus lauri* Boheman (Coleoptera: Curculionidae) en la región central de México*.

Tesis de grado. Texcoco, México: Colegio de posgraduados. Instituto de fitosanidad. Entomología y acarología.

Castañeda-Vildozola, A., Valdez-Carrasco, J., Equihua-Martínez, A., González-Hernández, H., Romero-Nápoles, J., Solís-Aguilar, J. F., y Ramírez-Alarcón, S. (2007). Genitalia de tres especies de *Heilipus germar* (Coleóptera: Curculionidae) que dañan frutos de aguacate (*Persea americana* Mill) en México y Costa Rica. *Neotropical Entomology*, 36(6), 914-918.

Cerdas, A. M., Del M, M., Calderon, M., y Diaz C, M. E. (2006). *Manejo Pre y Pos cosecha de Aguacate (Persea americana)*. San José, Costa Rica: C.R.: MAG. Obtenido de Disponible en http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_ciencia/aguacate-2006.pdf

Chanderbali A, S., Albert V, E. T., Mashworth M, T., Clegg R, E., Litz D, E., y Solitis P, S. (2008). *Persea americana* (avocado): bringing ancient flower to fruit in the genomics era. *Bio.Essays*, 30, 386-396.

Chica-Olmo, M., y Delgado, J. (1992a). “Estimación geoestadística no lineal (KD)”. 2, págs. 83-487. España: Actas de las sesiones científicas: III Congreso Geológico de España, fases de elaboración.

Chica-Olmo, M., y Jiménez, R. (1992b). “Análisis de la continuidad espacial de datos hidrogeoquímicos: comparación de diferentes estimadores de la función variograma”. *Estudios Geológicos*, 48 (3-4), 145-153.

Chica-Olmo, M., y Delgado, J. (1992b). “Estimación no lineal de reservas recuperables: aplicación al estudio de un yacimiento de carbón”. 2, págs. 488-492. España: Actas de las sesiones científicas: III Congreso Geológico de España.

Chica-Olmo, M., y Jiménez, R. (1992a). “Influencia de valores extremos en la estructuración espacial de variables geoquímicas”. 2, págs. 503-508. España: Actas de las sesiones científicas: III Congreso Geológico de España.

Chilés, J., y Delfiner, P. (1999). *Geostatistics: Modeling spatial uncertainty*. Nueva York: John Wiley & Sons.

- Cigliano, M. M., y Torrusio, S. (2003). Sistemas de Información Geográfica y Teledetección en Entomología: Aplicación en tucuras y langostas (Orthoptera: Acridoidea). *Revista Sociedad Entomológica Argentina*, 62, 1-14.
- Cobo P, B. ([1653] 1964). *Historia de Nuevo Mundo*. España: Biblioteca de Autores Españoles.
- Condori, C. (2016). *tesis Análisis de extracción de aceite de palta (Persea americana) de la variedad fuerte por evaporación rápida de agua*. Juliaca-Puno.
- Córdoba, M., Balzarini, M., Bruno, C., y Costa, J. (2012). Análisis de componentes principales con datos georeferenciados: una aplicación para la agricultura de precisión. *Revista FCA UNCUYO*, 44(1), 27-39.
- Coria, A. V. (1993). *Principales Plagas del Aguacate en Michoacán*. INIFAP, SARH. Uruapan: CIPAC.
- Coria, V. M., Pescador, A., López, E., Lezama, R., Salgado, R., López, M. Muñoz, J. (2007). Proceedings VI World Avocado Congress (Actas VI Congreso Mundial del Aguacate) . *Autoecología del barrenador de ramas Copturus aguacatae Kissinger (Coleoptera: Curculionidae) del aguacate en Michoacán, México*. Viña Del Mar, Chile. 12-16 Nov. 2007. ISBN No 978-956-17-0413-8.
- Cosmagro. (2 de abril de 2018). <https://www.cosmagro.com/web/>.
- Cressie, N. (1989). “Geostatistics”. *The American Statistician*, 43(4), 611-623.**
- Crooker, A. (1985). *Embryonic and juvenil development. Spider mites* (Vol. 1A). Netherlands: Elsevier Science Publishing.
- Cuador Gil, J., Quintero, A., y Estévez, E. (2000). “**La simulación condicional en Geoestadística**”. *Revista Minería y Geología*, XVII (1), 47-50.
- Damián, N. A., Hernández, C. E., Sotelo, N. H., Villegas, T., Díaz, V. G., y Palemón, A. F. (2015). Dinámica poblacional del barrenador de ramas *Copturus aguacatae*

- Kissinger (Coleoptera: Curculionidae) en aguacate (*Persea americana* Mill) en la región centro y sierra de Guerrero. *Entomología Mexicana*, 2, 571–575.
- Dávila-Martínez , F. J., y Camacho-Orranz, E. (2012). Georreferenciación de documentos cartográficos para la gestión de Archivos y Cartotecas. (I. d. Nacional, Ed.) Santander, España. Obtenido de <https://www.ign.es/web/resources/docs/IGNCnig/CTC-Ibercarto-V-Georreferenciacion.pdf>
- Davis , P. M. (1994). Statistics for describing populations. En: Pedigo, P. L and G. D. Buntin. (H. o. Agriculture, Ed.) 683.
- De Luigi, V., Furlan, L., Palmieri, S., Vettorazzo M, Zanini , G., Edwards , C. R., y Burgio, G. (2011). Result of WCR monitoring plans and evaluation of an eradication programme using GIS and Indicator Kriging. *Journal of Applied Entomology*(135), 38–46.
- Díaz, M. (2002). *Geoestadística aplicada*. Obtenido de <http://es.scribd.com/doc/24737935/Geoestadistica-Aplicada>
- Duarte, F., Calvo, M. V., Borges , A., y Scatoni, I. B. (2015). Geostatistics applied to the estudy of the spatial distribution of insects its use in integrated pest management. *Revista Agronómica del Noreste Argentino*, 35(2), 9–20.
- Eisen, L., y Eisen, R. J. (2011). Using geographic information systems and decision support systems for the prediction, prevention, and control of vector-borne diseases. *Annual review of entomology*, 56, 41–61.
- Emery, X. (2004). *Apuntes de clase* . Universidad de Chile.
- Emmen, D. (2004). La agricultura de precisión una alternativa para optimizar los sistemas de producción. *Universidad Santa María La Antigua (Usma)*, 68–74.

- Englund, E., y Sparks, A. (1988). *GEO-EAS. Geostatistical Environmental Assessment Software. User's Guide. U.S. Environmental Protection Agency Doc. EPA/600/4-88/033*. Las Vegas, NV, EEUU.
- EPPO. (2014b). *Oligonychus perseae (Acari: Tetranychidae – Persea mite)*. Obtenido de EPPO European and Mediterranean Plant Protection Organization.: Available from: <https://www.eppo.int/QUARANTINE/>
- Equihua, M. A., Estrada, V. G., y González, H. H. (2007). *Plagas del aguacate. En el cultivo de aguacate y su manejo integrado*. México D.F: Mundiprensa S.A de C.V.
- Equihua, A., Estrada, E. G., Chaires, M., y Acuña, J. A. (2016). Comportamiento de *Araptus schwartzi blackman* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) en semillas de aguacate (hass) en diferentes estados de madurez. *Folia Entomológica Mexicana (n. s.)*, 2(2), 33–38.
- F, C. (1992). *El aguacate. Madrid: Institute di Coltivazioni Arboree;Universidad de Palermo*. Ediciones Mundi-Prensa, Edición española.
- FAO. (2017). *Perspectivas Mundiales de las principales frutas tropicales*. Recuperado el 15 de Diciembre de 2018, de http://www.fao.org/fileadmin/templates/est/COMM_MARKETS_MONITORING/Tropical_Fruits/Documents/Tropical_Fruits_Spanish2017.pdf
- Farias, O. S., Roberto, R., Lopes, J., y Perecin, D. (2004). Geostatistical characterization of the spatial distribution of *Xylella fastidiosa* sharpshooter vectors on citrus. *Neotropical Entomology*, 33(1), 13–20.
- Fleischer, J. E., Blom, E. P., y Weisz, R. (1999). Sampling in precision IPM: When the objective is a map. *Phytopathology*, 89, 115–118.
- Fleischer, S. J., Blom, P., Emmen, D., y Hower, A. (1999). *Dynamics in the spatial continuity of insect density*. Precisión Agriculture.

- Flores , R., Isiordia, N., Robles, A., Ortega, O., Perez, R., y Ramos , A. (2011). Ácaros fitofagos asociados a frutales en la zona centro de Nayarit. *Fuente*, 2(7), 25–33.
- Franz, E., Rossi, R., y Mulla, D. (1992). “Geostatistical tools for modeling and interpreting ecological spatial dependence”. *Ecological Monographs*, 62, 277–314.
- Funes, H. (2004). *Métodos Estadísticos en Problemas Espaciales. Tesis de Magister en Estadística Aplicada*. Universidad Nacional de Tucumán.
- Galindo, M. E., y Arzate, A. M. (2010a). Consideraciones sobre el origen y primeras dispersiones del aguacate (*Persea americana*, Lauraceae). *Cuadernos de Biodiversidad*, 33, 11–15.
- Galindo–Tovar, M. E., Ogata–Aguilar, N., y Arzate–Fernández, A. M. (2008). Some aspects of avocado (*Persea americana* Mill.) diversity and domestication in Mesoamerica. *Genet. Resour. Genet. Resour. Crop. Evol*, 55, 441–150.
- Gallardo, A. (2006). Geoestadística. *Ecosistemas*, 15(3), 48–58.
- Gallegos, G., R. (1983). *Algunos aspectos del aguacate y su producción en Michoacán*. México: Universidad Autónoma Chapingo.
- Gámir–Orueta, A. (1995). *Prácticas de Analisis Espacial*. Barcelona, España: Oikos–Tau S.L.
- García, A. M., Méndez , V. M., y Morales , G. A. (1967). El Aguacatero: Plagas y Enfermedades. *Fitofilo*, 56, 5–30.
- García, F. M. (2004). Aplicación de la geoestadística en las ciencias ambientales. *Ecosistemas*, 13(1).
- Gazit, S., y Degani, C. (2007). *Biología reproductiva*. En: *Whiley A, Schaffer B Wolstenholme B*, editores. *El palto, botánica, producción y usos*. Chile: Ediciones Universitarias de Valparaíso, Chile.

- Gerson, U. (1985). En *Dpider mites: Their biology, natural enemies and control* (Vol. 1A, págs. 223–232). Amsterdam: Webbing. En Helle.W y Sabelis M. Elsevier Science.
- Giraldo, R. (2007). Introducción a la Geoestadística: Teoría y Aplicación. Departamento de Estadística, Universidad Nacional de Colombia. 97.
- Gómez, N. L. (1987). Control químico de araña cristalina telaraña (*Oligonychus homonychus perseae* Tuttle, Baker y Abatiello) en el cultivo de aguacate. *Memoria del primer curso fitosanitario y de nutrición en aguacate* (págs. 223–232). Uruapa, Michoacán, México: Facultad de Agrobiología "Presidente Juárez".
- González F, J. J., de la Peña, F., Hormaza J, I., Boyero J, R., Vela J, M., Wong, E., Montserrat, M. (2009). Alternative food improves the combined effect of an omnivore and a predator on biological pest control. A case study in avocado orchards. *Bulletin of Entomological Research*, 99, 433–444.
- González–Fernández, J. J., Vela, J. M., de la Peña, M. E., Wong, M. E., Farré, J. M., Boyero, J. R., y Montserrat, M. (2007). *Dinámica poblacional de Oligonychus perseae (Tuttle, Baker & Abatiello) y la fauna auxiliar asociada en cultivo de aguacate Hass en el sur de España*. Viña del Mar, Chile: VI World Avocado Congress. 12–16 noviembre.
- González, O. E. (2012). *Estudio Geoestadístico de la distribución espacial de adultos de araña roja (Oligonychus punicae Hirts.) y su daño sobre el cultivo de aguacate (Persea americana Mill.) en la zona oriente del Estado de Michoacán, México*. (F. d. UAEMex, Ed.) México: Tesis profesional.
- Gudiño, J. L., y García G, M. A. (1990). *Biología y hábitos del barrenador de ramas y troncos del aguacate (Copturus aguacatae Kissinger) en la región de Uruapan, Mich.* Michoacan: Tesis de Licenciatura. UMSNH, Facultad de Agro biología. Uruapan, Mich.

- Guerreros– Espinoza, M. (2017). *Tesis Quitosano y almidón como recubrimiento biodegradable para prolongar la vida útil en palta (Persea americana Mill.) cultivar fuerte*. UNAS–Arequipa.
- Gunst, R., y **Hartfield, M. (1997)**. “**Robust semivariogram estimation in the presence of influential spatial data values**”. In **Gregoire et al (Eds.)**, **Modeling longitudinal and spatially correlated data: Methods, applications, and future directions**, lecture notes in statistics. *New York: Springer, 122, 265–274.*
- Guzmán–Plazola , R. (2009). *Sistemas de Información Geográfica en el muestreo de plagas y enfermedades de cultivos. pp. 115–127. En Bautista MN, Soto RL, Pérez PR y Hernández JD. (T. s. fitosanidad, Ed.) Colegio de Postgraduados Campus Montecillos. México.*
- Henríquez, M., y **Viloria, J. (1999)**. “**Número de Observaciones para Estimar Semivariogramas de Algunas Propiedades de Suelo y Distancias de Muestreo**”. *Agronomía Tropical, 49(1), 5–17.*
- Hevesi, J., Istok , J., y Flint , A. (1992). Precipitation estimation in mountainous terrain using multivariate geostatistics. *Part. I. Structural analysis. J. Appl. Meteorol, 31, 661–676.*
- Hoddle, M. S., Millar, J. G., Hoddle, C. D., Zou, Y., Mcelfresh , J. S., y Lesch, S. M. (2011). Field optimization of the sex pheromone of *Stenoma catenifer* (Lepidoptera: Elachistidae): evaluation of lure types, trap height, male flight distances, and number of traps needed per avocado orchard for detection . *Bulletin of Entomological Research, 101, 145–152.*
- Hoddle M, S. (1998). *Biology and management of the Persea Mite. California Avocado Society. California : Yearbook. Recuperado el 2 de abril de 2019, de http://www.avocadosource.com/casyearbooks/cas_82_1998_p75-85.pdf*
- Hoddle M, S., Aponte , O., Kerguelen, V., y Heraty, J. (1999). Biological control of *Oligonychus perseae* (Acari: Tetranychidae) on Avocado: I. Evaluating release

- timings, recovery and efficacy of six commercially available phytoseiids. *International Journal of Acarology*, 25, 211–219.
- Hoddle M, S., Robinson, L., y Virzi, J. (2000). Biological control of *Oligonychus perseae* (Acari: Tetranychidae) on avocado: III. Evaluating the efficacy of varying release rates and release. *International Journal of Acarology*, 26, 203–204.
- Hohmann, C., Santos, W., y Meneguim, A. (2000). Avaliação de técnicas do manejo para o controle da broca do abacate, *Stenomoma catenifer* (Wals.) (Lepidoptera: Oecophoridae). *Revista de Fruticultura*, 22(3), 359–363.
- Hyatt, L. A., Rosenberg, M. S., Howard, T. G., Bole, G., Fang, W., Anastasia, J., Gurevitch, J. (2003). The distance dependence prediction of the Janzen–Connell hypothesis: a meta-analysis. *Oikos*, 103, 590–602.
- Ibar, I. (1986). *Cultivo de Aguacate, Chirimollo Mango y Papayo* (3 ed.). Barcelona.
- Imbachi-López, K., Estrada-Venegas, E. G., Equihua-Martínez, A., y Mesa-Cobo, N. C. (2017). Biología de *Oligonychus perseae* Tuttle, Baker y Abbatiello, 1976 (Acari: Tetranychidae) en *Persea americana* Miller var. Hass bajo condiciones de laboratorio. *Fitosanidad*, 21(2), 81–87.
- INEGI. (2015). *Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)*. Obtenido de <http://www.cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/mex/territorio/relieve.aspx?tema=me&e=15>
- Isaaks, E., y Srivastava, R. (1989). *An Introduction to Applied Geostatistics* (1 ed.). New York, United States of America: Oxford University. Press.
- Jardón-Barbolla, L., Álvarez-Gómez, V., Méndez, V., Damián-Domínguez, M. d., Gaona, A., y Piñero, D. (2011). *Análisis para la determinación de los centros de origen, domesticación y diversidad genética del género Persea y la especie Persea americana (aguacate)*. Xalapa, Veracruz: Instituto Nacional de investigaciones forestales y agropecuarias (INIFAP).

- Jerrett, J. M., Arain, A., Kanaroglou, P., Beckerman, B., y Potoglou, D. (2005). A review and evaluation of intraurban air pollution exposure models. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, 15, 185–204.
- Jiménez , R. (2003).** “Tratamiento numérico de la información hidrogeológico: fases de estudio y ejemplos de aplicación”. *Boletín Geológico y Minero*, 114(3), 311–322.
- Johansen, R., Mojica, G., y Ascención, B. (1999). Introducción al conocimiento de los insectos tisanópteros mexicanos, en el aguacate (*Persea americana* Mill). *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 5(Especial), 279–285.
- Journel, A., y Huijbregts, C. (1978). *Mining geostatistics* (2 ed.). Londres, Reino Unido: Academic Press.
- Kerguelen , V., y Hoddle , M. (1999). Biological control of *Oligonychus perseae* (Acari: Tetranychidae) on avocado: II. evaluating the efficacy of *Galendromus helveolus* and *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae). *International Journal of Acarology*, 25, 221–29.
- Kerguelen , V., y Hoddle, M. (2000). Comparison of the susceptibility of several cultivars of avocado to the perseae mite, *Oligonychus perseae* (Acari: Tetranychidae). 84, 101–114.
- Kerguelen, V., y Hoddle, M. (1999). Biological control of *Oligonychus perseae* (Acari: Tetranychidae) on avocado: II. evaluating the efficacy of *Galendromus helveolus* and *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae). *International Journal of Acarology* , 25, 221–29.
- Kirkendall, L. R., Biedermann P, H. W., y Jordal, B. H. (2015). *Evolution and diversity of bark and ambrosia beetles*. En: Vega E., F and R.W Hofstetle. (B. B. species, Ed.) Londres : Elsevier Inc.
- Kopp, L., E. (1966) A taxonomic revision of the Genus *Persea* in the western hemisphere (*Perseae–Lauraceae*). *Memoirs of the New York botanical garden*, 14: 1–120.

- Knight, R. J., J., y Campbell W, C. (1999). Ecological adaptation and the evolution of modern avocado cultivars. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 5, 49–54.
- Krants, G. W. (2009). *A Manual of acarology*. (G. Krantz, & D. walter, Edits.) Texas : Texas Tech University Press, Lubbock.
- Krige, D. (1951). “A statistical approach to some basic mine valuation problems on the Witwatersrand” Journal of the Chemical, Metallurgical and Mining. Society of South Africa, 52(6), 119–139.**
- Kroschel, J., Alcazar, J., y Poma , P. (2009). Potential of Plastic Barriers to Control Andean Potato Weevil *Premnotrypes suturicallus* Kuschel. *International Association for the Plant Protection Sciences (Published by Elsevier). Crop Protection*, 28, 466–476.
- Larraz, B. (2004). *Técnicas de cokrigado para el análisis económico. Estimación de precios de bienes inmuebles en el casco histórico de la ciudad de Toledo*. Tesis doctoral. Universidad CastillaLa Mancha.
- Legendre, P. (1993). Spatial autocorrelation: trouble or paradigm? . *Ecology*, 74, 1659–1673.
- Lemus, B. A., y Pérez, D. A. (2016). Control Químico del ácaro café del aguacate *Oligonychus punicae* (Hirst,1926) (Acari:Tetranychidae). *Revista de entomología agrícola*, 349–353.
- Liebhold, M., Rossi, E. y Kemp, P. 1993. Geostatistics and Geographic Information Systems in applied Insect Ecology. *Annu. Rev. Entomol.* 38: 303–327.
- Liebhold, A., Rossi, R., y Kemp, W. (1993). Geostatistic and geographic information systems in applied insect ecology. *Annual Review of Entomology*, 38, 303–327.
- Liebhold, A. X. (1991). Geostatistical analysis of gypsy moth (Lepidoptera: Lymantriidae) egg mass populations. *Environ.Entomol*, 20(5), 1407–1417.

- Liebholt, M., Rossi, E., y Kemp, P. (1993). *Geostatistics and Geographic Information Systems in applied Insect Ecology* (Vol. 38). (A. R. Entomology, Ed.) Palo Alto, California, USA: Annual Reviews Publisher .
- López, G. F., Jurado, E. M., Atenciano, S., García, F. A., Sánchez, M., y García, T. L. (2002). Spatial variability of agricultural soil parameters in southern Spain. *Plant and Soil*, 256(1), 97–105.
- Maldonado–Zamora, F., Ramírez–Dávila, J., Rubí–Arriaga, M., Xanat, A., y Lara–Díaz, A. (2016.). Distribución espacial de trips en aguacate en Coatepec Harinas, Estado de México. . *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(4), 845–856.
- Maoz , Y., Gal , S., Zilberstein , M., Izhar , Y., Alchanatis , V., Coll, M., y Palevsky, E. (2011a). Determining an economic injury level for the perseá mite, *Oligonychus perseae*, a new pest of avocado in Israel . *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 138, 110–116.
- Matheron, G. (1963). “Principles of Geostatistics”. *Economic Geology*.(58), 1246–1260.**
- Matherón, G. (1965). *Les variables généralisées et leur estimation*. Masson et Cie, France.
- Menge, J. (2000). *Strategies to control Phytophthora cinnamomi root rot of avocado*. Department of Plant Pathology, University of California.
- Midgarden, D., Fleischer, S., Weisz, R., y Smilowit. (1997). Site-specific Integrated Pest Management Impact on Development on Esenvalerate Resistance in Colorado Potato Beetle (Coleoptera: Chrysomelidae) and on Densities of Natural Enemies. *Entomological Society of America (Published by BioOne) Journal of Economic Entomology*, 90, 855–867.
- Migeon, A., y Dorkeld , F. (2014). *Spider Mites Web: a comprehensive database for the Tetranychidae* . Obtenido de <http://www.montpellier.inra.fr/CBGP/spmweb>
- Montero, J., y Larraz, B. (2008). *Introducción a la Geoestadística Lineal*, Netbiblo. España.

- Montiel, B. A. (1981). Factores de regulación de las poblaciones de *Prays oleae* (Bern.). *Bol.Serv. Plagas*, 7, 133-140.
- Montserrat , M., Sahún , R. M., y Gúzman, C. (2013). Can climate change jeopardize predator control of invasive herbivore species A case study in avocado agro-ecosystems in Spain. *Experimental and Applied Acarology*, 59, 27-42.
- Moral, F. (2004). Aplicación de la geoestadística en las ciencias ambientales. *REVISTA CIENTIFICA Y DE ECOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE ecosistemas*, 13(1), 78-86. Obtenido de <http://www.ecosistemas.net/articulo.asp?ld=167>
- Moral, F., y Marques, J. (2002). “Ejemplo de representación gráfica de una variable regionalizada”. Santander: XIV Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica Santander, España – 5-7 junio de 2002 .
- Moral-García, F. J. (2004). Técnicas geoestadísticas aplicadas al análisis de la distribución de capturas de *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) mediante trampas con feromonas sexuales en una plantación de tomate. . *Boletín de Sanidad Vegetal de Plagas*, 30, 733-744.
- Moreno, A. (2005). *Sistemas y análisis de la información geográfica*. Madrid, España: Manual de autoaprendizaje con ArcGIS. RA-MA.
- Moreno, A. (2005). *Sistemas y análisis de la información geográfica*. Manual de autoaprendizaje con ArcGIS. RA-MA. Madrid.
- Muñiz-Vélez, R. (1970). Estudio morfológico de dos especies de *Conotrachelus*, que son plagas del aguacate (*Persea gratissima* Gaertn) en México. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural*, 31, 289-337.
- NAPPO. (1999). *Glosario de la NAPPO DE TERMINOS FITOSANITARIOS* . (North American Plant Protection Organization).
- Ochoa, R., Aguilar, H., y Vargas, C. (1991). *Ácaros fitófagos de America Central: Guía Ilustrada*. (CATIE, Ed.) Turrialba.

- Odum-Eugene, P., y Barrett-Gary, W. (2004). (2004) Redesigning Industrial Agroecosystems . *Journal of Crop Improvement*, 11(1-2), 45-60. doi: 10.1300/J411v11n01_03
- Oliver, M., y Webster, R. (1998). How geostatistics can help you. *Soil Use and Management*, 7(4), 206-217.
- Oponete, O., y McMurtry, J. A. (1997). Biology, life table and mating behavior of *Oligonychus perseae* (Acari: Tetranychidae). *International Journal of Acarology*, 23, 199-207.
- Orjuela, O. E. (2011). *Evaluación del impacto de los insectos perforadores del fruto del aguacate (Persea americana Miller) cv. Hass en el eje cafetero*.
- Ovalles, F. (1992). “*Metodología para determinar la superficie representada por muestras tomadas con fines de fertilidad*”. Maracay, Venezuela:FONAIAP- CENIAP- IIAG.44p.SERIE B.
- Ovalles, F., y Rey, J. (1995). “**Variabilidad interna de unidades de fertilidad en suelos de la depresión del lago de Valencia**”. *Agronomía Tropical*, 44(1), 41-65.
- Paz, R., y Arrieche, N. (2017). Distribución espacial de *Thrips tabaci* (Lindeman) 1888 (Thysanoptera: Thripidae) en Quíbor, Estado Lara, Venezuela. *Bioagro*, 29 (2), 123-128. Recuperado el 18 de julio de 2019, de http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S1316-33612017000200006&script=sci_arttext
- Pedigo, L. P., y Rice, M. E. (2006). *Entomology and pest management*. New Jersey: Prentice Hall.
- Peña, J. (2006). *Sistemas de información geográfica aplicados a la gestión del territorio cuarta*. España: Club Universitario,Alicante.
- Peña, J. E. (2009). Plagas con importancia cuarentenaria para las zonas productoras de aguacate en Colombia. Medellín, Colombia: Ponencia III congreso latinoamericano del aguacate.

- Pérez De la Cruz, M., Equihua-Martínez, A., Romero-Nápoles, J. M., y Valdés-Carrasco, A. (2009a). Claves para la identificación de escolítinos asociados al agroecosistema de cacao en el sur de México. *Boletín del Museo de Entomología de la Universidad del Valle*, 10(1), 14-29.
- Pérez de la Cruz, M., Hernández-May, M. A., De la Cruz-Pérez, A., y Sánchez-Saul, S. (2016). Scolytinae y Platypodinae (Coleoptera: Curculionidae) de dos áreas de conservación en Tabasco, México. *Revista de Biología Tropical*, 64(1), 335-342.
- Pérez-De la Cruz, M., Equihua-Martínez, A., Romero-Nápoles, J., Váldes-Carrasco, J. M., y de la Cruz-Pérez, A. (2009a). Claves para la identificación de escolítinos asociados al agroecosistemas de cacao en el sur de México. *Boletín del Museo de Entomología de la Universidad del Valle*, 10(1), 14-29.
- Pérez-Silva, M., Equihua-Martínez, A., Estrada-Venegas, E. G., Muñoz-Viveros, A. L., Valdés-Carrasco, J. M., Sánchez-Escudero, J., y Atkinson, T. H. (2015). Sinopsis de especies mexicanas del género *Xyleborus* Eichhoff, 1864 (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). *Acta Zoológica Mexicana*, 31(2), 239-250.
- Piña, M. D., L. C.-G., Casanovas-Cosío, E., y Casas-Cardoso, G. (2012). ESTIMACIÓN ESPACIAL DE LA INTENSIDAD DE ALTERNARIA SOLANI SOR. EN EL CULTIVO DEL TOMATE EN LA ESTACIÓN DE PROTECCIÓN DE PLANTAS DE LAJAS. *Revista Investigación Operacional*, 32(1), 85-94.
- Popenoe, W. (1935). Origin of the cultivated races of avocados. Calif. Avocado Ass. 1935. *Yearb*, 19, 184-194.
- Pose, C., González, P., y Armesto, M. (2001). Dependencia espacial de datos topográficos a escalas de ladera y pequeña cuenta agrícola. *Cadernos lab Xeológico de Laxe*, 26(1), 191-210.
- PRODUCE. (Febrero 2003). *Programa Estratégico de Investigación y Transferencia de Tecnología en el Estado de Michoacán*. Morelia, Michoacán: Fundación.

- Pulliam, H. R. (2000). On the relationship between niche and distribution. *Ecol.Lett*, 3, 349–361.
- Pyrz, C., y Deutsch. (2014). *Geostatistical reservoir modeling*. Inglaterra: Oxford University Press, Oxford.
- Quintanar, A. F. (1983). *El aguacate*. México, DF.
- Rabinovich, A. (1980). Introducción a la ecología de poblaciones de animales N°20. 20, 330.
- Ramírez-Dávila, J. F., y Porcayo-Camargo, E. (2008). Distribución espacial de las ninfas de *Jacobiasca lybica* (Hemiptera: Cicadellidae) en un viñedo en Andalucía, España. *Revista Colombiana de Entomología*, 34(2), 169–175.
- Régnière J. 2009. Predicción de la distribución continental de insectos a partir de la fisiología de las especies. *Unasyuva*. (2009). *revista internacional de silvicultura e industrias forestales*(231), 37-42.
- Régnière, J., Nealis, V., y Porter, K. (2008). *Idoneidad climática y gestión de la invasión de la polilla gitana en Canadá*. En: Langor DW, Sweeney J. (Impactos ecológicos de los invertebrados y hongos no nativos en los ecosistemas terrestres. ed.). Springer, Dordrecht. doi:https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9680-8_10
- Renner, S. (1999). Circumscription and phylogeny of Laurales: evidence from molecular and morphological data. *Am.J.Bot*, 86, 1301–1315.
- Renner, S. (2004). Variation in diversity among Laurales, Early Cretaceous to present. *Biol.Skr.*, 55, 441–458.
- Ribes, M., Bascuñana, M., y Avilla, J. (1998). “Estudio de la distribución espacial de *Cydia ponella* (L) y *Pandemis heparana* (Denis & Schiffermüller) en Torregrossa (Lleida) mediante métodos geoestadísticos”. *Boletín de sanidad vegetal. Plagas*, 24 (4), 935.
- Ripa, R., y Larral, P. (2008). *Manejo de plagas en palto y cítricos*. (Vol. 23). (I. d. Agropecuarias, Ed.) Santiago, Chile : Colección de Libros INIA.

- Rivera-Martínez, R., Ramírez-Dávila, J. F., y Acosta-Guadarrama, A. D. (2018). Distribución espacial de las poblaciones de huevos de *Bactericera cockerelli* Sulc. en el cultivo de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Acta Universitaria*, 28(5), 24-33. doi:<https://dx.doi.org/10.15174/au.2018.1944>
- Rodríguez, S. (1992). *El Aguacate*. (S.A., Ed.) México.D.F: AGT.
- Romero-Nápoles, J. S., Anaya-Rosales, A., Equihua-Martínez, H., y Mejía, G. (1997). Lista de Scolytidae y Platypodidae de México (Insecta: Coleoptera). *Acta Zoológica Mexicana*, 70, 35-53.
- Rodón, O. (2007). Curso de krigead. Obtenido de <http://www.geo.upm.es/postgrado/CarlosLopez/geoestadistica/inde>
- Rong, J., Dian-Mo, L., Bao-Yo, X., Zhe, L., y Dong-Li, M. (2006). Spatial Distribution of Oriental Migratory Locust(Orthoptera:Acrididae) Egg Pod Populations: Implications for Site-specific. *Pest Management*, 35, 1244-1248.
- Rossi, R., Mulla, J., Journe, G., & Franz, H. (1992). Geostatistical Tools for Modeling and interpreting. *Ecological Monographs*, 62, 314-277.
- Royle, A. (1980). “¿Why geostatistics?”. In: P.F. Massett-jones, *Geostatistics*. In: P.F. Massett-jones, *Geostatistics*. New York: Mc Graw – Hill.
- Rubio, J. D., Posada, F. J., Osorio, O. I., Vallejo, L. F., y López, J. C. (2009). First record of *Heilipus elegans* Guérin-Ménéville (coleoptera: curculionidae) attacking the avocado tree stem in Colombia. *Rev.udcaactual.divulg.cient., Jan./June*, 12(1), 59-68.
- Ruesink, W. a. (1982). The quantitative basis of pest management: sampling and measuring. *Introduction to pest management* . 315-352.
- Sahagún F, B. ([1590] 2002). *Historia general de las cosas de la Nueva España*. México: Cien de México.

- Salas , L. (1978). Algunas notas sobre las arañitas rojas (Tetranychidae: Acari) halladas en Costa Rica. *Agronomía Costarricense* , 2, 47–59.
- Salinas, A., y Reséndiz, G. (1995). *Control biológico de la araña cristalina del aguacatero Oligonychus perseae(Prostigmata:Tetranychidae)*. Texco , México: UACH.
- Salom, S. M., y McLean., J. A. (1989). Influence of wind on the spring flight of *Trypodendron lineatum* (Olivier) (Coleoptera, Scolytidae) in a secondgrowth coniferous forest. *Can. Entomol*, 121, 109–119.
- Samper, F., y Carrera, J. (1996). *Geoestadística:Aplicaciones a la Hidrología subterránea*. Barcelona, España: Centro Internacional de Métodos en Ingeniería .
- Sánchez, P. J., Alcántar, R. J., Coria , A. M., Anguiano, C. J., Vidales, F. I., Tapia, V. M.,Vidales, F. A. (2001). *Tecnología para la producción de aguacate en México* (Libro técnico No.1 ed.). Uruapan, Michoacan, México: INIFAP.CIRPAC.
- SARH-DGSV. (1981). *Lista de insectos y ácaros perjudiciales a los cultivos de México* (Vol. 2). (Fitofilo, Ed.) Secretaría de Agricultura Y Recursos Hidráulicos–Dirección General de Sanidad Vegetal.
- Schotzko, D. J., y Okeefe, L. E. (1987). Geostatistical description of the spatial distribution of *Lygus hesperus* (Heteroptera. Miridae) in lentils. *Journal of Economic Entomology*, 82, 1277–1289.
- Schotzko, D., y O´ Keeffe, L. (1989). Geostatistical description of the spatial distribution of *Lygus hesperus* (Heteroptera: Miridae) in lentils. *J. Econ. Entomol.* 82 (5), 1277.1288.
- Schnell RJ, Brown JS, Olano CT, Power EJ, Krol CA, Kuhn DN, Motamayor JC (2003) Evaluation of avocado germplasm using microsatellite markers. *Journal of the American Society of Horticultural Science*, 128:881–889

- Sciarreta, A., y Trematerra, P. (2014). Geostatistical tools for the Study of Insect Spatial distribution: practical implications in the integrated management of orchard and vineyard pests. *Plant science*, 50, 97–110.
- Scora R, W., y Bergh , O. (1992). Origin of the taxonomic relationships within the genus *Persea*. (págs. 5005–514). Proceedings of the Second World Avocado Congress.
- Scora, R. W., y Bergh, B. O. (1992). *Origin of the taxonomic relationships within the genus Persea*. Proceedings of the Second World Avocado Congress .
- SIAP. (2018). *Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera* . México: SIAP. Recuperado el 18 de mayo de 2019, de <http://www.siap.gob.mx/>
- SIAP. (2019). *Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera*. Recuperado el 28 de septiembre de 2019, de <https://www.gob.mx/siap/documentos/boletin-mensual-de-avances-de-la-produccion-de-aguacate-103935>
- Silva, A. S., Mota, T. A., Piñeyro, N. Y., Fernandes, M. G., y Pereira, F. F. (2016). Distribución espacial de *Vatiga* spp. (Hemiptera: Tingidae) en el cultivo de yuca. *Acta biológica colombiana*, 21(1), 195–200.
- Smith, C. E. (1966). Archaeological evidence for selection in avocado . *Econ.Bot.*, 20, 169–175.
- Soberón, J. (2007). Grinnellian and Eltonian niches and geographic distributions of species. *Ecol.Lett*, 10, 1115–1123.
- Soberón, J. (2010). Niche and area of distribution modeling: a population ecology perspective. *Ecography* , 33, 159 – 167.
- Solares, V. M., Ramírez, J. F., y Sánchez, J. R. (2012). Distribución espacial de trips (Insecta: Thysanoptera) en el cultivo de aguacate (*Persea americana* Mill.). . *Boletín del Museo de Entomología de la Universidad del Valle*, 12(2), 1–12.

- Soto, A., Orengo, L., y ., E. A. (2002). Estudio de poblaciones de insectos escolítidos (Coleoptera:Scolytidae) en las masas de Pinus halepensis Miller del Parque Natural del Montgó (Alicante). *Boletín de Sanidad Vegetal-Plagas*, 28, 445-456.
- Soto, G. A. (2013). Manejo alternativo de ácaros. *Revista de ciencias agrícolas*, 30(2), 34-44.
- Southwood, T. (1995). *Ecological Methods. Whith particular reference to the study of insects population* (2nd Edition ed.). USA: Chapman & Hall. .
- Southwood-T, R. E., y Henderson, P. A. (2000). *Ecological Methods* (Vol. 3rd edition). (B. Science, Ed.) Reino Unido: Oxford.
- Stein, M. (2012). *Interpolation of spatial data: some theory for Kriging*. New York, United states of American: Springer.
- Storey, W. B., Bergh, B. O., y Zentmyer, G. O. (1986). The origin, indigenous range and dissemination of the avocado. *California Avocado Soc. Yearbook*, 70, 127-133.
- Tamayo P, J. (2005). *Enfermedades del Aguacate*. Ponencia , México.
- Tamayo, P. (2008). *Tecnología para el cultivo del aguacate: enfermedades y desórdenes abióticos*. Corpoica. Promedios.
- Taylor, L. R. (1984). Assessing and interpreting the spatial distributions of insect populations. *Ann. Rev. Entomol*, 29, 321-357.
- Taylor, L. R. (1984). Assessing and interpreting the spatial distributions of insect populations. *Ann. Rev. Entomol.*, 29, 321-257.
- Téliz, D., y Mora, A. (2007). *El aguacate y su Manejo integrado* (Vol. 2a). México, D.F: Mundi-Prensa.
- Téliz, O. D. (2000). *El Aguacate y su Manejo Integrado*. D.F, México: Mundi-Prensa.
- Téliz, D., y Marroquin, F. 2007. Importancia histórica y socioeconómica del aguacate. Mundi-Prensa. México. p. 1-28.

- Turcios, C. (2013). *Identificación y fluctuación poblacional de trips (Insecta: Thysanoptera) asociados con hortalizas de la región central de México. Tesis Doctoral*. Montecillo, Texcoco, México. : Postgrado de Fitosanidad. Colegio de Postgraduados (CP).
- Tuttle D, M., Baker E, W., y Abbatiello, M. (1976). Spider mites of México (Acari: Tetranychidae). *International Journal of Acarology*, 2, 1–102.
- Urías, M. A., y Salazar, G. S. (2008). Poblaciones de gusano telarañero y barrenador de **ramas en huertos de aguacate ‘hass’ de Nayarit, México**. *Agricultura Técnica en México*, 34(4), 431–441.
- Usandivaras, J. (2006). *Introducción a la Geoestadística*. Obtenido de <http://www.fcaglp.unlp.edu.ara./juc/estadistica/Nociones%20de%20Geoestadística.pdf>
- USDA. (2011). *California Forest Pest Conditions 2011*. California Forest Pest Council. Obtenido de www.fs.usda.gov/Internet/FSE.../stelprdb5362126.pdf.
- Vergara-Olaya, J. D., Orozco-Hoyos, J., Bustillo-Pardey, Á. E., y Chaves-Córdoba, B. (2001). Dispersión *Phymastichus coffea* en un lote de café infestado de *Hypothenemus hampei*. *Cenicafé*, 52(2), 104–110.
- Vílchez, J. G. (2000). *Introducción a los sistemas de información geoespacial*. Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico, Universidad de los Andes, Talleres Gráficos Universitarios, Mérida.
- Villatoro, M., Henríquez, C., y **Sancho, F. (2008)**. “**Comparación de los Interpoladores IDW y Kriging en la variación Espacial de Ph, Ca, Cice y P del suelo**”. *Agronomía Costarricense*, 32(1), 95–105.
- Virtual, H. (2018). Catedrá de Fitopatología de Agronomía. (U. d. Aires, Ed.) Buenos Aires, Argentina. Recuperado el 18 de julio de 2018, de http://herbariofitopatologia.agro.uba.ar/?page_id=786

- Waite, G. K., y Martínez , R. (2002). *Insect and mite pests: En: Avocado :botany, production and uses.* (A. Whiley, B. Schaffer, & U. BN Wolstenholme, Edits.) CABI Publishing.
- Webster , R., y Oliver, M. (1990). *Statistical Methods in Soil and Land Resource Survey.* New York: Oxford University Press.
- Whiley AW , A., Schaffer , B., y Wolstenholme , B. N. (2002). *The Avocado: Botany, Production and Uses.* Oxon UK: CABI Publishing.
- Wiegand, T., Gunatilleke, S., & Gunatilleke, N. (2007). Species associations in a heterogeneous Sri Lankan Dipterocarp forest. *American Naturalist*, 170, 77–95.
- Wilkinson, R. C., y Haak , R. A. (1987). Within-tree distribution of pine bark beetle (Coleoptera: Scolytidae) in Honduras. *Ceiba*, 28, 155–133.
- Williams, L. O. (1977b). The avocados, a synopsis of the genus *Persea*, subg. *Persea*. *Econ. Bot*, 31, 315–320.
- Wolda, H. (1988). Insect seasonality . *Ann. Rev. Ecol. Syst*, 19, 1–18.
- Wood, S. L. (1982a). The bark and ambrosia beetles of North and Central of North and Central America (Coleoptera:Scolytinae) a taxonomic monograph. *Great Basin Naturalist Memoirs*(6), 108–1359.
- Wood, S. L. (2007). *Bark and Ambrosia Beetles of South America (Coleoptera: Scolytidae).* Provo, Utah: Monte L. Bean Science Museum .
- Wood, S. L., y Bright, D. J. (1992). Great Basin Naturalist Memoirs N°13. A catalog of Scolytidae and Platypodidae(Coleoptera).Part 2 Taxonomic Index. A, págs. 1–833. Brigham Young University.Provo.
- https://www.barkbeetles.info/regional_chklist_target_species.php?lookUp=2444.
- <https://www.naturalista.mx/taxa/305289-Araptus-schwarzi>