



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

**DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE ANTRACNOSIS (*Colletotrichum*  
*gloeosporioides* Penz.) EN AGUACATE (*Persea americana* Mill.) EN EL**  
**ESTADO DE MÉXICO.**

**TESIS**

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

**PRESENTA**

**BIÓL. ATENAS TAPIA RODRÍGUEZ**



El Cerrillo, Piedras Blancas, Toluca, Estado de México, 23 de noviembre de 2018.



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

**DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE ANTRACNOSIS (*Colletotrichum*  
*gloeosporioides* Penz.) EN AGUACATE (*Persea americana* Mill.) EN EL**  
**ESTADO DE MÉXICO.**

**TESIS**

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

**PRESENTA**

**BIÓL. ATENAS TAPIA RODRÍGUEZ**

**COMITÉ DE TUTORES**

**Dr. José Francisco Ramírez Dávila**

**Dra. Martha Lidya Salgado Siclán**

**Dr. Álvaro Castañeda Vildózola**



El Cerrillo, Piedras Blancas, Toluca, Estado de México. 23 de noviembre de 2018.

*Dedico este trabajo con mucho amor  
para mi abuela Tete.*

*Para Luis Felipe y para Alfredo,  
los dos grandes amores de mi vida.*

*A mis padres y hermanos por su  
apoyo, cariño y comprensión.*

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Autónoma del Estado de México, por la formación académica y de calidad recibida a través del Programa de Maestría y Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales.

Al CONACyT, por la beca otorgada para realizar los estudios de Maestría.

Al Doctor José Francisco Ramírez Dávila, primero por creer en mí, por la dame la oportunidad para formar parte de este proyecto, y fungir como mi tutor académico, también por el apoyo constante que siempre recibí, por toda la confianza otorgada y por todas sus enseñanzas durante estos dos años, infinitamente gracias Doc.

A la Doctora Martha Lidya Salgado Siclán y al Doctor Álvaro Castañeda Vildózola, por aceptar formar parte del comité tutorial, por todo el apoyo, paciencia y dedicación que me dedicaron para llevar a cabo esta investigación y por contribuir con su experiencia y conocimientos para enriquecer mi formación como profesionista.

A mis amigos y compañeros del laboratorio de Entomología y Geotecnologías, Fátima, Vero, David, Roberto, Fidel y Karen, por las risas, amistad, convivencia, apoyo y motivación para seguir adelante en momentos de desesperación que ustedes me brindaron, mil gracias!

A los Doctores Jaime Mejía Carranza, Juan Carlos Reyes Alemán y Martin Rubí Arriaga, por sus valiosos consejos, y por compartir conmigo sus conocimientos.

## ÍNDICE

---

<b>RESUMEN .....</b>	<b>1</b>
<b>ABSTRAC .....</b>	<b>2</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>3</b>
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA .....</b>	<b>5</b>
2.1 El aguacate: origen del cultivo.....	5
2.2 Descripción botánica del aguacate.....	6
2.2.1 Morfología del fruto.....	6
2.2.2 Variedades .....	7
2.3 Fenología y desarrollo del aguacate.....	8
2.4 Importancia del cultivo .....	8
2.5 Limitantes para el cultivo de aguacate.....	9
2.5.1 Plagas del aguacate .....	10
2.4.2 Enfermedades del aguacate.....	10
2.5 <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> y Antracnosis.....	12
2.6.1 Clasificación taxonómica.....	13
2.6.2 Ciclo biológico de la Antracnosis .....	14
2.6.3 Control .....	16
2.7 Estadística espacial .....	17
2.7.1 Geoestadística .....	18
2.7.3 Estimación de los parámetros del modelo del semivariograma.....	20
2.7.3. 1 Modelos teóricos del semivariograma .....	20
2.7.4 Proceso de validación cruzada.....	21
2.7.5 Nivel de dependencia espacial .....	22
2.7.6 Krigado.....	22
2.7.5 Investigación estadística espacial en México .....	23
2.7.6 Estudios geoestadísticos en el Estado de México.....	24
2.7.7 Análisis Espacial Por Índices de Distancia (SADIE) .....	25
<b>III. JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>28</b>
<b>IV. HIPÓTESIS .....</b>	<b>29</b>
<b>V. OBJETIVOS .....</b>	<b>29</b>
<b>VI. METODOLOGÍA (MATERIALES Y MÉTODOS) .....</b>	<b>30</b>

6.1 Zona de estudio.....	30
6.1.1 Coatepec Harinas .....	31
6.1.2 Tenancingo.....	31
6.1.3 Donato Guerra.....	31
6.1.4 Temascaltepec.....	32
6.2 Trabajo de gabinete.....	32
6.3 Trabajo de campo.....	32
6.4 Análisis de Laboratorio.....	33
6.4.1 Medio de cultivo PDA .....	33
6.4.2 Identificación de <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> .....	33
6.4.2.1 Incidencia.....	34
6.5 Análisis Geoestadístico.....	34
6.5.1 Nivel de dependencia espacial .....	35
6.5.2 Validación .....	35
6.5.3 Mapas de densidad y superficie infectada .....	36
<b>VII. RESULTADOS .....</b>	<b>37</b>
7.1 Artículo “Distribución espacial de antracnosis en aguacate en el Estado de México, México”.....	37
7.2 Artículo “Análisis espacial de las poblaciones de antracnosis ( <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> Penz.) en el cultivo de aguacate en el Estado de México, México.” .	69
7.3 Otros Resultados .....	103
7.3.1 Identificación de síntomas de antracnosis en campo .....	103
7.3.2 Incidencia.....	104
7.3.3 Análisis de laboratorio .....	105
7.3.4 Análisis geoestadístico (semivariogramas).....	107
<b>VIII. DISCUSIÓN GENERAL.....</b>	<b>109</b>
<b>IX. CONCLUSIONES.....</b>	<b>112</b>
<b>X. REFERENCIAS.....</b>	<b>113</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>122</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Morfología de fruto de <i>Persea americana</i> (Tomado y modificado de Barrientos, 2007).....	7
<b>Figura 2.</b> Fases fenológicas del cultivo de aguacate (tomado y modificado de Cosmoagro, 2018).....	8
<b>Figura 3.</b> Triada ecológica de una enfermedad.....	11
<b>Figura 4.</b> Fruto de aguacate con lesiones corchosas causadas por <i>C. gloeosporioides</i> .....	12
<b>Figura 5.</b> Ciclo biológico de <i>C. gloeosporioides</i> , causante de la antracnosis en el aguacate..	14
<b>Figura 6.</b> Diagrama del análisis geoestadístico.....	19
<b>Figura 7.</b> Modelos teóricos del semivariograma.....	19
<b>Figura 8.</b> Localización de la zona de estudio.....	30
<b>Figura 9.</b> Frutos con síntomas de antracnosis.....	103
<b>Figura 10.</b> Incidencia de antracnosis en Coatepec Harinas, Tenancingo, Temascaltepec y Donato Guerra.....	104
<b>Figura 11.</b> Muestras de frutos de aguacate con síntomas de antracnosis.....	105
<b>Figura 12.</b> Muestras de tejido enfermo en medio de cultivo PDA.....	106
<b>Figura 13.</b> <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> a) Acérvulos; b) Conidios hialinos; c) Micelio algodonoso.....	107

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Enfermedades del aguacate según el área afectada.....	12
<b>Cuadro 2.</b> Clasificación taxonómica general de <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> .....	13



## RESUMEN

---

El aguacate (*Persea americana* Mill.) es uno de los regalos más importantes que México ha aportado al mundo, desde su origen hasta su domesticación, ha representado un eslabón importante en la dieta de la población, y hoy en día, es uno de los cultivos más trascendentales a nivel mundial. Sin embargo, este cultivo es susceptible al ataque de plagas y enfermedades, lo que disminuye considerablemente su valor comercial; en el Estado de México se han implementado estrategias para el manejo y control de las enfermedades fúngicas que se presentan, tal es el caso de la antracnosis, no obstante, los resultados han sido muy poco eficaces, por tal motivo, el presente trabajo aborda la problemática con el empleo de una herramienta derivada de la estadística espacial, la Geoestadística. Con el objetivo de conocer y analizar su distribución espacial, se llevó a cabo un muestreo quincenal de 200 árboles en cuatro municipios productores de aguacate cv. Hass en el Estado de México de enero a diciembre de 2017; en dichos árboles se contabilizaron frutos que presentaban síntomas característicos de la enfermedad (manchas necróticas salmonadas, principalmente), posteriormente se elaboraron los semivariogramas experimentales, mismos que fueron ajustados a modelos teóricos y validados, además de la elaboración de mapas de superficie infestada. Los resultados arrojan que la antracnosis se distribuye de manera agregada, y se concentra en focos de infestación, mismos que se mantuvieron constantes a lo largo de los meses de muestreo; esta distribución se ajustó en su mayoría a modelos de tipo gaussiano, exponencial, y esférico. Esto nos da un panorama para proponer un programa de manejo integrado que evite pérdidas a causa de la antracnosis en el cultivo de aguacate, que a su vez, permita focalizar las medidas de control de una manera pertinente, oportuna y eficaz.

**Palabras clave:** Geoestadística, distribución espacial

## ABSTRAC

---

The avocado (*Persea americana* Mill.) Is one of the most important gifts that Mexico has brought to the world, from its origin to its domestication, it has represented an important link in the diet of the population, and today, it is one of the most transcendental crops worldwide. However, this crop is susceptible to the attack of pests and diseases, which considerably reduces its commercial value; In the State of Mexico, strategies have been implemented for the management and control of fungal diseases that occur, such is the case of anthracnose, however, the results have been very inefficient, for this reason, the present work addresses the problematic with the use of a tool derived from spatial statistics, Geostatistics. In order to know and analyze its spatial distribution, a biweekly sampling of 200 trees was carried out in four municipalities producing avocado cv. Hass in the State of Mexico from January to December 2017; in these trees were counted fruits that had symptoms characteristic of the disease (salmonic necrotic spots, mainly), then developed the experimental semivariograms, which were adjusted to theoretical and validated models, in addition to the development of maps of infested surface. The results show that anthracnose is distributed in an aggregate manner, and is concentrated in foci of infestation, which remained constant throughout the months of sampling; this distribution was mostly adjusted to Gaussian, exponential, and spherical models. This gives us an overview to propose an integrated management program that avoids losses due to the anthracnose in the avocado crop, which in turn, allows to focus the control measures in a pertinent, timely and effective manner.

**Key words:** Spatial distribution, aggregation

## I. INTRODUCCIÓN

---

México es el principal productor de aguacate (*Persea americana* Mill.) en el mundo, de acuerdo con el Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera, hasta mayo de 2018, se tiene un recuento de 231,028 hectáreas sembradas en todo el país, con una producción que rebasa las 800,000 toneladas, presentando un rendimiento de 5.22 ton/ha (SIAP, 2018)

Michoacán es el estado donde se producen la mayor parte de toneladas de este fruto, sin embargo en el Estado de México, también se cultivan grandes cantidades de diversos cultivares de aguacate, siendo Hass el de mayor importancia (SIAP, 2018).

Lo anterior demuestra que, al ser una especie de importancia no solo agrícola a nivel mundial, sino también económica, *Persea americana* es uno de los cultivos más importantes del país por la demanda de consumo en el mercado nacional e internacional.

Con el fin de aumentar la productividad agrícola a gran escala, surgió también la necesidad de implementar sistemas modernos de agricultura, que dependen en gran parte de monocultivos y agroinsumos químicos, orgánicos y/o biológicos, trayendo como consecuencia nuevos problemas de plagas y enfermedades a los cultivos (Sharma *et al.*, 2000), además de causar daños muy graves en el ambiente, contaminando agua, suelos, aire y perjudicando a las especies de flora y fauna que forman parte de esos sistemas ecológicos, por ello, surge la necesidad de conocer los patrones de distribución de los organismos causantes de plagas y enfermedades en los cultivos agrícolas.

El aguacate, al ser precisamente un monocultivo, presenta un número importante de problemas fitosanitarios dentro de los cuales se destacan las plagas por insectos y las enfermedades causadas por hongos, siendo la antracnosis y la roña las de mayor importancia.

El uso de herramientas como la Geoestadística en la agricultura, facilitan la comprensión de la distribución e incidencia de las plagas y enfermedades que se presentan en los cultivos, bajo este esquema, esta investigación se realizó con la finalidad de conocer la distribución

espacial de la antracnosis en los huertos de aguacate cv Hass de cuatro municipios del Estado de México, para proponer la creación de estrategias de manejo integrado que favorezcan al medio ambiente, y que además faciliten planes de muestreo eficientes que proporcionen los elementos necesarios para la toma de decisiones sobre el control de esta enfermedad en el cultivo de aguacate en el Estado de México.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

---

### 2.1 El aguacate: origen del cultivo

*Persea americana*, especie descrita por Miller, es un árbol frondoso con hoja perenne, originado en Mesoamérica, particularmente en el centro y este de México (Williams, 1977).

El aguacate pertenece a la familia Lauraceae, cuyo uso es muy antiguo, por su fruto de color verdoso y pulpa comestible. La domesticación de esta especie data de la época Precolombina, cuando era muy apreciada por las civilizaciones Maya y Mexica, como lo evidencia su presencia en las representaciones pictóricas de dichas civilizaciones (Storey *et al.*, 1986; Gama-Campillo y Gómez-Pompa, 1992); pues se tiene conocimiento de que estos pueblos seleccionaban los frutos considerando su tamaño y sabor.

Las evidencias arqueológicas indican que el uso y la selección de *P. americana* en México comenzó hace 10.000 años, con el hallazgo de semillas de aguacate en Coxcatlán, Valle de Tehuacán, en el estado de Puebla, de un tamaño mayor a las encontradas en otras excavaciones, esto demuestra que, durante ese tiempo se produjo una selección progresiva que favoreció el crecimiento del fruto. El nombre común de este fruto en español es aguacate o ahuate, que proviene de la palabra de origen náhuatl, ahuate que significa “testículos del árbol” (Gran Diccionario Nahuatl, 2018).

De esta forma, *P. americana* es una especie que ha sido eje de innumerables investigaciones acerca de su biología, uso y producción, cuya información está disponible desde hace mucho tiempo en diversas fuentes como libros, artículos científicos, boletines, notas, etc., sin dejar de lado los estudios acerca de su importancia sociocultural y económica.

## **2.2 Descripción botánica del aguacate**

*P. americana* Mill. es una planta dicotiledónea que pertenece al orden Ranales y a la familia Lauraceae; dentro del género *Persea* se han diferenciado dos subgéneros: *Persea* y *Eriodaphne* (Kopp, 1966); sin embargo, actualmente se consideraran como dos géneros diferentes (Campos *et al.* 2006).

Taxonómicamente, *P. americana* fue clasificada en un inicio por Gaertner como *Persea grattissima*, posteriormente, Miller hizo una reclasificación, dejando a esta especie como *Persea americana* (Rodríguez, 1982). Cruz (2018) menciona que *P. americana* es actualmente la especie más estudiada de la familia Lauraceae porque representa un recurso importante en la alimentación humana.

El aguacate es un árbol perennifolio que varía en cuanto a desarrollo y crecimiento, llegando a presentar una altura de 10 a 12 metros en su hábitat natural; es una especie de tallo leñoso que puede ser erecto, con un diámetro de 30 a 60 centímetros o más grueso en árboles muy viejos; también puede ser bajo y ancho, con ramas que se abren desde muy cerca del suelo (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 2009).

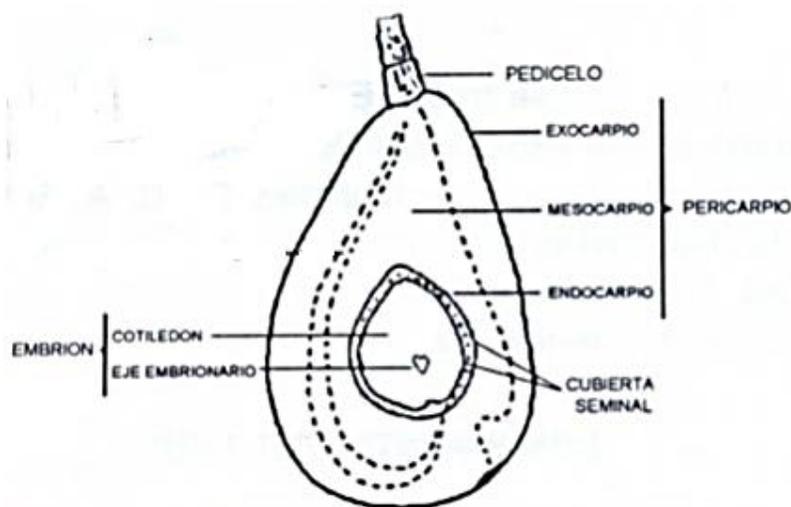
Las hojas están dispuestas de forma alterna. Son pedunculadas, muy brillantes, de forma lanceolada, con base aguda, margen entero y ápice agudo. El color de las hojas maduras es verde mate, el peciolo presenta estrías o surcos y el relieve de la venación por el haz es intermedio, usualmente levantado (IICA, 2009)

### **2.2.1 Morfología del fruto**

Es un fruto de una sola semilla, cuya pulpa es carnosa y es conocido como drupa, presenta una amplia variedad de colores, texturas y formas, puede medir de 7.5 a 33 centímetros de largo y hasta 15 centímetros de ancho, dependiendo del cultivar (Scora *et al.*, 2002).

El pericarpio puede ser desde color verde amarillo y alcanzar tonalidades oscuras, púrpuras, rojizas, o tan oscuras que llegan a parecer negras; en ocasiones tiene puntos amarillos cuya

textura suele ser lisa o rugosa, lustrosa u opaca; delgada o como cuero y de hasta 6 mm de gruesa; flexible o granulada y quebradiza (Barrientos, 2010)



**Figura 1. Morfología de fruto de *Persea americana* (Tomado y modificado de Barrientos, 2007).**

La semilla, única, puede ser ovoide, redonda o cónica, de 5 a 6.4 centímetros de largo, dura y pesada, de color marfil rosado, envuelta en dos capas como papeles de color café, frecuentemente adheridas a la cavidad pulposa, mientras la semilla sale fácilmente (Tiempo de aguacate, 2017).

### **2.2.2 Variedades**

Rodríguez (1982) menciona que las variedades comerciales de aguacate se clasificaron en tres grupos ecológicos o razas: la mexicana, la guatemalteca y la antillana. Para dicha clasificación se consideró la época de floración, la temporada de recolección, el periodo de floración-recolección, el peso y la corteza del fruto, la cantidad de aceite y la resistencia a bajas temperaturas; de igual manera, Scora *et al.* (2002) distinguieron 3 especies dentro del género *Persea*: *P. schiedeana*, *P. parviflora* y *P. americana*; de esta última, se han descrito

las tres razas o variedades botánicas con base en diferencias morfológicas, ecológicas y moleculares.

### 2.3 Fenología y desarrollo del aguacate

El árbol de aguacate muestra diversas fases fenológicas conforme se presentan las estaciones del año, debe entenderse entonces, que la fenología es la relación entre el clima y los fenómenos biológicos de las especies a través del tiempo; entre las principales etapas fenológicas del cultivo de aguacate, se encuentra el inicio y la diferenciación de las flores, el crecimiento vegetativo, el amarre y caída de frutos, así como el crecimiento y maduración de los mismos; el crecimiento de raíces y la abscisión de hojas también son etapas fenológicas importantes (Reyes *et al.* 2015).

La floración del aguacate comienza en el otoño y termina a finales de la primavera.



**Figura 2. Fases fenológicas del cultivo de aguacate (tomado y modificado de Cosmoagro, 2018).**

### 2.4 Importancia del cultivo

El principal productor de aguacate a nivel mundial es México; las estadísticas lo colocan en ese lugar debido al número de toneladas que se producen. En el 2017, fueron alrededor de 1,997,629 toneladas cosechadas, una cifra histórica y considerable que consolida a nuestro país como el principal productor y exportador de este frutal (SAGARPA, 2018); otros países como Republica Dominicana, Indonesia, Colombia, Estados Unidos, Chile y Perú también

producen miles de toneladas de aguacate anualmente, con base en datos consultados en la página web del SIAP (2016).

Rubí *et al.* (2015) mencionan que la producción nacional de aguacate muestra un claro crecimiento en cuanto a superficie cultivada y volumen de producción. Además de la importancia económica de este fruto, cabe resaltar que *P. americana* es una especie que no solo puede ser aprovechada por su alto valor nutricional, equivalente, según expertos, con el de la carne de cerdo o res, sino que posee otras propiedades que la convierten en una especie de importancia para el hombre, ya que sus frutos son utilizados en las industrias cosmética y farmacéutica para la elaboración de productos a base de extractos naturales como cremas, aceites y películas protectoras y de limpieza corporal, debido a la cantidad de aceites, vitaminas y otros nutrientes que contiene, además de ser una planta integral, pues la madera es altamente resistente, siendo usada para la fabricación de papel, muebles, entre otras cosas (Ornela y Yahia, 2002).

## **2.5 Limitantes para el cultivo de aguacate**

Al ser un monocultivo, el aguacate se encuentra propenso a diversos problemas fitosanitarios, entre los que se destacan las plagas y enfermedades; la mayor incidencia documentada asociada a insectos se presenta por algunas especies pertenecientes al orden Thysanoptera, comúnmente conocidos como trips, y también por organismos pertenecientes a la subclase Acari, coloquialmente llamados “araña roja”.

Sin embargo, el aguacate también está expuesto al ataque de otros organismos como *Stenomema catenifer*, el gusano arrollador de la hoja (*Platynota* sp.), y los escarabajos *Heilipus* sp. y *Copturomimus perseae*, barrenadores de semilla y rama, respectivamente (Wysoki *et al.*, 2002).

Así mismo, el aguacate también se ve afectado por diversas enfermedades producidas por hongos, bacterias y otros agentes patológicos, entre las cuales se destacan la antracnosis, tristeza del aguacatero, la roña, cercospora etc. En el estado de México, las principales

enfermedades que atacan al cultivo del aguacate son la tristeza del aguacatero, la mancha negra o cercospora, la antracnosis, fusariosis y la roña (SAGARPA, 2011).

### **2.5.1 Plagas del aguacate**

Se define como plaga agrícola a una población de animales fitófagos (se alimentan de plantas), principalmente artrópodos, que disminuyen la producción de los cultivos, ocasionando la reducción del valor de la cosecha o incrementando sus costos de producción (Cisneros, 2010).

Entre las principales plagas que atacan el aguacate, se encuentran los insectos chupadores de hojas, donde destacan los trips (*Frankliniella occidentalis*, *Heliothrips haemorrhoidalis*, Bouché; *Scirtothrips* spp, *Pseudophilothrips perseae*, Watson), las cochinillas y los pulgones; con este mismo hábito se presentan ácaros pertenecientes a los géneros *Tetranychus*, *Urticae*, *Evansi* y *Turkestanii*.

De igual manera, destacan los barrenadores de troncos y ramas (*Copturus aguacatae*, Kissinger), así como los perforadores de frutos y semillas como *Conotrachelus perseae* Barber y *Heilipus lauri* Boheman, los cuales tienen un mayor impacto económico, por el tipo de daño que producen, hecho que ha generado que sean consideradas especies cuarentenarias, limitando e impidiendo la exportación de los frutos (Tamayo, 2007).

### **2.4.2 Enfermedades del aguacate**

Al estudiar el proceso de desencadenamiento de una enfermedad vegetal, hay que considerar tres elementos: planta u hospedante, patógeno (hongo, bacterias o virus) y el ambiente; tríptico inseparable que nunca debe dejarse de lado, pues si bien el patógeno tiene importancia, no podrá actuar en un hospedante inmune o en condiciones medioambientales desfavorables (Figura 3). El hombre tiene un papel importante en el agroecosistema, interviniendo por medio de las prácticas culturales, y tratamientos fitosanitarios, modificando de esta manera el ambiente a través del tiempo.



**Figura 3. Triada ecológica de una enfermedad**

Para el cultivo de aguacate, se pueden agrupar las enfermedades de acuerdo al área afectada (Cuadro 1), siendo *Phytophthora cinnamomi* una de las más agresivas porque produce daños directamente en el sistema radical del árbol, generando secamiento en un lapso de tiempo muy corto; por otro lado, *P. americana* es una especie susceptible a la aparición de canchales en tronco y ramas, así como también los frutos son altamente propensos al ataque de hongos fitopatógenos como *Colletotrichum* y *Sphaceloma*.

<b>RAICES</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• TRISTEZA: <i>Phytophthora cinnamomi</i></li> <li>• PUDRICIONES: <i>fusarium</i> spp, <i>Armillaria mellea</i>, <i>Ganoderma lucidum</i></li> <li>• AGALLA DE LA CORONA: <i>Agrobacterium tumefaciens</i></li> </ul>
<b>TRONCO Y RAMAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CANCROS</li> <li>• MARCHITEZ DE PUNTAS</li> <li>• FUMAGINA</li> </ul>
<b>FOLLAJE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• MANCHAS</li> </ul>
<b>FRUTO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ANTRACNOSIS: <i>Colletotrichum gloeosporioides</i></li> <li>• ROÑA: <i>Sphaceloma persea</i></li> <li>• PUDRICIONES</li> </ul>

**Cuadro 1. Enfermedades del aguacate según el área afectada.**

### **2. 5 *Colletotrichum gloeosporioides* y Antracnosis**

La palabra antracnosis derivada del griego anthrax “carbón” significa ennegrecimiento y con ella se denomina al grupo de enfermedades que atacan el follaje, los tallos y los frutos, desencadenando síntomas con manchas oscuras o lesiones sumidas de borde elevado (Agrios, 2005).

Esta enfermedad es considerada de amplio espectro, ya que afecta un sin número de hospederos, cereales, pastos, legumbres, vegetales, ornamentales y cultivos perennes, incluidos los árboles frutales (cítricos), pino y caucho (Afanador-Kafuri *et al.*, 2003; Furtado y Trindade, 2005; Agrios, 2005; Talhinhos *et al.*, 2005; Damm *et al.*, 2012; Weir *et al.*, 2012).



**Figura 4. Fruto de aguacate con lesiones corchosas causadas por *C. gloeosporioides***

Gran parte de los casos reportados de antracnosis en el pasado tienen como agente etiológico a *Colletotrichum* spp. anamorfo de *Glomerella* spp. Éste género fue seleccionado como el octavo grupo más importante de hongos patógenos de plantas en el mundo, basado en la percepción científica de su importancia económica (Dean *et al.*, 2012).

La antracnosis es una de las principales enfermedades presentes en muchos cultivos en el mundo, para el caso particular del aguacate, es causada por *Colletotrichum gloeosporioides*; se presenta en las últimas etapas del desarrollo fenológico, afectando el amarre del fruto, y causando daño también en hojas y ramas, disminuyendo la capacidad fotosintética del árbol; puede permanecer como infección latente en los huertos de aguacate hasta por tres años, presentándose el proceso de infección hasta que existan condiciones ambientales óptimas para su desarrollo (Gutiérrez, 2004), tales como humedades por arriba del 90% y temperaturas mayores a 23° Celsius.

### 2.6.1 Clasificación taxonómica

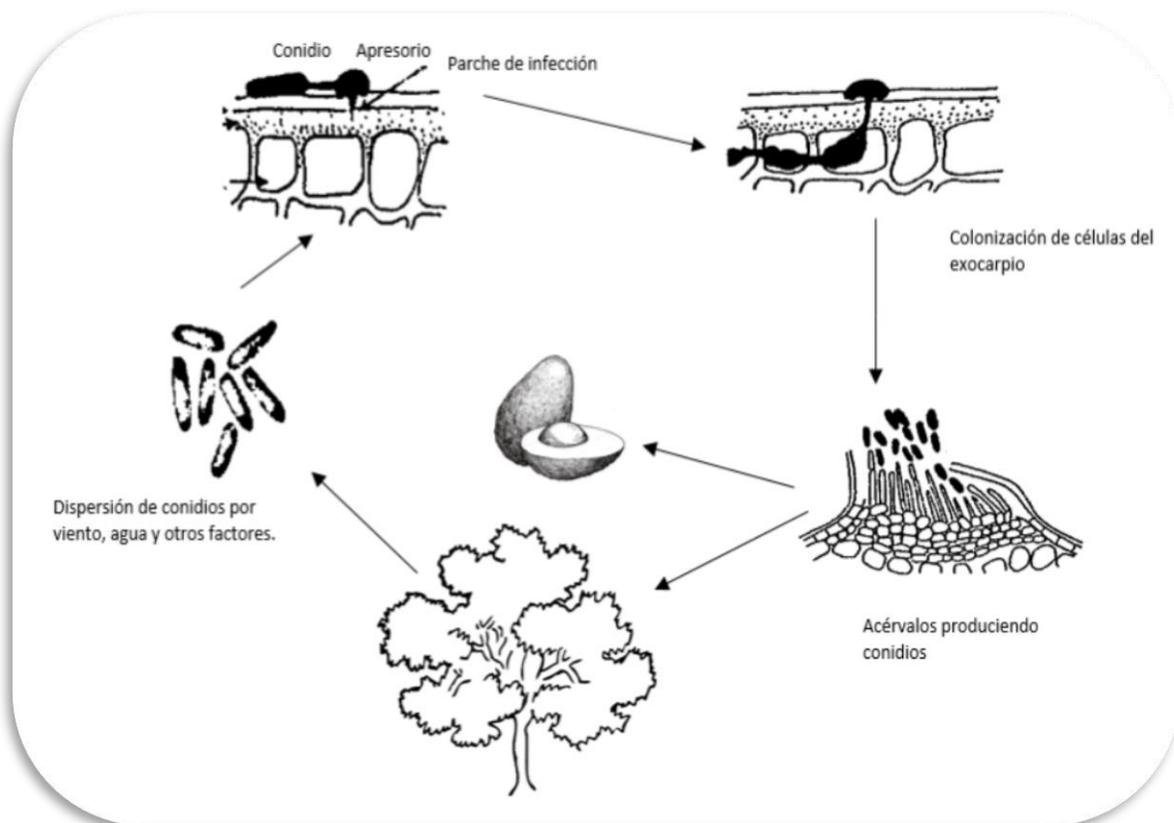
A continuación se presenta la clasificación taxonómica de *C. gloeosporioides*, de acuerdo con el Centro Nacional de Información Biotecnológica de los Estados Unidos de América (NCBI, 2007).

**Cuadro 2. Clasificación taxonómica general de *Colletotrichum gloeosporioides*.**

Reino	Fungi
Phylum	Ascomycota
Clase	Sordariomycetes
Subclase	Sordariomycetes incertae sedis
Orden	Phyllachorales
Familia	Phyllachoraceae
Género	Glomerella
Especie	<i>Glomerella cingulata</i> en su fase teleomórfica, sexual o perfecta <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> en fase anamórfica, asexual o imperfecta.

### 2.6.2 Ciclo biológico de la Antracnosis

En sentido amplio, los estilos de vida en las especies de *Colletotrichum* pueden clasificarse



**Figura 5. Ciclo biológico de *C. gloeosporioides*, causante de la antracnosis en el aguacate**

como necrótrofos, hemibiótrofos, latentes o quiescentes y endófitos; de los cuales el hemibiótrofo es el más común (De Silva et al., 2017). Las diferencias en el estilo de vida dependen de la especie *Colletotrichum*, la especie hospedero, la madurez fisiológica del hospedero y las condiciones ambientales. Por lo tanto, el género *Colletotrichum* ofrece una oportunidad única para analizar diferentes patrones de vida proporcionando información útil sobre las interacciones planta-patógeno.

La quiescencia se define como un período prolongado de tiempo en el ciclo de vida del hongo en el que el patógeno existe en forma latente (Prusky et al., 2013). Durante la quiescencia, la actividad patogénica parece estar suspendida y casi no se produce crecimiento. En estos casos, los patógenos permanecen latentes dentro del tejido de la planta antes de que se desarrollen los síntomas de la enfermedad (Prusky, 1996, Gomes et al., 2013, Prusky et al.,

2013, Shaw *et al.*, 2016). Sin embargo, la etapa quiescente del estilo de vida es difícil de definir ya que cada especie fúngica puede mostrar diferentes transiciones de la quiescencia a la necrotrofia. Los cambios fisiológicos, bioquímicos y ambientales pueden activar diferentes vías de transducción de señales defensivas relacionadas con las respuestas tanto del hospedero como del patógeno, que son importantes para mantener o facilitar la transición del estilo de vida (Prusky *et al.*., 2013).

El proceso de infección por *C. gloeosporioides* inicialmente se manifiesta con manchas redondas color marrón; paralelamente, el hongo produce una pudrición en la pulpa de fruto, que ocasiona un sabor desagradable y avanza hasta llegar a la semilla; (Suárez *et al.*, 1989) la fuente de infección proviene de las hojas caídas en el suelo, ramas, frutos muertos y enfermos que aún cuelgan del árbol.

Las condiciones de humedad relativa superior al 95% por un periodo mínimo de 12 horas favorecen su desarrollo. Se dispersa por medio de las salpicaduras del agua de lluvia y también por acción del viento CITA. El hongo penetra al interior del fruto por las lesiones causadas por insectos y aves o se posiciona sobre éste en cualquier etapa de su desarrollo antes de la cosecha (Whiley *et al.*, 2002).

La antracnosis es una de las principales enfermedades presentes en muchos cultivos, en el caso del aguacate, es causada por *C. gloeosporioides*; Rodríguez *et al.* (2009) indican que es una de las enfermedades principales que afecta la calidad de los frutos y llega a causar pérdidas cercanas al 20%, por ello, además de identificar al patógeno, es necesario conocer la interacción planta-patógeno.

*C. gloeosporioides* se hace presente durante las últimas etapas del desarrollo fenológico, afectando el amarre del fruto, y causando daño también en hojas y ramas, disminuyendo la capacidad fotosintética del árbol; puede permanecer como infección latente en los huertos de aguacate hasta por tres años, presentándose el proceso de infección hasta que existan condiciones ambientales óptimas para su desarrollo (Gutiérrez, 2004).

Zamora *et al.* (2001) realizaron un estudio sobre anatomía de daño por rozamiento y por *C. gloeosporioides* en frutos de aguacate Hass, aplicando la técnica de inclusión en parafina a tejidos sanos y enfermos, tanto dañados por rozamiento como por antracnosis del exocarpio y mesocarpio; mencionan que cuando la lesión por antracnosis se inicia, el daño se presenta en una pequeña parte del parénquima del exocarpio, conforme la lesión se desarrolla, la proporción de células muertas es mayor y muchas de estas colapsan, lo que da origen al síntoma externo típico de la lesión por antracnosis; además de la presencia de las estructuras reproductoras del hongo.

Gutiérrez *et al.* (2002) en su estudio sobre morfología y patogenicidad de aislamientos de *C. gloeosporioides* de frutos de guayaba mencionan que las especies de *Colletotrichum* afectan a un rango amplio de especies vegetales, no solo a la guayaba, y además causan enfermedades tanto en precosecha como en postcosecha; lo anterior coincide con lo reportado por Derbyshire y Shipway (1978), quienes mencionan que las pérdidas postcosecha ocasionadas por este patógeno se presentan principalmente en los trópicos, y es el factor principal que limita la exportación de frutos debido al deterioro de su calidad.

Marulanda *et al.* (2007) realizaron aislamientos de distintas especies de *Colletotrichum* mediante la utilización de marcadores ITS, de esta forma evaluaron la patogenicidad de las especies; mencionan que para el control de la antracnosis es necesario conocer la sintomatología en los cultivos e identificar y caracterizar el agente causal. La identificación de las especies del género *Colletotrichum* se basan principalmente en la morfología, el rango y especialización de los hospedantes y en el modo de parasitismo (Wharton y Diéguez, 2004).

### **2.6.3 Control**

El control de la antracnosis en el aguacate, y en general, de cualquier enfermedad que se presente en un cultivo agrícola debe estar basado principalmente en el monitoreo y manejo que se da.

Como en cualquier otro cultivo, para el control de la antracnosis en el aguacate se recomienda un manejo integrado, es decir, una serie de actividades que parten desde la planeación del

cultivo, hasta la comercialización, si es posible. Estas acciones comienzan con medidas preventivas que incluyen la limpieza del terreno, mejora del drenaje etc (Landeró *et al.*, 2016)

Una vez que el cultivo se encuentra ya establecido, el control incluye prácticas como podas sanitarias, manejo de cobertura y aireación en el árbol (Hartill *et al.*, 1991); es importante destacar que para el caso de frutales como el aguacate, se emplean medidas de control químico a base de productos fungicidas basados en oxiclóruo e hidróxido de cobre los cuales generalmente se aplican en intervalos de 28 días desde el amarre de fruto hasta la cosecha.

Sin embargo, el uso de productos químicos y orgánicos para el control de las plagas y enfermedades en los cultivos carece de precisión, ya sea a causa del exceso o dosis inadecuadas en la aplicación, la maquinaria utilizada, entre otras cosas, por lo que si el control no es adecuado, pueden surgir otros problemas, tales como que una plaga secundaria se convierta en primaria o que las enfermedades generen resistencia a los productos utilizados (Southwood, 1995; Manoilloff *et al.*, 1982).

Por otro lado, la buena nutrición en el cultivo es vital para el fortalecimiento del sistema de defensa de las plantas, una vez que esto sucede, la incidencia y severidad de las plagas y enfermedades se ven disminuidas considerablemente (Ureña-Zumbado, 2009).

## **2.7 Estadística espacial**

La estadística espacial hace referencia a un conjunto de técnicas estadísticas que cuantifican aspectos relacionados con la estructura de las distribuciones espaciales. Ramírez (2012) define a la estadística espacial como todo análisis que utiliza la herramienta estadística y que tiene una dimensión espacial, esto último refiriéndose a la propia dimensión, al objeto de análisis o a las variables que describen el objeto.

La característica distintiva del análisis estadístico de datos espaciales es que el patrón espacial de las localizaciones (objetos espaciales), la asociación espacial entre los valores observados en diferentes localizaciones (dependencia espacial) y la variación sistemática del

fenómeno en las distintas localizaciones (heterogeneidad espacial) se convierte en el mayor foco de investigación.

Estas herramientas no son sólo relevantes en Geografía, sino aplicables además a un amplio rango de áreas científicas, entre las que destacan la Biología y la Agronomía.

La distribución de una población describe su ubicación espacial, es decir, el área sobre la cual se encuentra; dicha distribución está influenciada por la existencia de condiciones ambientales adecuadas (Gaston, 1991). La distribución espacial de los organismos ha sido estudiada considerando los índices de dispersión y las distribuciones estadísticas normales (Krebs, 1999).

### **2.7.1 Geoestadística**

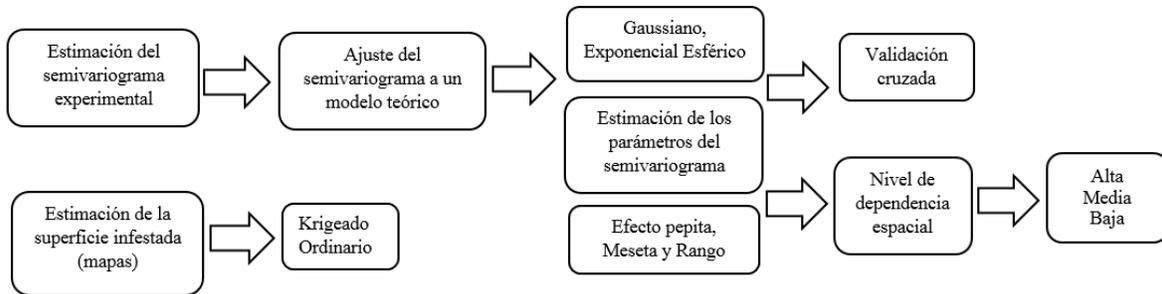
La Geoestadística, se reconoce como una rama de la estadística espacial, cuyo principal característica es el reconocimiento “a priori” de que los datos muestreados están correlacionados en el espacio en el que se han tomado; además, parte de la observación de que la variabilidad o continuidad espacial de las variables distribuidas en el espacio tienen una estructura particular, desarrollándose herramientas matemáticas para el estudio de estas variables dependientes entre sí, llamadas variables regionalizadas (Ramírez, 2012).

La estadística clásica permite dar explicación a los fenómenos que ocurren en la naturaleza, sin embargo, la Geoestadística también es una alternativa que permite describir precisamente los patrones de distribución espacial de plagas y enfermedades en los cultivos, empleando información acerca del valor que toma una variable y además de la ubicación espacial de los puntos de muestreo a fin de resumir la correlación entre puntos (Liebhold *et al.*, 1991).

### **2.7.2 Fases de un Estudio Geoestadístico**

Para la correcta obtención de un mapa de previsión de datos, se deben cumplir una serie de fases claramente diferenciadas: A. Análisis Exploratorio de los datos B. Análisis Estructural

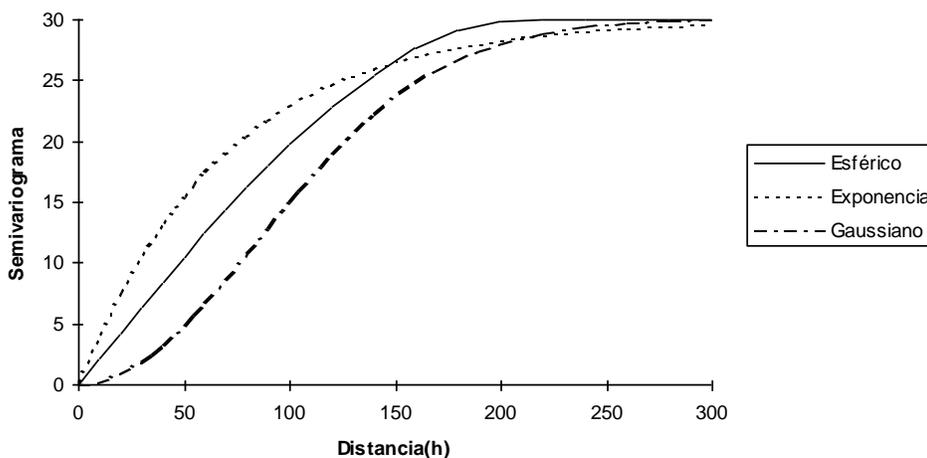
o Variografía C. Interpolación o Estimación Espacial. Kriging D. Validación del Modelo Geoestadístico (Ramírez, 2012)



**Figura 6. Diagrama del análisis geoestadístico.**

La primera fase, *Análisis exploratorio de datos*, incluye el proceso de verificar la normalidad de los datos tomados en campo, y de ser necesario, aplicar pruebas de curtosis para normalizarlos.

Una vez integradas las bases de datos, se lleva a cabo la fase del Análisis estructural, es decir, la creación del semivariograma experimental y su ajuste a modelos teóricos que permitan explicar la naturaleza del fenómeno estudiado; dichos modelos pueden ser Gaussianos, Exponenciales, Esféricos, Logarítmicos, de efecto agujero, etc.



**Figura 7. Modelos teóricos del semivariograma.**

### 2.7.3 Estimación de los parámetros del modelo del semivariograma

Los semivariogramas teóricos no son más que funciones con una expresión analítica sencilla y que, por ello, se emplean frecuentemente para representar semivariogramas reales. Debe indicarse, sin embargo, que en general sus expresiones no se han deducido a partir de ninguna hipótesis especial, ni pretenden representar procesos específicos. En este sentido, los modelos teóricos de Semivariograma no son realmente teóricos y este apelativo debe entenderse como acuñado por la práctica y no como un calificativo estricto (Englund y Sparks, 1988).

Los modelos de semivariograma deben de cumplir ciertas condiciones:

- 1) De la definición de semivariograma se deduce que  $\gamma(h)$  ha de ser idénticamente nulo en el origen.
- 2)  $\gamma(h)$  es una función “condicionalmente negativa definida”, o bien,  $-\gamma(h)$  es “condicionalmente positiva definida”.
- 3) Como consecuencia de la propiedad anterior, se puede demostrar que el semivariograma debe tener un ritmo de crecimiento inferior a  $h^2$  (Journel y Huijbregts, 1978).

Cuando se habla de modelos de semivariograma, se refiere a una serie de funciones de las que se sabe que satisfacen las condiciones anteriores. Estas funciones son las utilizadas en la práctica para ajustar los semivariogramas experimentales, ya que estos últimos pueden no satisfacerlas y son más incómodos para trabajar con ellos. Los modelos teóricos más comunes son los presentados en la Figura 7.

#### 2.7.3.1 Modelos teóricos del semivariograma

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

Modelo Esférico: Sus características, pues son el alcance y la meseta. Es uno de los más empleados en la práctica, cuando se presenta una distribución espacial en agregados. Se caracteriza porque alcanza la meseta para una distancia finita ( $h=a$ ).

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

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

#### **2.7.4 Proceso de validación cruzada**

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

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

Este proceso se efectúa sucesivamente en todos los puntos muestrales y las diferencias entre los valores experimentales y los estimados se resumen mediante los denominados estadísticos de validación cruzada (Isaaks y Srivastava, 1989; Hevesi *et al.*, 1992). Los parámetros del modelo a validar ( $C0$ ,  $C$  y  $a$ ) se van modificando en un procedimiento de prueba y error hasta la obtención de estadísticos de validación cruzada adecuados.

Estos estadísticos son los siguientes:

a) Media de los errores de estimación (MEE)

b) Error cuadrático medio (ECM)

c) Error cuadrático medio adimensional (ECMA)

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

### **2.7.5 Nivel de dependencia espacial**

De acuerdo con Cambardella *et al.* (1994), es importante establecer el nivel de dependencia espacial, con la finalidad de conocer el grado de relación entre los datos. Este valor se obtiene al dividir el efecto pepita entre la meseta y expresando en porcentaje el resultado. Si el resultado es menor de 25% el nivel de dependencia espacial es alta, si se encuentra entre 26 y 75% el nivel de dependencia espacial es moderado y si es mayor del 76% el nivel de dependencia es bajo.

### **2.7.6 Krigado**

Krigado es como se le conoce a un sistema lineal de ecuaciones generado bajo distintas hipótesis. De manera breve, se mencionan dos tipos de krigado, sin embargo, existen otros tipos que son utilizados de acuerdo a la naturaleza de cada estudio.

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

Krigeado Ordinario: Se utiliza cuando la variable es estacionaria con covarianza conocida y media desconocida.

### **2.7.5 Investigación estadística espacial en México**

Se puede considerar que la estadística espacial, y propiamente, la Geoestadística son de uso reciente en México, a continuación se presentan algunos estudios agronómicos relacionados:

En el año 2002, Ávila y colaboradores realizaron un trabajo sobre dinámica espacial y temporal de roña (*Sphaceloma perseae*), daño asociado a trips y antracnosis del aguacate en el estado de Michoacán, donde reportan que la antracnosis se presentó en las últimas etapas fenológicas del fruto utilizando estadística clásica para determinar la dinámica espacio-temporal; así mismo, en un segundo estudio, Ávila-Quezada et al. (2003) dieron continuidad a la investigación sobre dinámica espacial y temporal de la roña en un huerto de aguacate var. Hass en este mismo sitio, utilizando índices de dispersión, autocorrelación espacial, y mapas geotopográficos y de isolíneas; sus resultados arrojaron correlación significativa en el segundo mes de evaluación, sin embargo, en los siguientes meses no se presentó autocorrelación significativa.

Por su parte, Guzmán *et al.* (2004) realizaron un estudio para determinar la distribución espacial de la pudrición Radical del Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) por *Fusarium solani* en la Vega de Metztlán, en el estado de Hidalgo, donde evaluaron la severidad del daño por el patógeno en la raíz principal y la severidad de pudriciones blandas en raíces laterales, crecimiento radical e intensidad de la nodulación.

Tannure y Mazza (2004) caracterizaron la distribución espacial de larvas de *Alabama argillacea* en el Departamento de Lavalle, provincia de Corrientes, usando técnicas geoestadísticas y estimaron la densidad de insectos en puntos del lote no muestreados. Los resultados de esta investigación permitieron efectuar recomendaciones de manejo del cultivo tendientes a minimizar el impacto de esta plaga en la producción agrícola algodonera.

### 2.7.6 Estudios geoestadísticos en el Estado de México

En el Estado de México se han realizado diversos estudios acerca de la distribución de distintas plagas que se presentan en varios cultivos, entre ellos, el aguacate.

Utilizando la Geoestadística como herramienta, Ramírez y Porcayo (2010) llevaron a cabo un trabajo en el que se buscó establecer la existencia de una estabilidad espacial y temporal de las poblaciones del muérdago enano en el nevado de Toluca.

Higuera y Jasso (2011), realizaron un estudio sobre la distribución espacial del gusano soldado *Mythimna unipuncta*, asociado principalmente con el cultivo de maíz; con ayuda de la Geoestadística, se estimaron semivariogramas experimentales los cuales se ajustaron a un modelo teórico en el software Variowin 2.2, con lo que se determinó que los modelos gaussiano y esférico se presentaron en las localidades estudiadas; así mismo, para este estudio, se realizaron los mapas de agregación de la plaga logrando determinar las zonas de mayor incidencia y el patrón espacial, el cual fue agregado de acuerdo con los resultados obtenidos.

Ramírez *et al.* (2011) realizaron un estudio para determinar la estabilidad espacio temporal de la distribución espacial del Carbón de la Espiga del Maíz (*Sporisorium reilianum*) durante los años 2006 a 2009 en el municipio de Metepec, mencionan que el conocimiento de la distribución y estabilidad espacio temporal de una enfermedad es indispensable para la elaboración de programas de manejo integrado; en este estudio, los resultados arrojaron que la estadística clásica que fue aplicada no fue contundente en la determinación de la distribución espacial de la enfermedad mientras que con la Geoestadística se logró establecer el tipo de la distribución espacial que presentó dicha enfermedad a través de los mapas generados.

Quiñones *et al.* (2016) llevaron a cabo el estudio geoestadístico sobre roya del gladiolo, donde atribuyen que esta enfermedad presentó una distribución espacial de tipo agregada en las diferentes etapas fenológicas, ajustándose a modelos gaussianos y exponenciales.

Recientemente, Maldonado *et al.* (2016) identificaron como se distribuyen las poblaciones de trips en Coatepec harinas utilizando Geoestadística, reportando que dichas poblaciones se distribuyen de manera agregada en las parcelas de aguacate Hass que fueron estudiadas, dichas poblaciones se ajustan a modelos esféricos en su mayoría. Además de esto, determinaron la superficie infestada por el insecto a través de los mapas de densidad.

De igual manera, Lara Díaz *et al.* 2018 publican un estudio cuyo aporte es sumamente significativo, al realizar el proceso geoestadístico de simulación condicionada y no condicionada para predecir el comportamiento espacial de la enfermedad causada por *Claviceps gigantea* (Diente de caballo) a través del tiempo en el cultivo de maíz en el Estado de México.

### **2.7.7 Análisis Espacial Por Índices de Distancia (SADIE)**

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

SADIE es una herramienta para el análisis de datos espacialmente explícitos en una o dos dimensiones (ej. transectos y superficies) basada en índices de distancia. Aunque ha sido específicamente diseñada para el análisis de conteos (p. ej. Número de insectos por planta), SADIE puede utilizarse además con datos binarios y variables ordinales y continuas previamente categorizadas. Entre las principales virtudes de SADIE se encuentran su simplicidad de uso para realizar todos los análisis, su sencilla base matemática, la utilización

de pruebas estadísticas para evaluar la significación de los patrones espaciales observados y la posibilidad de representar visualmente los resultados obtenidos con su aplicación, lo que facilita enormemente su interpretación. Otras características de interés de SADIE son el hecho de que tiene en cuenta la localización espacial de los datos, éstos no necesitan seguir ninguna distribución determinada y los resultados obtenidos están condicionados únicamente por la heterogeneidad presente en los datos. Utilizando una serie de índices de distancia, SADIE permite caracterizar el patrón espacial de una variable dada dentro de la zona de estudio (distinguiendo fundamentalmente tres tipos de patrón espacial: agregado, regular o aleatorio) y estimar la contribución de cada punto de muestreo al patrón espacial global. SADIE también permite evaluar estadísticamente los patrones de asociación/disociación espacial de dos variables en la zona de estudio, siempre que los datos de ambas hayan sido tomados en las mismas coordenadas, y generar índices de asociación/disociación local para cada punto de muestreo que pueden ser representados gráficamente mediante mapas (Maestre y Quero, 2008)

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

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

de insectos que el índice de dispersión, el cual depende directamente de la abundancia de la población. Perry (1995a) indicó que para datos recolectados en ubicaciones específicas el uso de la distancia para la regularidad es muy adecuado.

El demostró cómo distinguir no aleatoriedad en la forma de heterogeneidad estadística, de la no aleatoriedad espacial. Perry (1995b) desarrolló y extendió el uso del índice de la distancia para la regularidad (Ia) para el establecimiento de la estructura espacial de las poblaciones de insectos. Además, introdujo dos diagramas de diagnóstico como ayuda a la interpretación y un índice nuevo para estimar el número de focos de agrupamiento de una población, el índice Ja. Además, señaló que la escala de muestreo es un determinante importante del patrón espacial total.

Alston (1996) corroboró que la distancia para la regularidad (D) proporciona bases más adecuadas para elaborar un índice, ya que el índice de agrupamiento desarrollado por Perry y Hewitt (1991) tiene serias limitaciones para detectar múltiples grupos, amontonamientos o parches.

### III. JUSTIFICACIÓN

---

La agricultura en el Estado de México representa la actividad económica más importante, tanto de riego como de temporal siendo los principales cultivos: maíz, chícharo verde, cebada, frijol, papa, alfalfa, trigo y aguacate.

Ante la importancia de un cultivo tan rentable como el aguacate, surge la necesidad de buscar estrategias que faciliten su manejo, y permitan a los productores tomar mejores decisiones. Los problemas fitosanitarios que se presentan en el cultivo de aguacate son cada vez mayores, y por ello es que se necesitan metodologías que permitan controlar dichos problemas de manera eficaz y oportuna, siempre en beneficio del ambiente y del sector productivo.

Actualmente son pocos los estudios en el Estado de México acerca de cómo se distribuyen espacialmente las plagas y enfermedades en el cultivo de aguacate, pero particularmente, no existen estudios que permitan conocer el panorama espacial de la antracnosis, enfermedad causada *C. gloeosporioides* en este cultivo.

Por lo anterior, es importante llevar a cabo estudios que permitan conocer la distribución espacial de enfermedades como la antracnosis y, de esta manera, proponer estrategias de manejo integrado y faciliten la toma de decisiones acerca del cultivo, considerando que el focalizar las medidas de control sería una estrategia que disminuiría considerablemente el impacto en el ambiente y, al mismo tiempo, optimizaría el uso de recursos del sector productivo aguacatero en el Estado de México.

## **IV. HIPÓTESIS**

---

La antracnosis es una enfermedad causada por *C. gloeosporioides* que se distribuye de forma agregada en los huertos de producción de aguacate Hass en el Estado de México.

## **V. OBJETIVOS**

---

### **Objetivo General**

Determinar la distribución espacial de *Colletotrichum gloeosporioides* en cuatro municipios del Estado de México.

### **Objetivos específicos**

Identificar la presencia de *C. gloeosporioides*, agente causal de la antracnosis en el aguacate.

Elaborar mapas de densidad de las poblaciones de Antracnosis en las zonas de estudio.

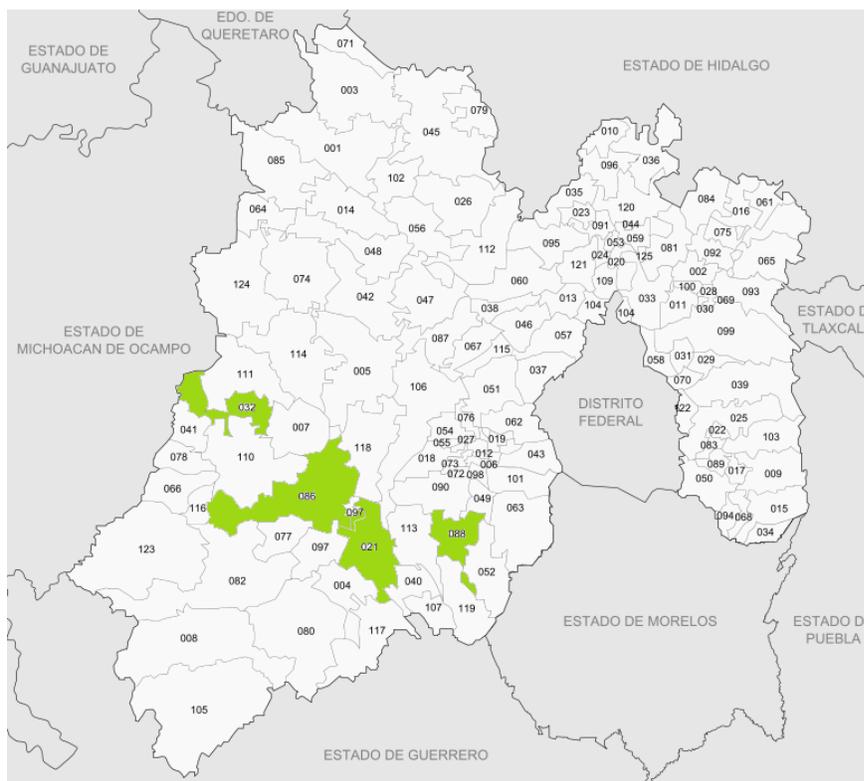
Estimar la superficie infestada y la estabilidad espacio-temporal de las poblaciones de antracnosis en las zonas de estudio.

## VI. METODOLOGÍA (MATERIALES Y MÉTODOS)

### 6.1 Zona de estudio

Para este trabajo se seleccionaron cuatro zonas de estudio en el Estado de México, el cual se encuentra ubicado geográficamente en el centro del país, formando parte del Eje Neovolcánico Transversal y la Sierra Madre del Sur, además, representa el 1.14% de la superficie total del territorio (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2009).

Los municipios seleccionados para este trabajo fueron Coatepec Harinas (021), Temascaltepec, Tenancingo y Donato Guerra (032), sitios donde se concentra la mayor producción aguacatera en el estado.



**Figura 8. Localización de la zona de estudio**

### **6.1.1 Coatepec Harinas**

Coatepec Harinas es un municipio ubicado en la falda sur del volcán Xinantécatl; a 35 kilómetros al sur de la ciudad de Toluca; 27 kilómetros al poniente de la ciudad de Tenancingo; 18 kilómetros al oriente de Texcaltitlán y 20 kilómetros al norte del municipio de Pilcaya, Gro. Se encuentra ubicado geográficamente entre los paralelos 18° 48' y 19° 05' de latitud norte y los meridianos 99° 43' y 99° 54', encontrando altitudes que varían desde 1,600 hasta 3,900 msnm; en este municipio predomina un clima templado subhúmedo con lluvias en verano (CW); su temperatura máxima es de 29°C y la mínima de 2°C. El tipo de suelo predominante en esta zona es Andosol, seguido de Luvisol, Phaeozem, Vertisol, y Leptosol (INEGI, 2009)

### **6.1.2 Tenancingo**

La ciudad de Tenancingo de Degollado es la cabecera municipal del municipio de Tenancingo; ésta se encuentra entre los 18° 57' 5'' y 19° 02' 25'' la latitud norte y entre los 98° 35' 45'' y 99° 38' 37'' de longitud oeste, con relación al meridiano de Greenwich.

La temperatura en esta zona va desde los 12 hasta los 22 °C, con una precipitación 1 000 – 1 000 mm y un clima 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%). Los tipos de suelo que se presentan en esta zona son Andosol, Vertisol, Cambisol, Phaeozem y Leptosol (INEGI, 2009).

### **6.1.3 Donato Guerra**

Donato Guerra está ubicado en las siguientes coordenadas del meridiano de Greenwich: máxima 19°24'07" de latitud norte y 100°19'13" de longitud oeste; mínima 19°14'11" de latitud norte y 100°03'17" de longitud oeste. 8 – 20°C, precipitación 1 000 – 1 200 mm, domina clima templado subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad, semifrío subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad y semicálido subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media (INEGI, 2009).

#### **6.1.4 Temascaltepec**

Temascaltepec se localiza al sur del Estado de México, ligeramente hacia el sudeste de Toluca, en las coordenadas geográficas 100°02' longitud oeste y 19°03' de latitud norte. A una altura de 1,740 metros sobre el nivel del mar. Los tipos de suelo predominante en esta zona son Andosol (46.45%), Cambisol, Phaeozem, Luvisol, Vertisol, Leptosol y Regosol. La temperatura en esta región oscila entre 12 – 16°C, con una precipitación anual 700 – 900 mm y con climas templado subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad, semifrío subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad, semicálido subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad y cálido subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media (INEGI, 2009).

#### **6.2 Trabajo de gabinete**

Se llevó a cabo una revisión documental sobre el cultivo de aguacate, su origen, distribución, domesticación, fenología, manejo, etc., así como de *C. gloeosporioides*, su ciclo biológico, dispersión y control. Además también se revisaron artículos científicos relacionados con estadística espacial y particularmente, Geoestadística, con el fin de comprender el concepto teórico de la herramienta y sus alcances.

#### **6.3 Trabajo de campo**

El estudio se llevó a cabo en cuatro municipios productores de aguacate en el Estado de México: Coatepec Harinas, Temascaltepec, Tenancingo y Donato Guerra. En cada zona fueron muestreados 200 árboles de aguacate cv. Hass distribuidos aleatoriamente en el total de la superficie de cada municipio, se verificó que el manejo agronómico del cultivo en las zonas muestreadas fuera llevado de forma similar, en las cuales se identificó la presencia de antracnosis (*C. gloeosporioides*).

Los muestreos se realizaron cada 14 días, revisando los 200 árboles en cada municipio, cuya edad osciló entre los siete y 10 años, a partir de enero hasta diciembre de 2017. Dichos arboles fueron etiquetados y georeferenciados espacialmente mediante un sistema de

posicionamiento global diferencial (DGPS), y se identificaron colocándoles una banda plástica de color verde en la base.

Así mismo, se llevó a cabo identificación visual de la presencia de *C. gloeosporioides* y de síntomas característicos de antracnosis en cada uno de estos árboles; posteriormente se seleccionaron cuatro ramas y cuatro frutos por estrato (alto, medio y bajo, 12 frutos en total por cada árbol), distribuidos hacia los cuatro puntos cardinales en cada árbol, esto con el objetivo de contabilizar el número de frutos enfermos por árbol (incidencia).

## **6.4 ANÁLISIS DE LABORATORIO**

### **6.4.1 Medio de cultivo PDA**

Las siglas PDA (Potato Dextrose Agar, PDA, por sus siglas en inglés) corresponden a los componentes del medio: papa, dextrosa y agar. Este medio se usa para aislar el patógeno. Los insumos para preparar este medio de cultivo son: PDA deshidratado 39 g/litro, agua destilada estéril 1 litro, frascos Erlenmeyer de 1000 ml y cajas Petri. Se pesaron los ingredientes, se colocaron en un vaso de precipitados, y se les agregó el agua; esta solución se envasó en dos frascos Erlenmeyer (500 ml en cada uno). Los frascos Erlenmeyer con el medio de cultivo PDA se esterilizaran en autoclave.

### **6.4.2 Identificación de *Colletotrichum gloeosporioides***

Se tomaron muestras de aguacates en 4 colectas durante el periodo de muestreo con los síntomas de antracnosis de cada zona de estudio para aislar a *C. gloeosporioides*, con el fin de corroborar a dicho agente causal a través de la inoculación de la cepa en medio de cultivo PDA (papa dextrosa agar).

Los frutos recolectados se colocaron en cámaras húmedas, y fueron colocadas en una incubadora a una temperatura de 25° C, posteriormente, se realizaron los aislamientos a través de cortes de secciones de tejido sano y enfermo de aproximadamente 0.5 cm; desinfección en etanol al 70% por 1 min y en hipoclorito de sodio al 1% por 2 min; enjuague de 1 min en agua destilada esterilizada; secado en papel toalla estéril; siembra de cinco

porciones de tejido por caja petri con medio PDA (papa 200 gr/l, dextrosa 20gr/l y agar 18 gr/l), e incubación a temperatura ambiente (+/-24°C) y luz continua.

Los cultivos se evaluaron cada dos días hasta observar el desarrollo de las colonias. Estas últimas se identificaron de forma preliminar como pertenecientes al género *Colletotrichum* spp., mediante observación al microscopio de estructuras reproductivas tales como acérvulos, masas de esporas, presencia o ausencia del estado sexual y presencia o no de setas (aumento de 100X).

La caracterización morfológica se realizó por medio de un análisis cualitativo de diferentes variables determinadas para estructuras reproductivas del hongo y características de crecimiento. El reaislamiento en el medio seleccionado se realizó a partir de cultivos de 10 días de edad, crecidos en medio PDA e incubados a 22°C. De cada aislamiento se extrajo un disco de 5 mm de diámetro con agar y micelio que se dispuso en el centro de una caja de Petri con medio PDA.

La identificación morfológica se realizó con ayuda de la clave propuesta por Barnett y Hunter (1998) y por Sutton (1992).

#### **6.4.2.1 Incidencia**

Se midió la incidencia en los frutos de árboles de aguacate que presentaron sintomatología de antracnosis, una vez contabilizados el número de frutos enfermos por árbol, se aplicó la siguiente fórmula:

Número de frutos enfermos/total de frutos X 100.

#### **6.5 Análisis Geoestadístico**

Con los datos obtenidos de la población de antracnosis en los muestreos realizados se estimó el semivariograma experimental (Isaaks y Srivastava, 1989) mediante la siguiente fórmula:

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

Donde

Donde:  $\gamma^*(h)$  = 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  $x_i$ , y  $z(x_i+h)$  = valor de la variable de interés en el punto muestral  $x_i+h$ . Los semivariogramas experimentales se obtendrán con el programa Variowin 2.2 (Software for Spatial Data Analysis in 2D. Spring Verlag, New York. USA.). Una vez obtenido el semivariograma experimental, se realizó su ajuste a un semivariograma teórico (Englund y Sparks, 1988) utilizando el programa Variowin 2.2 para determinar los valores de la meseta, rango o alcance y el efecto pepita.

### 6.5.1 Nivel de dependencia espacial

La determinación del nivel de dependencia espacial se obtuvo al dividir el efecto pepita por la meseta, este resultado fue expresado en porcentaje. Si el resultado es menor de 25%, el nivel de dependencia espacial se considera alto; si se encuentra entre 26 y 75%, el nivel de dependencia espacial es moderado, y si es mayor del 76%, el nivel de dependencia es bajo (Cambardella *et al.*, 1994; Rivera, 2016).

### 6.5.2 Validación

La validación de los diferentes modelos ajustados a los semivariogramas experimentales se realizó con el procedimiento denominado “validación cruzada” (Isaaks y Srivastava, 1989). Con este procedimiento no paramétrico, se elimina un valor muestral y se emplea el método de interpolación geoestadístico denominado krigado, junto con el modelo de semivariograma a validar, para estimar el valor de la variable de interés en dicho punto muestral, a partir de los restantes valores muestrales. Los parámetros del modelo a validar ( $C_0$ ,  $C$  y  $a$ ), se van modificando en un procedimiento de prueba y error hasta la obtención de estadísticos de validación cruzada adecuados.

### **6.5.3 Mapas de densidad y superficie infectada**

Para la elaboración de mapas se realizó la interpolación de valores mediante el krigado ordinario, que permite la estimación no sesgada de valores asociados a puntos que no fueron muestreados. Las estimaciones obtenidas fueron representadas en forma de mapa para cada muestreo de árboles enfermos mediante el uso del programa Surfer 9 (Surface Mapping System, Golden Software Inc. Colorado, EE.UU.). A través de los mapas elaborados se obtuvo el porcentaje de superficie infectada para cada muestreo, sobre la base de lo propuesto por Samper y Carrera.

## VII. RESULTADOS

---

### 7.1 Artículo “Distribución espacial de antracnosis en aguacate en el Estado de México, México”

Como resultados importantes de esta investigación se presenta la primera página del manuscrito titulado “Distribución espacial de antracnosis en aguacate en el Estado de México, México” enviado a la Revista Argentina de Microbiología.

```
Elsevier Editorial System(tm) for Revista
Argentina de Microbiologia
Manuscript Draft

Manuscript Number: RAM-D-17-00169

Title: Distribución espacial de antracnosis (Colletotrichum
gloeosporioides Penz) en aguacate en el Estado de México, México Spatial
distribution of anthracnose (Colletotrichum gloeosporioides Penz) in
avocado in the State of Mexico, Mexico

Article Type: Original

Keywords: Palabras clave: Colletotrichum gloeosporioides, Geoestadística,
krigeado ordinario aguacate

Key words: kriging, avocado, spatial distribution

Corresponding Author: Dr. JOSE FRANCISCO RAMIREZ DAVILA, Dr

Corresponding Author's Institution: UNIVERSIDAD AUTONOMA DEL ESTADO DE
MEXICO

First Author: ATENAS TAPIA RODRIGUEZ, Student

Order of Authors: ATENAS TAPIA RODRIGUEZ, Student; JOSE FRANCISCO RAMIREZ
DAVILA, Dr; MARTHA LYDIA SALGADO SICLÁN, DRA; ALVARO CASTAÑEDA
VILDÓZOLA, DR,; FÁTIMA IRAÍS MALDONADO ZAMORA, DRA; ANA VERONICA LARA
DIAZ
```

A continuación se presenta el manuscrito original enviado a la Revista Argentina de Microbiología, adecuado a la guía de autores de la misma, incluyendo figuras y tablas en el apartado de anexos que se encuentra al final del manuscrito; los resultados que se incluyeron en este artículo pertenecen a los muestreos de antracnosis en el aguacate en el Estado de México durante los meses de enero a junio de 2017.

### Distribución espacial de antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides* Penz.) en aguacate en el Estado de México, México

#### Resumen

El aguacate (*Persea americana*) es una especie cuyo cultivo es de gran importancia nutricional y económica para México; sin embargo, como cualquier otro cultivo, a menudo se ve afectado por plagas y enfermedades que limitan su comercialización a nivel mundial. El hongo fitopatógeno *Colletotrichum gloeosporioides* es el agente causal de la antracnosis en el aguacate y se manifiesta en las etapas tempranas del desarrollo del fruto, así como en poscosecha y durante el almacenamiento, en condiciones de alta humedad relativa (80%) y temperaturas desde los 20 °C. Las pérdidas económicas a causa de este hongo pueden ser de hasta el 20% de la producción. En el presente estudio se aplicaron métodos geoestadísticos para definir la distribución espacial de antracnosis en frutos de aguacate cultivar Hass en cuatro municipios del Estado de México, durante el periodo de enero a junio de 2017. La distribución de la antracnosis se ajustó a modelos gaussianos y exponenciales en la mayoría de los casos. Los mapas de infestación realizados mediante krigado muestran más de un centro de agregación de la enfermedad. Este análisis permitió estimar la superficie infestada: se encontró una infestación de más del 50% en los primeros muestreos y de hasta un 98% en los muestreos de junio en todas las zonas estudiadas.

**Palabras clave:** Aguacate, *Colletotrichum gloeosporioides*, Geoestadística, Krigado ordinario.

**Spatial distribution of anthracnose (*Colletotrichum gloeosporioides* Penz.) in avocado in the State of Mexico, Mexico**

**Abstrac**

*Persea americana* is a species of great nutritional and economic importance for Mexico, however, like any other agricultural crop, it is affected by pests and diseases that limit its worldwide commercialization. The phytopathogenic fungus *Colletotrichum gloeosporioides* is the causative agent of anthracnose in avocado and manifests itself in the early stages of fruit development as well as in post-harvest and storage, under conditions of high relative humidity (80%) and at temperatures from 20°C, causing losses economic up to 20% of production. Applying geostatistical methods the present study aims to define the spatial distribution of anthracnose in Hass avocado fruits in four municipalities of the State of Mexico during the period from January to June 2017. The results show that the distribution of anthracnose was adjusted to gaussian and exponential models in most, the infestation maps made through the kriging show more than one center of aggregation of the disease, based on it the infested surface was estimated, finding an infestation of more than 50% in the first samples and up to 98% in the samplings belonging to the month of June in all the areas studied.

**Key words:** avocado, kriging, spatial distribution

## Introducción

*Persea americana* es una especie milenaria que ha prevalecido hasta nuestros días como parte de la dieta en la mayor parte de México y Centroamérica, ya que de ella se obtiene el fruto del aguacate. Su alta demanda en el mercado, no solo nacional, sino internacional, ha incrementado considerablemente el número de hectáreas cultivadas y de toneladas cosechadas en todo el país, principalmente en Michoacán, donde actualmente existen más de 140, 000 hectáreas plantadas de aguacate, seguido de Jalisco y el Estado de México<sup>37</sup>.

Tanto pequeños como grandes productores del Estado de México invierten considerables recursos económicos en este cultivo, principalmente enfocados en el aprovechamiento del cultivar Hass<sup>34</sup>. Debido a la importancia comercial de este cultivo en el mercado nacional e internacional, el manejo integrado constituye una de las tareas básicas, dentro de la cual, el control de plagas y enfermedades debe ser realizado con prontitud y eficacia.

En las plantaciones comerciales del Estado de México se presentan fuertes daños por plagas y enfermedades que limitan su producción y comercialización, situación que se ve claramente reflejada en el rendimiento del cultivo<sup>26</sup>. La antracnosis representa uno de los problemas fitosanitarios más alarmantes en este cultivo en México, debido a que es una enfermedad de amplia distribución en las huertas y ocasiona daños principalmente en los frutos<sup>7</sup>.

La antracnosis es causada por especies del género *Colletotrichum* (*C. gloeosporioides*, *C. acutatum*, *C. boninense*)<sup>38</sup>; sin embargo, la especie que ha sido identificada como el principal

agente causal de la antracnosis en el cultivo de aguacate en México es *Colletotrichum gloeosporioides*. Este patógeno se presenta en temporada de lluvias y en condiciones de alta humedad relativa<sup>39</sup>, causando daños en hojas y frutos en cualquier etapa fenológica, y también en poscosecha. Las pérdidas asociadas a este patógeno se han estimado en alrededor del 20% de la producción nacional<sup>33</sup>.

Se menciona que *C. gloeosporioides* es un organismo que puede permanecer como infección latente en los huertos de aguacate por mucho tiempo<sup>11</sup>, esperando que surjan condiciones adecuadas de temperatura y humedad para causar daños, principalmente en los frutos, los que a consecuencia de ello presentan síntomas como manchas oscuras, hundidas, circulares o angulares, con presencia de masas de conidios de color rosa o salmón.

Hasta ahora, las investigaciones relacionadas con el arreglo espacial de las enfermedades se han basado principalmente en el análisis de la varianza y la media, además de determinar la incidencia de las enfermedades<sup>5,17,18</sup>; no obstante, este enfoque analítico no considera información sobre la ubicación de los organismos en el espacio, ni el grado de dependencia entre los datos.

La información sobre la antracnosis en el aguacate y otros cultivos como limón, papaya, guanábana y mango es diversa, sin embargo, la mayor parte de los estudios se enfocan en la caracterización e identificación a nivel molecular de especies del género *Colletotrichum*,

como el realizado por Morales<sup>25</sup>, mientras que sólo algunos trabajos analizan la distribución espacial de los organismos fitopatógenos.

Un ejemplo de estos estudios es el de Ávila Quezada et al.<sup>4</sup>, en el que usando estadística clásica (análisis de correlación), lograron determinar la distribución de roña y antracnosis en una parcela de aguacate Hass en Michoacán. De igual manera, Guzmán et al.<sup>13</sup> realizaron un estudio para determinar la distribución espacial de la pudrición radical del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) por *Fusarium solani*. Sin embargo, ninguno de estos estudios explica de manera precisa el patrón de distribución de las enfermedades, las cuales son controladas con la aplicación de agroquímicos. Dichos productos contrarrestan los daños, aunque resultan ser escasamente efectivos debido al desconocimiento de la biología, los hábitos y, principalmente, la distribución espacial de los organismos patógenos<sup>30</sup>.

Trabajos como los de Alves et al.<sup>3</sup> y Sánchez-Pale et al.<sup>36</sup> son un antecedente importante para la investigación de las enfermedades ocasionadas por hongos fitopatógenos en el Estado de México. En dichos reportes se destaca la necesidad de contar con metodologías que permitan determinar los patrones de distribución espacial que siguen las enfermedades, entre ellas la antracnosis.

Estudios como el realizado por Maldonado et al.<sup>20</sup> concluyen que la Geoestadística es un método efectivo para enriquecer el conocimiento de los problemas fitosanitarios en los cultivos y, de esta forma, facilitar las medidas de control.

Un ejemplo actual de la aplicación de métodos derivados de la Geoestadística es el aporte realizado por Acosta et al.<sup>1</sup> quienes analizaron la distribución espacial de trips y la efectividad del depredador *Amblyseius swirskii*. Además aplicaron una estrategia de control biológico sobre la plaga de trips, también en el cultivo de aguacate, en el Estado de México.

De la misma forma, Quiñones et al.<sup>28</sup> analizaron la distribución espacial de la roya transversal del gladiolo y encontraron agregación de la enfermedad en las zonas muestreadas en tres municipios mexiquenses, Tenancingo, Villa Guerrero y Ocuilan.

Por su parte, Ramírez et al.<sup>29</sup> mencionan que el uso de estadística clásica indicó inconsistencia en la determinación de la distribución espacial de *Sporisorium reilianum*, causante del carbón de la espiga en el maíz, mientras que con la estadística espacial lograron establecer el tipo de distribución que presentó la enfermedad, detectando agregación de las poblaciones, e identificando focos de infestación gracias a los mapas generados a través del krigado.

Partiendo de la premisa de que se presentan parches específicos de infección y etapas donde las enfermedades como la antracnosis alcanzan picos de infestación, se plantearon los siguientes objetivos: 1) determinar mediante métodos geoestadísticos la distribución espacial de la antracnosis en los huertos de aguacate Hass en los municipios de Coatepec Harinas,

Tenancingo, Donato Guerra y Temascaltepec, en el Estado de México; 2) elaborar mapas de la distribución de la enfermedad; 3) determinar la superficie infestada.

La finalidad de este estudio fue contribuir a la creación de estrategias de manejo integrado que favorezcan al medio ambiente, además de desarrollar planes de muestreo eficientes, que proporcionen los elementos necesarios para la toma de decisiones sobre el control de la antracnosis en el cultivo de aguacate en el Estado de México.

### **Materiales y métodos**

El estudio se llevó a cabo en los municipios de Coatepec Harinas, Tenancingo, Donato Guerra y Temascaltepec, ubicados en lo que se conoce como franja aguacatera en el sureste del Estado de México. Estos sitios presentan condiciones edafoclimáticas óptimas para el desarrollo del cultivo de aguacate (Reyes A., comunicación personal). En estos sitios predomina el clima templado subhúmedo con lluvias en verano, y las altitudes varían desde los 1,600 hasta los 2,900 msnm<sup>15</sup>. En estos municipios se identificó la presencia de antracnosis en aguacate.

Posteriormente, se seleccionaron 200 árboles de aguacate cv. Hass de 8-10 años distribuidos aleatoriamente en el total de la superficie geográfica de cada municipio, tras verificar que en esos sitios no se habían aplicado productos químicos y que el manejo agronómico era similar. Los muestreos fueron realizados cada 14 días, desde enero hasta junio de 2017. Se revisaron 12 frutos por árbol, distribuidos hacia los cuatro puntos cardinales en los estratos alto, medio

y bajo, y se contabilizó el número de frutos con síntomas de la enfermedad para obtener la incidencia de la enfermedad (tomado y modificado de Ávila Quezada et al.<sup>4</sup>).

Los árboles muestreados fueron etiquetados y georreferenciados para obtener la ubicación espacial precisa mediante un sistema de posicionamiento global diferencial dGPS (modelo SPS351, Trimble, EE.UU.). Los datos de incidencia obtenidos en cada muestreo fueron ingresados a una base de datos.

Asimismo, por municipio se seleccionaron 50 árboles que presentaban síntomas graves de la enfermedad y se tomó una muestra de tres frutos enfermos de cada uno de ellos, que fueron llevados al laboratorio de Fitopatología del Centro de Investigación y Estudios Avanzados en Fitomejoramiento de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la UAEM para la identificación morfológica de *C. gloeosporioides*.

Estos frutos fueron colocados en cámaras húmedas y puestos dentro de una incubadora a 24 °C. Después de 7 días, esas muestras de frutos fueron revisadas y se realizaron cortes y siembras de tejido enfermo (exocarpio) en medio de cultivo papa-dextrosa-agar (PDA), de acuerdo a la metodología empleada por Morales<sup>23</sup>, realizando una caracterización morfológica de cepas monoconidiales (MC), las cuales se sembraron nuevamente en PDA y fueron colocadas en una incubadora a 24 °C.

Las características consideradas para la identificación morfológica de las cepas fueron las siguientes: color, consistencia y tipo de crecimiento del micelio; dirección y longitud de las hifas del borde del cultivo; color y forma del cultivo; coloración del centro del cultivo y la presencia de anillos concéntricos; cabe mencionar que este procedimiento se llevó a cabo únicamente con la finalidad de corroborar que se trataba de la especie fúngica reportada en la literatura como el agente causal de la antracnosis para el aguacate en México.

#### Análisis geoestadístico

La Geoestadística comprende una serie de métodos y técnicas que permiten analizar y predecir los valores de una variable distribuida de manera continua en el espacio, en el tiempo o en ambos<sup>22</sup>. Para que un análisis geoestadístico sea considerado como tal, debe llevarse a cabo en tres etapas. La primera es la del análisis exploratorio de datos; a esta le sigue un análisis estructural, es decir, la estimación del semivariograma y de los parámetros del modelo de semivariograma; la tercera etapa es la de la estimación de la superficie infestada a través de mapas, los que surgen del krigado<sup>29</sup>.

Una vez integradas las bases de datos obtenidos en los muestreos de frutos de aguacate con antracnosis, se comenzó con la estimación de los semivariogramas experimentales a través de la metodología propuesta por Isaaks y Srivastava.<sup>16</sup> Cualquier función matemática se puede utilizar para un modelo de semivariograma, siempre que sea positiva y definida<sup>2</sup>. En la elaboración de los semivariogramas experimentales para cada muestreo se utilizó el

programa Variowin 2.2 (Software para el análisis de datos espaciales en 2D. Primavera Verlag, Nueva York; EE.UU.).

Para ajustar los modelos experimentales se usaron modelos teóricos, que usualmente son esféricos, gaussianos, exponenciales, de efecto pepita puro, logarítmicos, monómicos o de efecto agujero, en los cuales los parámetros de meseta, rango y efecto pepita se modifican hasta obtener estadísticos de validación cruzada que sean ideales y permitan validar matemáticamente los modelos ajustados, estos estadísticos son: la Media de los errores de estimación (MEE), el Error cuadrático medio (ECM) y Error cuadrático medio adimensional (ECMA)<sup>14</sup>.

#### Nivel de dependencia espacial

La determinación del nivel de dependencia espacial se obtuvo al dividir el efecto pepita por la meseta, este resultado fue expresado en porcentaje. Si el resultado es menor de 25%, el nivel de dependencia espacial se considera alto; si se encuentra entre 26 y 75%, el nivel de dependencia espacial es moderado, y si es mayor del 76%, el nivel de dependencia es bajo<sup>5,30</sup>.

#### Mapas de densidad y superficie infestada

Para la elaboración de mapas se realizó la interpolación de valores mediante el krigado ordinario, que permite la estimación no sesgada de valores asociados a puntos que no fueron muestreados. Las estimaciones obtenidas fueron representadas en forma de mapa para cada

muestreo de árboles enfermos mediante el uso del programa Surfer 9 (Surface Mapping System, Golden Software Inc. Colorado, EE.UU.). A través de los mapas elaborados se obtuvo el porcentaje de superficie infestada para cada muestreo, sobre la base de lo propuesto por Samper y Carrera<sup>35</sup>.

## **Resultados y discusión**

La antracnosis es una de las principales enfermedades ocasionadas por hongos del género *Colletotrichum* en los cultivos. Gañán et al.<sup>11</sup> mencionan que es una de las enfermedades que más afectan la producción de frutales en el mundo; ésta causa importantes pérdidas en frutales como limón, papaya, mango, lichi y banano, entre otros, y el aguacate no es la excepción, pues también su producción y comercialización se ven afectadas por la antracnosis. Reyes y Morales<sup>32</sup> mencionan que las enfermedades causadas por hongos como *Colletotrichum* ocasionan pérdidas de hasta el 40% de la producción de aguacate en Michoacán.

En este estudio se logró identificar a *C. gloeosporioides* como el agente causal de la antracnosis en aguacate de cuatro municipios del Estado de México que son productores de aguacate cv. Hass, y esto se hizo partiendo de frutos que presentaban síntomas de la enfermedad, es decir, manchas oscuras en el exocarpio, mediante siembras de conidios en medio de cultivo PDA.

Se observó que este hongo fitopatógeno presenta un micelio cuya coloración varía desde el blanco hasta el grisáceo oscuro, con aglomeraciones salmonadas de conidios cilíndricos o de forma elíptica, redondeados en el extremo terminal; esto coincide con lo reportado por Morales<sup>24</sup>, quien menciona que las colonias de *C. gloeosporioides* son variables.

En otra publicación<sup>25</sup>, este autor describe diversos síntomas atribuidos a antracnosis en las zonas de producción de aguacate Hass en el estado de Michoacán, y demuestra que las enfermedades como roña y antracnosis son limitantes y ocasionan daños graves en la capacidad fotosintética del árbol, al atacar hojas, flores y frutos en cualquier etapa fenológica. En coincidencia con dichas apreciaciones, en este trabajo se observó que en los municipios muestreados existían árboles cuyo porte presentaba daños por antracnosis, sobre todo en las etapas de floración y cuajado de los frutos, lo que causaba aborto y marchitez de puntas. Además se observaron lesiones hundidas y oscuras de tamaño variable, que posteriormente se tornaron blanquecinas debido a la presencia de masas de conidios en el pericarpio de los frutos.

#### Análisis geoestadístico

Es sabido que el daño por antracnosis en el cultivo de aguacate es más grave en la etapa de poscosecha, en la que causa deterioro en la calidad de los frutos, lo cual limita su valor para la exportación y comercialización<sup>12</sup>. Por ello, se han implementado diversas medidas de control que combinan la aplicación de productos fungicidas con la práctica cultural como medida preventiva, para evitar la etapa de infección de *C. gloeosporioides*; sin embargo, tales

esfuerzos no han resultado ser del todo efectivos para contrarrestar los efectos de la enfermedad en el cultivo y fue necesario incrementar las inversiones económicas para producir y aplicar controles fitosanitarios para la antracnosis y otras enfermedades presentes en el cultivo de aguacate. Estudios como el realizado por Morales<sup>24</sup> en huertos de aguacate en Michoacán dan cuenta de ello y sugieren que controlar la enfermedad implica un alto costo económico para el sector productivo.

Por otro lado, se han llevado a cabo estudios que pretenden dar explicación a la distribución de las enfermedades con el fin de proponer estrategias de manejo utilizando estadística clásica; tal es el caso del estudio de Ávila Quezada et al.<sup>4</sup>, en el que se señala que la roña y la antracnosis siguen un patrón agregado de distribución, aunque no se explica en su totalidad cómo se comportan dichas enfermedades, o si las zonas de infestación fueron las mismas durante todo el estudio. De igual manera, Guzmán et al.<sup>13</sup> realizaron un estudio para determinar la distribución espacial de la pudrición radical del frijol por *F. solani*, donde evaluaron la severidad del daño por el patógeno en la raíz principal y la gravedad de las pudriciones registradas en raíces laterales, así como el crecimiento radical y la intensidad de la nodulación. Estos autores, sin embargo, no explican de manera precisa el patrón espacial que sigue la enfermedad, ni proponen estrategias de manejo para el control de la pudrición.

La Geoestadística es una herramienta que hoy en día permite identificar específicamente las zonas donde se presentan brotes de plagas y enfermedades en los cultivos, lo cual facilita el manejo y control de estos problemas fitosanitarios de forma puntual y pertinente. Esto se ha

demostrado en estudios previos en cultivos como el tomate de cáscara, el maíz, el aguacate y el cacao, entre otros, en huertos ya establecidos en el Estado de México y otros estados mexicanos productores. Los resultados de estas investigaciones basadas en el empleo de métodos geoestadísticos han sido valiosos ya que facilitaron la toma de decisiones. Ejemplo de este tipo de investigaciones son las realizadas recientemente por Quiñones et al.<sup>28</sup>, quienes llevaron a cabo un estudio sobre la distribución espacial de la roya transversal ocasionada por *Uromyces transversalis* en el cultivo de gladiolo, y encontraron que esta enfermedad se distribuye de forma agregada durante todas las etapas fenológicas del cultivo, y los modelos gaussianos y esféricos por ellos presentados, explicaron mejor la dependencia espacial de dicha enfermedad.

También en el estudio de Ramírez et al.<sup>29</sup> se describe una estructura espacial agregada de la enfermedad causada por *S. reilianum* en maíz, de modo que ambos estudios concuerdan con los resultados obtenidos en este trabajo.

En este estudio se realizaron 12 muestreos en cada uno de los siguientes municipios: Coatepec Harinas, Tenancingo, Donato Guerra y Temascaltepec, de modo que se obtuvieron en cada uno de ellos un total de 12 semivariogramas y 12 mapas de infestación, abarcando los meses de enero a junio de 2017.

Con base en los semivariogramas obtenidos, en el municipio de Coatepec Harinas, la antracnosis en el aguacate se ajustó a modelos de distribución de tipo gaussiano en la mayoría de los muestreos. Esta enfermedad se distribuyó de forma continua: 5 muestreos —los dos de

enero, el primero tomado en marzo, el primero realizado en abril y el segundo de junio—siguieron un patrón de estructura exponencial, donde la antracnosis presentó tendencia a incrementarse; el muestreo realizado en la segunda quincena de febrero respondió a un modelo de tipo esférico, y presentó claramente focos de infestación (tabla 1). Para todos los modelos obtenidos en esta zona de estudio, el valor del efecto pepita fue cero, lo que denota un error de muestreo mínimo y una escala de muestreo adecuada<sup>1</sup>.

Los niveles de rango fluctuaron entre 19,2 y 41 metros, mientras que los valores de meseta se encontraron entre 0,9 y 5,14; para todos los modelos se encontró alto nivel de dependencia espacial, lo que permite afirmar que existe una alta correlación espacial entre los datos muestreados y una estabilidad importante de los centros de agregación<sup>6</sup>.

En Tenancingo, la distribución espacial de la antracnosis se ajustó mayormente a modelos de tipo gaussiano (Tabla 1), lo cual demuestra que la enfermedad se encuentra dispersa de manera continua dentro de la zona muestreada; sin embargo, en el primer muestreo de febrero y el segundo de junio, la enfermedad presentó un comportamiento de tipo esférico, lo que señala una distribución más focalizada, con sitios donde existe mayor incidencia.

Esto coincide con lo reportado por Ramírez y Sánchez<sup>29</sup>, quienes identificaron zonas de mayor infestación de *S. reilianum*; sin embargo, no fue del 100% del área muestreada en ese estudio. Asimismo, en el primer muestreo de antracnosis para el mes de junio el semivariograma mostró un comportamiento de tipo exponencial, es decir, un incremento

acelerado de la enfermedad; el rango para estos modelos osciló entre 17,6 y 27,2 m, con un efecto pepita de cero para todos los casos, lo que indica mínimo error de muestreo, y valores de 0,96 hasta para la meseta.

En todos los muestreos de este municipio, el nivel de dependencia espacial fue alto, resultado que permite determinar qué tan robusta es la relación entre los datos obtenidos en los muestreos, y se concluye los datos están estrechamente relacionados entre sí.

En el municipio de Donato Guerra, los modelos a los que se ajustaron las poblaciones de antracnosis fueron en su mayoría de tipo esférico (Tabla 1), ello indica un comportamiento más estable de la enfermedad, con focos de infestación bien establecidos; el rango de estos modelos se mantuvo entre 24 y 41,8 m; solo en los muestreos de febrero, el segundo de abril y el segundo de junio, se presentaron modelos gaussianos que hacen referencia a la continuidad de la enfermedad, el rango para estos modelos osciló entre 20,8 y 30,6 m. En todos los muestreos de este municipio el efecto pepita fue cero, se infiere que la variación dada a través de los semivariogramas sigue una estructura espacial establecida, donde el error de muestreo fue mínimo, como en los municipios anteriores, y el nivel de dependencia espacial fue alto, con una relación muy estrecha entre los datos<sup>29</sup>.

En el caso de Temascaltepec, los estadísticos de validación cruzada indicaron que los semivariogramas obtenidos se ajustaron a modelos de tipo gaussiano principalmente (Tabla 1), es decir, que la enfermedad se presentó de manera continua, en coincidencia con lo

informado por Quiñones et al.<sup>28</sup>, quienes reportan que las enfermedades como la roya del gladiolo siguen un comportamiento espacial agregado que se ajusta a modelos de tipo gaussiano. En este municipio también se presentaron modelos exponenciales y solo en tres muestreos fueron esféricos, con parámetros de rango de 17,6 a 34,5 m, el valor mínimo de meseta fue de 1,14 y el mayor de 4,42; para todos los modelos, el efecto pepita también fue cero, lo que corrobora que el muestreo fue adecuado y, de igual manera, que hubo alto nivel de dependencia espacial en todos los muestreos<sup>28</sup>.

#### Mapas de densidad y superficie infestada

Con los modelos obtenidos se elaboraron los mapas de la incidencia de la antracnosis por muestreo en cada municipio a través del krigeado ordinario, los cuales mostraron focos de infestación más graves, principalmente en los meses de abril, mayo y junio en Coatepec Harinas (Figura 1a), donde el mayor porcentaje de superficie infestada fue de 95% en el segundo muestreo de junio, y el menor de 58% en el primer muestreo de marzo, ambos enmarcados en un modelo de tipo exponencial. Ramírez et al.<sup>29</sup> también hallaron que los valores máximo y mínimo de superficie infestada por *S. reilianum* en maíz se presentaron en modelos de tipo exponencial; en este municipio se pueden observar los centros de agregación, sobre todo en los extremos izquierdo y superior del mapa, los que se vuelven más definidos a partir del mes de abril y se conservan hasta el final de los muestreos, aunque en el último muestreo de junio se presentó otro centro de agregación, que puede observarse bien definido en el extremo inferior derecho del mapa. Lo anterior permitirá focalizar las medidas de control, sobre todo en los meses previos al comienzo de la temporada de lluvias y a la floración del aguacate.

En el municipio de Tenancingo, la distribución espacial de la antracnosis se presentó en centros de agregación cuyo comportamiento fue constante a lo largo de los seis meses de muestreo, estos se concentraron principalmente del lado izquierdo del mapa, aunque la mayor incidencia de la enfermedad se presentó en la segunda quincena de marzo, en abril y en la primera quincena de mayo (Figura 1b), donde el menor porcentaje de superficie infestada fue del 86% en febrero y marzo y se ajustó a modelos de tipo esférico y gaussiano, mientras que para el mes de abril se incrementó hasta el 98%. Este es el porcentaje más alto de infestación asociado a un modelo gaussiano.

Los porcentajes de infestación en este municipio de Tenancingo se mantuvieron por arriba del 90% en los meses de mayo y junio, cabe mencionar que a lo largo de los seis meses de muestreo, este porcentaje de infestación fue alto con respecto al que se presentó en Coatepec Harinas y en los otros dos municipios muestreados. Por otro lado, el porcentaje de infestación menor en este municipio fue mayor con respecto a los porcentajes de menor infestación en los otros municipios muestreados, lo que indica que la enfermedad se presentó de manera más constante en esta zona. Lo anterior sugiere que los productores deben aplicar algún método de control en los árboles de aguacate de toda la zona de estudio, esto difiere con lo mencionado por Carvalho et al.<sup>7</sup>, pues, al existir porcentajes tan altos de infestación en este caso, el manejo de la enfermedad no puede hacerse de manera tan focalizada como en los otros sitios donde se llevó a cabo el muestreo. Sin embargo, se deben seguir realizando monitoreos para conocer el comportamiento espacio-temporal de la antracnosis en esta zona.

En el municipio de Donato Guerra, el mayor porcentaje de superficie infestada se presentó en el mes de enero (97%), mientras que el más bajo se presentó en el primer muestreo de febrero (57%). En este municipio se pueden observar tres centros de agregación bien definidos que se mantuvieron a lo largo de los seis meses de muestreo, en la parte superior, central e inferior derecha de cada mapa (Figura 1c).

El haber encontrado este arreglo de los centros de agregación indica que la enfermedad se comportó de manera más estable, con un avance desde la parte superior e inferior y con otro foco en el centro, lo cual se asemeja a lo informado por Alves et al.<sup>3</sup>. En dicho trabajo se menciona que las enfermedades como la antracnosis presentan un foco inicial y posteriormente se generan focos secundarios, que permiten la dispersión de la enfermedad a toda la zona muestreada. Otros autores sugieren que las medidas de control de las enfermedades como la antracnosis deben dirigirse hacia sitios específicos<sup>26,28</sup>.

La superficie de infestación por antracnosis en Temascaltepec osciló entre el 76% y el 98%, este último dato corresponde a los muestreos de junio. Aunque no se presentó un gran número de centros de infestación, estos se mantuvieron claramente definidos; los focos de infestación se pueden observar en la parte inferior de los mapas en la mayoría de los muestreos (Figura 1D), con cierta tendencia a ubicarse hacia el extremo izquierdo, lo cual indica alta probabilidad de que el brote de la enfermedad se encontrara en esa zona del municipio. Esto

es importante porque las medidas de control deben dirigirse hacia sitios específicos donde existe alta probabilidad de encontrar el origen de la enfermedad<sup>7</sup>.

La variación existente en el porcentaje de superficie infestada, así como la distribución espacial de la antracnosis en los municipios de muestreo, se deben a varias circunstancias que dependen, en gran parte, de la biología de la especie. También influyen factores agroecológicos y edafoclimáticos, entre los que se incluyen temperatura, humedad, precipitación, tipo de suelo, etcétera.

Autores como Maanen y Xu<sup>21</sup> mencionan que las condiciones ambientales y las características del patosistema determinan la estructura de las enfermedades y, por ende, el arreglo espacial. Esto permite dar explicación a los resultados encontrados en este trabajo, pues de acuerdo con Reyes y Morales<sup>32</sup>, la temperatura favorable para el desarrollo de la antracnosis varía dentro del rango de 12 °C a 36 °C en campo, en presencia de porcentajes de humedad relativa cercanos al 80%. En este estudio se pudo corroborar que tanto la temperatura como la precipitación y la humedad relativa mensual fueron factores de gran importancia en la incidencia de la antracnosis, con un rango de temperaturas promedio que fue desde los 11,7 °C al inicio del muestreo (enero) hasta llegar a una temperatura media de 17,8 °C en mayo<sup>9</sup>, en los cuatro municipios de muestreo, en coincidencia con las zonas donde se presentaron los focos de infestación.

Por otro lado, los datos asentados de precipitación muestran un incremento considerable, con valores de 17 mm en marzo, de 86,6 mm en mayo y de 119,7 mm en junio<sup>9</sup>. De esta manera, se comprueba que el inicio de la temporada de lluvias y el incremento de aquellas (en abril y mayo) favorecen las condiciones para dar comienzo al ciclo de la enfermedad, con la dispersión de los conidios del hongo a través del agua. De igual manera, los porcentajes de humedad relativa se encontraron entre el 60% y el 80%, con aumentos en los meses de abril a junio.

Bajo esas condiciones podrían resultar favorecidos otros mecanismos de dispersión de los conidios de *C. gloeosporioides*, incluidos el viento y la acción de insectos vectores como los trips<sup>4</sup>, y la formación de estructuras de reproducción (tubo germinativo y apresorios) que facilitan el proceso infeccioso, al permitir la entrada del patógeno al tejido susceptible, principalmente representado por las hojas y los frutos. En estos últimos, el hongo penetra en el pericarpio y causa pudrición en la pulpa, lo que reduce la calidad del fruto de aguacate y ocasiona problemas de comercialización. Rodríguez et al.<sup>33</sup> mencionan que el pericarpio de los frutos de aguacate contiene compuestos antifúngicos que limitan el desarrollo de los síntomas de la antracnosis; sin embargo, conforme el fruto madura, dichos compuestos son menos abundantes y el proceso infeccioso se vuelve más grave. Por su parte, Fisher et al.<sup>10</sup> mencionan que las altas incidencias de las enfermedades como la antracnosis están estrechamente relacionadas con la capacidad de resistencia que poseen los fitopatógenos, como *C. gloeosporioides*.

Los resultados de este trabajo contribuyen ampliamente al conocimiento de la distribución espacial de la antracnosis en el aguacate, porque hasta ahora los estudios sobre la distribución espacial de esta enfermedad son escasos y no existen trabajos que utilicen a la Geoestadística para determinar la distribución de la antracnosis en este cultivo. Los semivariogramas experimentales obtenidos y el ajuste de estos a modelos teóricos, así como su validación, demostraron que existe relación espacial entre los datos de incidencia de antracnosis obtenidos en los muestreos.

Estos hallazgos coinciden con los de Cárdenas<sup>6</sup>, quien menciona que los semivariogramas y los mapas generados a través del krigeado permiten identificar focos de infección de las enfermedades. Este investigador también sugiere que la Geoestadística es una herramienta que permite dar explicación al arreglo espacial que siguen las enfermedades en los cultivos, y, de esta manera, puede contribuir a la toma de decisiones precisas y oportunas y a la generación de estrategias de manejo integrado. Además, es posible reducir los costos de control y focalizar las medidas, identificando los sitios específicos donde hay mayor incidencia de las enfermedades, como es el caso de la antracnosis en este trabajo. Sin embargo, se deben seguir realizando estudios acerca de los patrones espaciales y la estabilidad espacio-temporal que sigue la antracnosis en el cultivo de aguacate en el Estado de México.

## **Conclusiones**

En este estudio, la aplicación de la Geoestadística permitió conocer la distribución espacial de la antracnosis en el aguacate cv. Hass en los municipios de Coatepec Harinas, Tenancingo,

Donato Guerra y Temascaltepec, en el Estado de México. La antracnosis mostró un comportamiento de tipo agregado en todas las zonas de muestreo, ajustándose principalmente a modelos de tipo gaussiano y esférico. Además se obtuvo la superficie infestada gracias a la elaboración de mapas a través del krigeado ordinario. Es importante conocer los patrones de distribución espacial que siguen las enfermedades en los cultivos de importancia económica, como lo es el aguacate en el Estado de México, a fin de proponer estrategias de manejo integrado que permitan optimizar los recursos y favorecer a los productores, y que a su vez permitan reducir los daños ecológicos y ambientales por el uso excesivo de productos químicos.

## **Referencias**

1. Acosta AD, Ramírez JF, Rivera R, Figueroa DK, Lara AV, Maldonado FI, Tapia A. Spatial Distribution of Thrips spp. (Thysanoptera) and Evaluation of their Control with the Predator *Amblyseius swirskii* in Avocado Orchards in Mexico. Southwest. Entomol 2017; 42:435-446
2. Armstrong M, Jabin R. Variogram models must be positive definite. Mathem. Geol. 1981; 13:455-459
3. Alves, MC, Pozza, EA, Machado JC, Araujo DV, Talamini V, Oliveira MS. Geoestadística como metodología para estudar a dinâmica espaço-temporal de doenças associadas a *Colletotrichum* spp. transmitidos por sementes. Fitopat. Bras. 2006; 31:557-563
4. Ávila Quezada G, Téliz D, González..., Vaquera, Tijerina, Johansen, Mojica. Dinámica espacio-temporal de roña, daño asociado a trips y antracnosis del aguacate en Michoacán, México. Rev. Méx. Fito. 2002; 20:77-87

5. Cambardella C, Moorman T, Novak J, Parkin T, Karlen D, Turco R, Konopka A. Field scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 1994; 58: 1501–1511
6. Cárdenas N J. Análisis espacial de la incidencia de enfermedades en diferentes genotipos de cacao (*Theobroma cacao* L.) en El Yopal (Casanare), Colombia. *Act Biol. Col.* 2017; 22: 209-220
7. Carvalho AM, Moreira SF, Ampelio PE, Silva OM. Modeling spatial variability and pattern of rust and brown eye spot in coffee agroecosystem. *J. Pest Sci.* 2009; 82: 137-148
8. Ceja LF, Téliz D, Osada S, Morales JL. Etiología, distribución e incidencia del Cancro del aguacate *Persea americana* Mill. en cuatro municipios del Estado de Michoacán, México. *Rev. Méx. de Fito.* 2000; 18:79-86
9. Comisión Nacional del Agua. Servicio meteorológico nacional. 2017
10. Fisher MC, Henk DA, Briggs CH, Brownstein JS, Madoff L, McCraw L, Gurr S. Emerging fungal threats to animal, plant and ecosystem health. *Nat.* 2012; 484:7393. Doi: 10.1038/nature10947
11. Gañán L, Álvarez E, Castaño ZJ. Identificación genética de aislamientos de *Colletotrichum* spp. causantes de antracnosis en frutos de aguacate, banano, mango y tomate de árbol. *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat.* 2015; 39:339- 347
12. Gutiérrez-Alonso JG, Gutiérrez-Alonso O, Nieto-Ángel D, Téliz-Ortiz D, Zavaleta-Mejía, E., y Delgadillo-Sánchez, F. Manejo integrado de la antracnosis [*Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. y Sacc.] del mango (*Mangifera indica* L.) durante la poscosecha. *Rev. Mex. Fito.* 2004; 22:395-402

13. Guzmán RA, Gómez R, García R, Gavi F. Distribución espacial de la pudrición radical del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) por *Fusarium solani* (Mart.) Sacc. f. sp. phaseoli (Burk.) Snyd. y Hans. en la Vega de Metztlán, Hidalgo, México. Rev. Mex. Fito. 2004; 22:246-258
14. Hevesi J, Istok J, Flint A. Precipitation estimation in mountainous terrain using multivariate geostatistics, part I, structural analysis. J. Appl. Meteorol. 1991; 31:661-676.
15. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2009
16. Isaaks EH, Srivastava RM. An Introduction to Applied Geostatistics. 1989. Oxford University Press, New York
17. Madden LV, Hughes G. Plant disease incidence: distributions, heterogeneity, and temporal analysis. Annu Rev Phytopathol. 1995; 33:529-64
18. Madden, L. V., and Hughes, G. Sampling for plant disease incidence. Phytopathol. 1999; 89:1088-1103
19. Maldonado FI, Ramírez JF, Rubí M, Némiga, X, Lara AV. Distribución espacial de trips en aguacate en Coatepec Harinas, Estado de México. Rev. Mex. Cienc. Agric. 2016; 7:845-856
20. Maldonado FI, Ramírez JF, Lara AV, Rivera R, Acosta AD, Figueroa DK, Tapia A. Stability of the Spatio-Temporal Distribution of Trips in Avocado Orchards in the State of Mexico, Mexico. Southwest. Entomol 2017; 42: 447-462
21. Maanen VA, Xu XM. Modelling plant disease epidemics. European J. Plant Pathol. 109: 669-682

22. Moral G. Aplicación de la Geoestadística en las ciencias ambientales. *Ecosist.* 2004; 13: 78-86
23. Morales JL. Caracterización cultural, morfológica, patogénica y molecular de *Colletotrichum gloeosporioides* Penz. causante de la antracnosis del aguacate de Michoacán. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 1996; 96
24. Morales, G.J. La antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides* Penz.) y la roña (*Sphaceloma perseae* Jenk.) del aguacate en Michoacán, México: Epidemiología, predicción y caracterización. Tesis de Doctor en Ciencias. Instituto de Fitosanidad. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. México. 2000; 137
25. Morales GJL. Caracterización cultural, morfológica, patogénica e isoenzimática de aislamientos de *Colletotrichum gloeosporioides* Penz., causante de la antracnosis del aguacate (*Persea americana* Mill.) en Michoacán, México *Revista UDO Agrícola* 9 (4): 848-856. 2009
26. Navas CJA, Landa BB, Mercado J, Trapero-Casas JL, Rodríguez D, Jiménez RM. Spatiotemporal analysis of spread of infections by *Verticillium dahliae* pathotypes within a high tree density olive orchard in southern Spain. *Phytopathol.* 2008; 98:167-180
27. Ploetz R. Fusarium Wilt of Banana Is Caused by Several Pathogens Referred to as *Fusarium oxysporum* f. sp. *Cubense*. Symposium Fusarium-Induced Diseases of Tropical Perennial Crops. 2006; 96: 653-656
28. Quiñones R, Sánchez JR, Pedraza-Esquível AK, Castañeda A, Franco O. Distribución espacial de la roya transversal (*Uromyces transversalis*) del gladiolo durante el ciclo

primavera-verano en la región sureste del estado de México. Rev. FCA UNCUYO. 2016; 48: 209-220

29. Ramírez JF, Sánchez JR, De León C. Estabilidad Espacio Temporal de la Distribución del Carbón de la Espiga del Maíz (*Sporisorium reilianum*) en el Estado de México, México. Rev. Méx. Fito. 2011; 29:1-14

30. Ramírez JF, Solares VM, Figueroa DK, Sánchez JR. Comportamiento espacial de trips (Insecta: Thysanoptera), en plantaciones comerciales de aguacate (*Persea americana* Mill.) en Zitácuaro, Michoacán, México. Act. Zool. Méx. 2013; 93:545-563

31. Reyes Alemán JC. 2016 comunicación personal.

32. Reyes A, Morales JL. Determinación de la temperatura óptima de desarrollo in vitro de *Colletotrichum gloeosporioides* Penz. en aguacate “Hass”, en la zona aguacatera de Michoacán, México. Proceedings VI World Avocado Congress (Actas VI Congreso Mundial del Aguacate) 2007.

33. Rodríguez ES, González JM, Mayek N. La Infección de *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. y Sacc. en Aguacatero (*Persea americana* Mill.): Aspectos Bioquímicos y Genéticos. Rev. Méx. Fitopatol. 2009; 27: 53-63

34. Rubí M, Franco AL, Rebollar S, Bobadilla E, Martínez I, Siles Y. Situación actual del cultivo del aguacate (*Persea americana* Mill.) en el Estado de México, México. Trop. and subtrop. Agroecos. 2013; 16:93-101

35. Samper, FJ; Carrera J. Geoestadística: Aplicaciones a la hidrología subterránea. 2a Ed. Centro Internacional de Métodos en Ingeniería. Barcelona. 1996. 484 p.

36. Sánchez-Pale J R, Ramírez J F, González A, de León C. Patrón espacial del carbón de la espiga del maíz en diferentes localidades del Estado de México. *Rev. Méx. de Cien. Agri.*, 2015; 6:1467-1480
37. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2017; México.
38. Silva HV, Ávila GD. Phylogenetic and morphological identification of *Colletotrichum boninense*: a novel causal agent of anthracnose in avocado. *J. Plant Pathol.*, 2011; 60: 899–908
39. Yakoby N, Beno D, Keen N, Dinooor A, Pines A, Prusky D. *Colletotrichum gloeosporioides* pelB is an important virulence factor in avocado fruit–fungus interaction. *Mol. Plant–Microbe Int.* 2001b; 14:988–995

**Tabla 1. Parámetros (efecto pepita, rango, media, varianza, pepita/meseta y nivel de dependencia espacial) de los modelos ajustados a los semivariogramas de antracnosis en aguacate en Coatepec Harinas de enero a junio 2017**

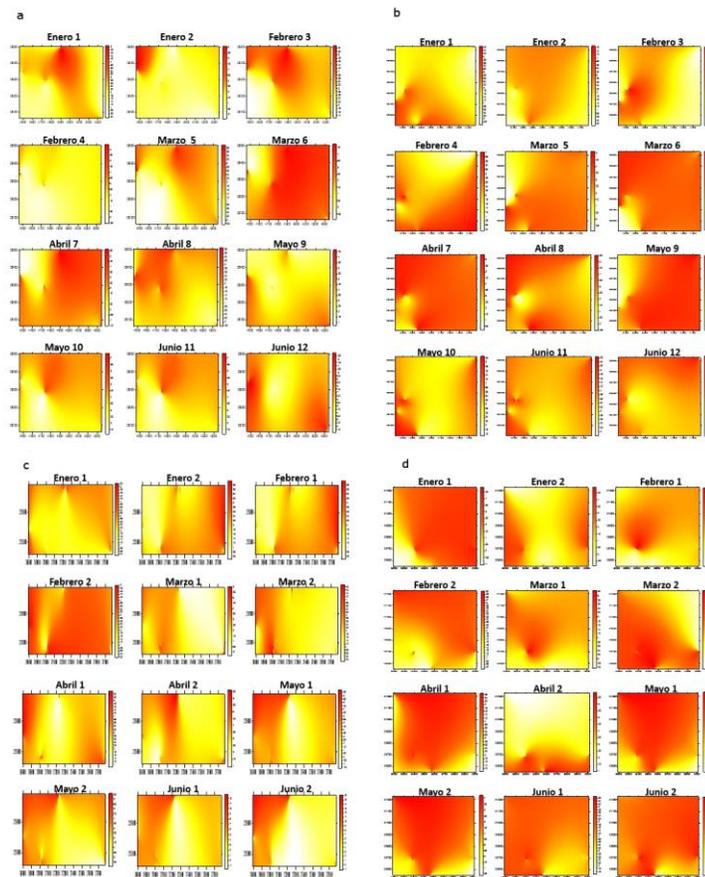
MUESTREO	MEDIA	VARIANZA	MODELO	PEPITA	RANGO	MESETA	PEP/MESETA	DEPENDENCIA ESPACIAL
COATEPEC H.								
ENE-01	1,63	1,486	Exponencial	0	41	1,088	0	ALTA
ENE-02	1,50	2,282	Exponencial	0	40	2,573	0	ALTA
FEB-01	2,50	2,051	Gaussiano	0	19,2	1,659	0	ALTA
FEB-02	2,08	4,024	Esférico	0	35	2,624	0	ALTA
MAR-01	1,61	1,143	Exponencial	0	25,6	1,08	0	ALTA
MAR-02	2,816	2,160	Gaussiano	0	22,4	2,068	0	ALTA
ABR-01	2,77	2,227	Gaussiano	0	20,8	1,886	0	ALTA
ABR-02	2,32	1,469	Exponencial	0	40	1,122	0	ALTA
MAY-01	4,73	21,204	Gaussiano	0	22,394	0,95996	0	ALTA

MAY-02	3,92	3,567	Gaussiano	0	24	3,312	0	ALTA
JUN-01	4,57	9,888	Gaussiano	0	20,8	514,767	0	ALTA
JUN-02	5,24	9,291	Exponencial	0	20,8	4,464	0	ALTA
<b>TENANCINGO</b>								
ENE-01	2,205	1,882	Gaussiano	0	24	1,691	0	ALTA
ENE-02	1,82	1,505	Gaussiano	0	24,7	1,425	0	ALTA
FEB-01	2,565	1,935	Esférico	0	27,2	1,377	0	ALTA
FEB-02	2,22	1,619	Gaussiano	0	25,6	1,513	0	ALTA
MAR-01	2,975	3,572	Gaussiano	0	24	3,123	0	ALTA
MAR-02	3,02	2,381	Gaussiano	0	17,6	2,232	0	ALTA
ABR-01	2,81	2,074	Gaussiano	0	19,2	1,407	0	ALTA
ABR-02	2,86	3,648	Gaussiano	0	27,2	2,183	0	ALTA
MAY-01	3,68	1,051	Gaussiano	0	20,8	0,946	0	ALTA
MAY-02	4,18	2,771	Gaussiano	0	24	2,1	0	ALTA
JUN-01	3,91	3,238	Exponencial	0	24	2,871	0	ALTA
JUN-02	5,12	7,667	Esférico	0	27,2	6,16	0	ALTA
<b>DONATO GUERRA</b>								
ENE-01	2,185	2,724	Esférico	0	36,1	4,355	0	ALTA
ENE-02	2,165	2,761	Esférico	0	38	2,24	0	ALTA
FEB-01	2,055	1,971	Gaussiano	0	30,6	4,55	0	ALTA
FEB-02	2,405	1,629	Gaussiano	0	25,6	1,411	0	ALTA
MAR-01	2,66	3,027	Esférico	0	38,4	2,263	0	ALTA
MAR-02	2,19	2,566	Esférico	0	24	2,002	0	ALTA
ABR-01	3,14	1,859	Esférico	0	33,6	1,558	0	ALTA
ABR-02	3,095	2,408	Gaussiano	0	20,8	2,538	0	ALTA
MAY-01	4,3	6,442	Esférico	0	41,8	3,575	0	ALTA
MAY-02	5,445	5,584	Esférico	0	27,474	386,381	0	ALTA
JUN-01	5,25	6,057	Gaussiano	0	24	4,88	0	ALTA
JUN-02	5,45	8,831	Esférico	0	30,4	8,36	0	ALTA

**TEMASCALTEPEC**

ENE-01	1,46	2,008	Esférico	0	34,5	1,46	0	ALTA
ENE-02	2,22	2,929	Gaussiano	0	26,6	3,752	0	ALTA
FEB-01	2,025	1,662	Gaussiano	0	22,4	1,377	0	ALTA
FEB-02	1,94	1,463	Esférico	0	22,4	1,44	0	ALTA
MAR-01	1,47	1,205	Gaussiano	0	17,6	1,14	0	ALTA
MAR-02	2,92	1,641	Exponencial	0	22,4	1,428	0	ALTA
ABR-01	3,5	3,336	Esférico	0	28,8	2,108	0	ALTA
ABR-02	3,47	2,411	Gaussiano	0	20,8	2,28	0	ALTA
MAY-01	3,91	2,785	Exponencial	0	20,8	252,215	0	ALTA
MAY-02	4,27	6,592	Gaussiano	0	20,8	4,422	0	ALTA
JUN-01	4,23	3,997	Gaussiano	0	25,6	231,987	0	ALTA
JUN-02	4,97	5,150	Exponencial	0	22,8	3,64	0	ALTA

**Figura 1**



**Mapas de superficie infestada por antracnosis en Coatepec Harinas (A), Tenancingo (B), Donato Guerra (C) y Temascaltepec (D)**

## 7.2 Artículo “Análisis espacial de las poblaciones de antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides* Penz.) en el cultivo de aguacate en el Estado de México, México.”

El siguiente artículo fue enviado a la Revista Scientia Fungorum., cuyo acuse de recepción se encuentra a continuación. De igual manera, se incluye el artículo tal cual fue enviado a la revista

14/11/2018

Gmail - [SF] Acuse de recibo de envío



Atenas Tapia <atenastp@gmail.com>

---

### [SF] Acuse de recibo de envío

1 mensaje

---

**Gerardo Mata** <gerardo.mata@inecol.mx>  
Para: Hola Atenas Tapia Rodríguez <atenastp@gmail.com>

14 de noviembre de 2018, 22:06

Hola Atenas Tapia Rodríguez:

Gracias por enviar el manuscrito, "Análisis espacial de las poblaciones de antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides* Penz.) en el cultivo de aguacate en el Estado de México, México" a Scientia Fungorum. 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://scientiafungorum.org.mx/index.php/micologia/author/submission/1233>  
Nombre de usuario/a: atenas

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

Gerardo Mata  
Scientia Fungorum

---

Scientia Fungorum  
[scientiafungorum.org.mx](http://scientiafungorum.org.mx)

## **Análisis espacial de las poblaciones de antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides* Penz.) en el cultivo de aguacate en el Estado de México, México**

Atenas Tapia-Rodríguez<sup>1</sup>, José Francisco Ramírez Dávila<sup>2</sup>, Fátima Irais Maldonado Zamora<sup>1</sup>, Agustín David Acosta Guadarrama<sup>1</sup>, Ana Verónica Lara Díaz<sup>1</sup> y Roberto Rivera Martínez<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Programa de Maestría y Doctorado en Ciencias Agropecuarias en Recursos Naturales. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad Autónoma del Estado de México. ([atenastp@gmail.com](mailto:atenastp@gmail.com)), ([jframirezd@uaemex.mx](mailto:jframirezd@uaemex.mx)), ([irita\\_3@hotmail.com](mailto:irita_3@hotmail.com)), ([davinn@hotmail.com](mailto:davinn@hotmail.com)), ([sakua\\_2@yahoo.com](mailto:sakua_2@yahoo.com)), ([rob\\_m@live.com](mailto:rob_m@live.com)).

1. Programa de Maestría y Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, Universidad Autónoma del Estado de México.

2. Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México. Campus el Cerrillo, Piedras Blancas, Toluca, Estado de México. Autor de correspondencia

### **Resumen**

El presente estudio contribuye al conocimiento de la distribución espacial de la antracnosis en huertos de aguacate del Estado de México. El estudio se llevó a cabo en los municipios de Coatepec Harinas, Tenancingo, Donato Guerra y Temascaltepec. Se utilizó el método de estadística espacial para determinar la distribución de la antracnosis, basado en el método SADIE (análisis espacial por índices de distancia). Los muestreos se realizaron quincenalmente durante los meses de julio a diciembre del 2017. Seleccionando aleatoriamente 200 árboles por municipio, estos se localizaron geográficamente utilizando un navegador Trimble modelo eTrex. La distribución espacial de la antracnosis en el aguacate fue diferente en cada uno de los municipios evaluados. Los mapas obtenidos mostraron que

en el municipio de Tenancingo presentó la mayor densidad de antracnosis, respecto a los municipios de Temascaltepec y Donato Guerra. El índice de SADIE permitió determinar que la antracnosis tuvo una distribución agregada, en varios centros de agregación. Las poblaciones de antracnosis de los tres municipios se ajustaron a diferentes modelos (gaussiano, esférico y exponencial), validándolos mediante el método de validación cruzada. La distribución espacial de la antracnosis se corroboró con la elaboración de mapas a través del krigado.

### **Palabras clave**

Aguacate, *Colletotrichum gloeosporioides*, SADIE

### **Abstrac**

The present study contributes to the knowledge of the spatial distribution of anthracnose in avocado orchards of the State of Mexico. The study was carried out in the municipalities of Coatepec Harinas, Tenancingo, Donato Guerra and Temascaltepec. The spatial statistics method was used to determine the distribution of anthracnose, based on the SADIE method (spatial analysis by distance indices). The samplings were made biweekly during the months of July to December 2017. By randomly selecting 200 trees per municipality, these were located geographically using a Trimble eTrex model navigator. The spatial distribution of anthracnose in the avocado was different in each of the municipalities evaluated. The obtained maps showed that in the municipality of Tenancingo had the highest anthracnose density, with respect to the municipalities of Temascaltepec and Donato Guerra. The SADIE index allowed determining that anthracnose had an aggregate distribution, in several aggregation centers. The anthracnose populations of the three municipalities were adjusted

to different models (Gaussian, spherical and exponential), validating them using the cross validation method. The spatial distribution of the anthracnose was corroborated with the elaboration of maps through the kriging.

**Key words:** Avocado, *Colletotrichum*, SADIE.

## **Introducción**

En México, uno de los cultivos agrícolas más importantes cultural y económicamente es el aguacate (*Persea americana* Miller). En los últimos años, el número de hectáreas sembradas del cultivo ha incrementado de manera considerable (231,028 ha) (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesca, 2018); la producción de aguacate en el país se concentra principalmente en el estado de Michoacán, siendo reconocido como el mayor productor y exportador a nivel nacional, seguido de otros estados como Jalisco, Nayarit y el Estado de México, cuya producción de este último se centra particularmente en los municipios de Coatepec Harinas, Temascaltepec, Tenancingo de Degollado, Villa de Allende, Donato Guerra y recientemente, en el municipio de Ocuilan; los primeros cinco se encuentran formando parte de la faja aguacatera que se conecta geográficamente con Michoacán.

Estos municipios productores de aguacate comparten características edafoclimáticas que los convierten en sitios idóneos para el establecimiento de este cultivo; presentan altitudes que van desde los 1700 hasta los 2200 msnm, donde el clima predominante es subhúmedo con lluvias en verano con una temperatura promedio anual de 19.2° C. Además del cultivo de aguacate, las principales especies agrícolas que se cultivan en estas zonas del estado son *Zea*

*mays, Cucurbita pepo, Hordeum sativum, Opuntia spp. Prunus pérsica*, entre otras, cuyo uso principal es comestible, mientras que también se cultivan diversas especies florícolas de alto valor comercial, sobre todo en los municipios del sur del estado.

El aguacate es uno de los regalos que México ha dado al mundo, cada día, la demanda comercial de este frutal a nivel mundial es mayor, por lo que se busca que la producción sea de calidad; aspectos de manejo y control fitosanitarios se han convertido en una de las principales preocupaciones para el sector productivo aguacatero; plagas y enfermedades que se presentan en los huertos han limitado considerablemente la calidad de los frutos.

Uno de estos problemas fitosanitarios es la enfermedad conocida como antracnosis, una de las patologías que se presenta con mayor frecuencia y que más daños provoca, sobretodo en poscosecha (Maeda, 2014).

La antracnosis es una enfermedad fúngica de distribución cosmopolita, cuyos daños generan pérdidas en el sector productivo agrícola; cultivos de importancia relevante como el café, mango, banano, limón, papaya y aguacate son afectados por esta enfermedad; los síntomas son causados por especies de hongos fitopatógenos del grupo de los deuteromicetes u hongos imperfectos, principalmente, por aquellas pertenecientes al género *Colletotrichum* (anamorfo), generando manchas irregulares de tonalidades salmonadas que posteriormente se tornan grisáceas, marrones o negras debido a la presencia de acérvulos y conidios en hojas y frutos (Maeda, 2014).

En el caso particular del aguacate, se ha identificado a especies de este género como las responsables de la aparición de manchas hundidas, necróticas de forma elipsoidal en hojas y frutos.

Especies como *Colletotrichum hymenocallidis* y *Colletotrichum siamense* han sido recientemente identificadas también como causantes de antracnosis en aguacate, sin embargo, la especie que prevalece como el principal agente causal es *Colletotrichum gloeosporioides*, debido al alto porcentaje de patogenicidad y a los mecanismos de dispersión que presenta, generando daños considerables en los frutos (Trinidad, 2017).

Kermack y McKendric (1927) son reconocidos en la ciencia por sus aportes significativos a la Epidemiología Humana, cuyos trabajos llevaron a la comprensión de la dinámica de las enfermedades, desarrollando un sistema de ecuaciones matemáticas cuyo alcance se aplica actualmente en diferentes campos de la ciencia, entre ellos, la Agronomía, donde estos fundamentos matemáticos permiten conocer, comparar y predecir el comportamiento espacial y temporal de las enfermedades en las plantas (Torres *et al.* 2010).

Es así, que metodologías derivadas de la estadística espacial, propiamente Geoestadística y el Análisis Espacial por Índices de Distancia (SADIE), han sido ampliamente utilizadas en el análisis de distribuciones de plagas y enfermedades, así como su interacción con el ambiente y otras variables agronómicas, considerando al espacio geográfico como “un conjunto de sitios ocupados por plantas enfermas, sanas, expuestas o removidas” en donde resulta necesario conocer la dinámica espacial que siguen.

El panorama socioeconómico actual muestra que el establecimiento del cultivo de aguacate en diversas regiones del Estado de México y de otros estados del país va en aumento, el número de hectáreas sembradas tan solo en este estado, ha incrementado considerablemente durante los últimos años, por lo que se hace necesario y urgente establecer estrategias de manejo, para facilitar la toma de decisiones. En este sentido, los estudios de dinámica espacial de las enfermedades son forzosos para conocer aspectos como localización de focos, forma y direccionalidad de agentes causales, añadiendo, además, que el clima es uno de los factores abióticos más importantes que determinan la distribución espacial de una especie y en el caso particular de *Colletotrichum gloeosporioides*, influye directamente en la colonización de un hospedero.

Debido a la importancia del cultivo de aguacate y de la enfermedad para el Estado de México, el objetivo de este trabajo consistió en analizar la distribución espacial de la antracnosis en cuatro municipios productores de aguacate en el Estado de México, utilizando herramientas derivadas de la estadística espacial, es decir, Geoestadística y el Análisis Espacial por Índices de Distancia (SADIE).

## **Materiales y Métodos**

### **Área de estudio**

El Estado de México se encuentra ubicado al centro del país, colindando al norte con los estados de Michoacán, Querétaro e Hidalgo, al este con Tlaxcala, Puebla y Ciudad de México, al sur con Morelos y Guerrero, y al Oeste con Michoacán (INEGI, 2018), representando el 1.1% del territorio nacional. Los municipios de Coatepec Harinas y Tenancingo de Degollado se ubican al sur de la entidad, mientras que Donato Guerra y

Temascaltepec se ubican geográficamente al sureste del estado, colindando con el estado de Michoacán y los municipios de Villa de Allende e Ixtapan del Oro (Prontuario municipal, 2009).

### **Muestreo en campo**

Con el apoyo de productores aguacateros cooperantes de cada municipio, se seleccionaron de manera aleatoria y fueron georeferenciados 200 árboles de aguacate cv Hass cuyo rango de edad osciló entre los cinco y 10 años, distribuidos en los cuatro puntos cardinales de cada municipio; posteriormente, de los 200 árboles, se seleccionaron 50, y de estos, se tomaron 12 ramas por árbol para contabilizar frutos con síntomas de antracnosis, de esta manera se obtuvo la incidencia de la enfermedad por árbol muestreado, este muestreo de frutos con antracnosis se llevó a cabo cada 15 días durante los meses de julio a diciembre del año 2017.

### **Análisis geoestadístico**

Una vez integradas las bases de datos obtenidos en los muestreos de frutos de aguacate con antracnosis, se llevó a cabo la estimación de los semivariogramas experimentales utilizando el software Variowin 2.2 (Software para el análisis de datos espaciales en 2D. Primavera Verlag, New York; EEUU). Dichos semivariogramas experimentales fueron ajustados a modelos teóricos del semivariograma, los cuales suelen ser esféricos, gaussianos, exponenciales, de efecto pepita puro, logarítmicos, monómicos y de efecto agujero, donde los parámetros de meseta, rango y efecto pepita se van modificando hasta obtener estadísticos de validación cruzada que sean ideales y permitan validar matemáticamente los modelos ajustados, estos estadísticos son:

- a) Media de los errores: este valor no debe ser significativamente distinto de 0 (Prueba de t), en cuyo caso, indicaría que el modelo de semivariograma permite un cálculo de estimación no sesgada.
- b) Error cuadrático medio (ECM): Un modelo de semivariograma se considera adecuado si el valor del estadístico es cercano a cero.
- c) Error cuadrático medio adimensional (ECMA): La validez del modelo se satisface si ECMA está comprendido entre los valores  $1 \pm 2 \sqrt{2/N}$  0.5.

### **Nivel de dependencia espacial**

La determinación del nivel de dependencia espacial se obtuvo al dividir el efecto pepita entre la meseta, cuyo resultado es expresado en porcentaje. Si el resultado es menor de 25% el nivel de dependencia espacial se considera alto, si se encuentra entre 26 y 75% el nivel de dependencia espacial es moderado y si es mayor del 76% el nivel de dependencia es bajo (Ramírez y Porcayo, 2009b).

### **Mapas de densidad y Superficie infestada**

Para la elaboración de mapas se realizó la interpolación de valores a través del krigado ordinario, herramienta que permite la estimación no sesgada de valores asociados a puntos que no fueron muestreados en los municipios de estudio; las estimaciones obtenidas fueron representadas en forma de mapa para cada muestreo de árboles enfermos mediante el uso del programa Surfer 9 (Surface Mapping System, Golden Software Inc. 809, 14th Street. Golden, Colorado 80401-1866. USA). Estos mapas de densidad que fueron realizados con antelación, se utilizaron también para corroborar los resultados obtenidos con los índices de SADIE.

## **Análisis Espacial por Índices de Distancia**

El Análisis Espacial por Índices de Distancia (SADIE), es una metodología complementaria que se empleó en este trabajo para determinar el modelo de distribución espacial de la antracnosis, y se basa principalmente en determinar la distancia para la regularidad (índice  $I_a$ ), así como la distancia del agrupamiento (índice  $J_a$ ).

La estimación de los índices  $I_a$  y  $J_a$  se efectuó con los datos recolectados en una cuadrícula prediseñada (conformada por unidades de muestreo), los cuales se asumen como un sistema de conteo de individuos, donde  $i=1, \dots, n$  unidades de muestreo. Se asume además por ser conocida la posición bidimensional  $(x, y)$  de cada unidad de muestreo y su conteo asociado,  $N_i$ . La distancia para la regularidad,  $D$ , es el valor mínimo de la distancia total que los individuos en la muestra pueden haberse movido, de una unidad de muestreo a otra, de modo que todas las unidades de muestreo contuvieran un número idéntico de individuos.

La solución se refiere a la forma idónea en la cual los individuos se moverían desde cada unidad de muestreo con un conteo inicial más grande que la media, a otras unidades de muestreo con un conteo inicial más pequeño que la media. Si entonces los conteos observados se permutan aleatoriamente entre las unidades de muestreo, de modo que la muestra que resulta sea un cambio o reajuste simple de la original, entonces  $P$  (probabilidad de agregación) representa la proporción de muestras seleccionadas al azar con distancia para la regularidad tan grande como, o más grande que, el valor observado,  $D$ .

Usualmente, se dice que una muestra es agregada si  $I_a > 1$ , en cambio, la muestra es espacialmente aleatoria si  $I_a = 1$ , y finalmente, se tendrá una muestra regular si  $I_a < 1$ .

El término  $C$  denota la distancia para el agrupamiento, que es el valor mínimo de la distancia total que los individuos de la muestra deben moverse para congregarse en una unidad.

El valor de  $C$  se encuentra más pronto que  $D$ , usando una búsqueda directa simple sobre todas las unidades de muestreo; a la unidad de muestreo con el valor mínimo se la denomina como el "foco" del agrupamiento.

Permutaciones aleatorias de los conteos observados conducen a una proporción denominada  $Q_a$  (probabilidad de agrupamiento), con una distancia para el agrupamiento tan pequeña, o más pequeña que el valor observado,  $C$ . Como en el caso del índice  $I_a$ , valores de  $J_a > 1$  usualmente indican una muestra agregada,  $J_a = 1$  representan datos espacialmente aleatorios, y  $J_a < 1$  muestras regulares (Perry, 1997).

De esta manera, los valores del índice  $J_a$  son útiles para corroborar los resultados obtenidos con el índice  $I_a$ . Además, este índice se utiliza para discriminar entre patrones espaciales donde hay un único agrupamiento importante para el cual sus valores son significativamente mayores que la unidad, y en donde hay dos o más agrupamientos para los cuales su valor no es significativamente diferente de la unidad o incluso menor que ella. Para determinar la significación con respecto a la unidad se utiliza su probabilidad respectiva ( $Q_a$ ) (Perry, 1997).

Los valores de  $I_a$  y  $J_a$  para conteos aleatorios no están correlacionados, por lo que se pueden utilizar también 2000 aleatorizaciones en el software empleado para obtener sus respectivos valores.

## **Resultados y Discusión**

Desde el comienzo de la agricultura, las generaciones de agricultores han evolucionado prácticas para combatir los problemas fitosanitarios presentes en sus cultivos, buscando mejorar sus condiciones de producción y obtener mayores beneficios. Así pues, después del descubrimiento de las causas de las enfermedades en las plantas a inicios del siglo XIX, la comprensión creciente de las interacciones del patógeno y hospedero han permitido desarrollar un amplio conjunto de medidas para el control de enfermedades específicas, las cuales varían desde el uso indiscriminado de productos agroquímicos hasta el empleo de controladores biológicos, prácticas que sin duda han favorecido en gran parte la producción agrícola en México, sin embargo, también han contribuido a la generación de un desequilibrio ambiental y económico (Zizumbo y García, 2008).

En este sentido, la búsqueda de alternativas que permitan la toma de decisiones adecuada y oportuna, ha generado la aplicación de herramientas derivadas de la Estadística espacial, entre las que destacan la Geoestadística y el Análisis Espacial por Índices de Distancia.

La Geoestadística ha demostrado ser una de las metodologías empleadas en el sector agrícola que ha facilitado la oportuna toma de decisiones. De esta forma, la generación de modelos de semivariogramas y la interpolación a través del krigeado, permiten dar explicación acerca del comportamiento espacial de determinado fenómeno a través del tiempo

En el presente estudio, se llevó a cabo un análisis geoestadístico, en el cual los semivariogramas se ajustaron en su mayoría a modelos de tipo gaussiano y exponencial,

denotando un comportamiento espacial agregado, interpretando de esta forma que la antracnosis presenta un crecimiento acelerado a través del tiempo, y que en algún momento, es posible que permanezca constante.

### **Identificación de síntomas de antracnosis en campo**

El muestreo en campo de las zonas aguacateras seleccionadas para este trabajo fue adecuado, lograron identificarse síntomas de antracnosis en arboles de los cuatro municipios muestreados, por lo cual es conveniente inferir que esta enfermedad presenta una amplia distribución; los síntomas encontrados en estos árboles variaron desde pequeñas manchas oscuras sobre el pericarpio de los frutos, pasando también por lesiones mayores de colores marrón o café oscuro, en donde se podían apreciar pequeños apresorios a simple vista, los cuales son estructuras formadoras de conidios, así mismo, se encontraron lesiones necróticas de mayor tamaño con bordes irregulares y hundidos; lo anterior coincide con los síntomas reportando por Morales y Angel (2007) quienes mencionan la presencia de lesiones hundidas, negras de forma irregular, con la presencia de masas de esporas salmonadas (conidios).

Por otro lado, cabe destacar que los síntomas de antracnosis se presentaron en las primeras etapas de desarrollo de los frutos, comprobando lo propuesto por Juárez *et al.* (2010), quienes afirman que la infección ocurre en etapas tempranas del crecimiento de los frutos, sin embargo, las lesiones típicas de la enfermedad aparecen hasta que dichos frutos alcanzan la etapa de maduración.

## **Análisis Geoestadístico**

En este trabajo se elaboraron 48 semivariogramas, correspondientes a 48 muestreos realizados en los 4 municipios seleccionados; los semivariogramas obtenidos en este estudio demuestran que la antracnosis en el cultivo de aguacate presentó una distribución espacial de tipo agregado.

Los modelos a los que se ajustó la antracnosis en las zonas de muestreo durante el año 2017 se apegaron en su mayoría a modelos gaussianos, indicando que la enfermedad se manifiesta de manera constante dentro de las zonas de muestreo, situación que se pudo apreciar certeramente; con relación a lo anterior, Lara et al. 2018 mencionan que las enfermedades ocasionadas por hongos en los cultivos siguen un patrón de distribución agregado que es continuo y constante, por lo que la presencia de estructuras de reproducción en las parcelas y áreas de muestreo es evidente.

De igual manera, se presentaron modelos exponenciales y esféricos, siendo los primeros, modelos que indican agregación de la enfermedad y crecimiento acelerado de la misma. En este estudio, se encontró que existe una relación entre los mayores niveles de la incidencia de la enfermedad con la distribución de tipo exponencial, dicha relación permite entonces conocer anticipadamente la agregación de la enfermedad, y a su vez, focalizar las acciones de monitoreo y control hacia puntos específicos (Ramírez y Porcayo, 2009).

En el municipio de Coatepec Harinas, la antracnosis para los meses de julio a diciembre presentó comportamiento espacial agregado con tendencia a incrementarse, ajustándose a modelos de tipo exponencial en la mayoría de los muestreos, sin embargo, durante el primer

muestreo del mes de julio, se presentó un modelo de tipo esférico. Esta agregación de la enfermedad se hizo más evidente sobre todo durante los meses de agosto, septiembre, noviembre y diciembre, cuando los cambios en la precipitación, temperatura y humedad fueron variables, sin embargo, en los muestreos restantes, la enfermedad permaneció constante en las zonas muestreadas de este municipio, estos resultados pueden apreciarse detalladamente en la tabla 1. Por otro lado, los rangos de alcance de la enfermedad para los muestreos exponenciales en Coatepec Harinas presentaron valores desde 19.2 m hasta 28 m, con una pepita de 0 en todos los muestreos y valores de meseta de entre 2.052 y 11.83 (Tabla 1).

Tannure et al. (2013) mencionan que la presencia de patrones agregados indica interacciones entre los patógenos, o entre los patógenos y el medio, sin embargo, existen muchas otras causas probables para la formación de centros de agregación, como el ciclo de vida del patógeno, las características fisiográficas del medio, la naturaleza del hospedero, entre otras. En este estudio, se observó que la antracnosis siguió el mismo patrón de agregación en la mayoría de los muestreos, por lo que se puede decir que dichas relaciones interespecificas permanecieron constantes, con condiciones de humedad y temperatura ideales.

En el caso de Donato Guerra, los semivariogramas se ajustaron en su mayoría a modelos de tipo exponencial, por lo que se atribuye que la enfermedad presentó un comportamiento espacial agregado con un crecimiento infectivo más acelerado en este municipio, alcanzando una etapa de estabilidad durante todo el periodo de análisis en campo, contrariamente a lo observado en Temascaltepec y Tenancingo, donde la antracnosis presentó un comportamiento muy estable desde el inicio del periodo de muestreo, situación que se

corroboró en la mayoría de los semivariogramas, los cuales se ajustaron a modelos de tipo Gaussiano, denotando continuidad de la enfermedad (Tabla 1).

Los valores de alcance en Donato Guerra se mantuvieron entre 17.6 y 28 m, coincidiendo con los valores presentes en Coatepec Harinas, mientras que para Temascaltepec se mantuvieron entre 16 y 27 m.

Para todos los muestreos de antracnosis en los cuatro municipios, el valor de la pepita fue de 0; al respecto, Rossi *et al.* (1992) y Ramírez *et al.* (2010) sugieren que el valor de cero en el efecto pepita indica que el error de muestreo fue mínimo y que la escala de muestreo utilizada fue adecuada.

En el municipio de Donato Guerra, la presencia de antracnosis fue elevada, debido también a que las zonas de muestreo, no tenían ningún manejo agronómico, por lo que la enfermedad mantuvo el patrón agregado durante los seis meses de muestreo. Rubí *et al.* 2013 explican que la falta de manejo adecuado en el cultivo de aguacate en esta y otras regiones del Estado de México se debe a que la mayoría de los productores posee huertas que están iniciando su etapa productiva, sin embargo, sugieren que con prácticas de manejo adecuadas, se puede incrementar considerablemente el volumen de producción.

Por otro lado, en Tenancingo los rangos de alcance de la enfermedad fueron los más altos de los 4 municipios, encontrando una variación desde 17.6 m como mínimo, hasta 30 m como rango máximo, esto quiere decir que en esta zona, la antracnosis es una enfermedad que permanece constante, y esto se atribuye al mecanismo de rápida dispersión que tiene *C.*

*gloeosporioides*, ya que en este caso, provocó la aparición de síntomas en árboles que no presentaban indicios de la enfermedad al inicio del muestro.

### **Superficie infestada a través de mapas**

Los porcentajes de superficie infestada para cada municipio y fecha de muestreo se obtuvieron con la ayuda de los mapas de incidencia generados en el software Surfer 9, en donde se aprecian coloraciones que varían desde el blanco, amarillo y rojo, este último indicando los niveles más altos de infección para cada muestreo.

Este proceso se realiza toda vez que se han validado los modelos teóricos de los semivariogramas, siendo el método de validación cruzada propuesto por Isaaks y Srivastava (1989) el que se emplea con mayor frecuencia, ya que con éste se elimina un valor muestral y se emplea el método de interpolación conocido como 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 mapas de superficie infectada permiten la identificación de focos de infestación que se presentan en las zonas de muestreo, y por lo tanto permite conocer la naturaleza de la distribución espacial de las enfermedades como la antracnosis.

El porcentaje de superficie infectada más alto en el municipio de Coatepec Harinas fue de 100% en julio, agosto, noviembre y diciembre mientras que para Donato Guerra fue de 100% únicamente para el primer muestreo del mes de noviembre, sin embargo, para el segundo

muestreo de ese mismo mes, el porcentaje de infección se redujo un 21% en ese municipio. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Mouen-Bedimo *et al.* (2007), quienes encontraron una distribución espacial no uniforme de *Colletotrichum kahawae* en el cultivo de café, por lo que se infiere que las enfermedades como la antracnosis difícilmente alcanzan un 100% de infestación

En el municipio de Temascaltepec, al igual que en los municipios anteriores, también se presentaron porcentajes de infección de la enfermedad del 100%, en julio, octubre, noviembre y diciembre, el resto de los muestreos, estos porcentajes de infección se mantuvieron por arriba del 90%, a excepción del último muestreo, cuyo valor de infección fue de 86%.

Así mismo, en el municipio de Tenancingo, los porcentajes de infección por *C. gloeosporioides* se mantuvieron entre el 87 y el 100%, encontrando esta totalidad en el segundo muestreo de septiembre y el primero de octubre.

El menor porcentaje de infección detectado en este trabajo fue de 70%, segundo muestreo correspondiente al mes de noviembre en Coatepec Harinas; lo anterior, también coincide con lo encontrado en el mismo muestreo, pero en el municipio de Donato Guerra, donde el menor porcentaje de infección correspondiente a ese muestreo fue de 79%.

Los mapas generados a través del krigado, muestran que para Coatepec Harinas (Figura 1), se observan claramente dos puntos o centros de agregación en la parte superior y ligeramente a la izquierda del mapa, los cuales se mantuvieron constantes durante el resto del periodo de

muestreo, esto denota que la enfermedad se presenta en esa zona, y además se mantiene latente y constante, esperando que surjan condiciones favorables que le permitan proliferar. Se asume que esos parches de infección presentes en los mapas, son los principales focos de infección de donde surge la enfermedad y desde donde se distribuye a toda la zona muestreada.

De igual manera, en el municipio de Donato Guerra (Figura 2) se detectaron cuatro centros de agregación bien definidos, mismos que se mantuvieron constantes durante todo el muestreo, por lo que se asume que la infección se dispersó desde esos sitios hacia todo el municipio.

Los mapas obtenidos para los muestreos en Temascaltepec (Figura 3) arrojan la presencia de tres centros de agregación definidos, los cuales se observan en la parte inferior izquierda de cada mapa, estos mismos, se mantuvieron constantes durante todo el muestreo.

Así mismo, en Tenancingo (Figura 4) se observan tres centros de agregación definidos, encontrándolos en la parte media e inferior izquierda de los mapas, estos centros se hicieron más evidentes a partir del mes de septiembre y se mantuvieron presentes el resto de los meses de muestreo, a su vez, coincidiendo con las zonas donde se encontró mayor número de frutos infectados.

Con relación a lo mencionado anteriormente, este trabajo coincide con Osorio *et al.* (2017), quienes sugieren que el clima es uno de los factores más importantes que determinan la distribución espacial de una especie y en el caso de los patógenos como los hongos, también el clima es un agente facilitador de la colonización del hospedero.

## **Nivel de dependencia espacial**

De acuerdo con Cambardella *et al.* (1994), López-Granados *et al.* (2002) y Ramírez *et al.* (2010), el cálculo del nivel de dependencia espacial permite determinar qué tan fuerte es la relación entre los datos obtenidos en los muestreos. Este valor se obtiene al dividir el efecto pepita y la meseta, expresado en porcentaje, estimando que un valor del 25% es alto; valores entre 26 y 75% se considera nivel moderado, y finalmente, valores mayores al 76%, el nivel de dependencia espacial se considera es bajo.

En este estudio, el nivel de dependencia espacial fue alto en todos los casos, lo que sugiere que se utilizó la escala de muestreo correcta y el error fue mínimo, denotando una estrecha correlación entre los datos; estos datos se resaltan detalladamente en la Tabla 1.

## **Análisis espacial por índices de distancia**

Torres *et al.* (2010) argumentan que el estudio de la dinámica espacial que siguen las enfermedades en los cultivos es aún difícil de interpretar, atribuyendo lo anterior al “desconocimiento acerca del agente causal, la naturaleza del inóculo, los mecanismos de diseminación y la duración de los tiempos de latencia y de infectividad”, por lo cual, ellos proponen tres métodos factibles para el análisis espacial, siendo SADIE uno de los utilizados en su estudio epidemiológico en palma de aceite e incorporación de atributos de paisaje, complementando así dos campos importantes, por un lado, la fitopatología y por otro, la

ecología de paisaje; en el presente trabajo, SADIE figuró como una metodología complementaria para conocer la distribución espacial de la antracnosis.

Los valores encontrados para los índices de agregación en este trabajo se mantuvieron por arriba de 1 (Tabla 2), por lo que se consideran valores sumamente significativos. Los valores más altos de agregación de acuerdo con el índice  $I_a$  fueron de 1.70 para Coatepec Harinas (segundo muestreo de noviembre), 1.76 para Donato Guerra (segundo muestreo de diciembre), 1.69 para Temascaltepec (segundo muestreo de julio) y 1.70 para Tenancingo (segundo muestreo de octubre).

Estos resultados corroboran que la antracnosis en el cultivo de aguacate presentó un comportamiento espacial agregado en todos los meses de muestreo. En lo referente al índice  $J_a$ , el mayor valor (1.24) se encontró en Donato Guerra y en Tenancingo durante los meses de octubre y noviembre, mientras que el menor valor (1.07) se presentó también en Donato Guerra, durante el primer muestreo de julio, el hecho de que estos valores sean superiores a uno indica que la distribución de las poblaciones de antracnosis presentan agregación, pero por no ser significativamente superior a uno ( $Q_a$ ), se señala que la distribución espacial de las poblaciones de la enfermedad se concentró en varios centros de agregación. Los índices  $I_a$  y  $J_a$  corroboran la existencia de una distribución agregada de la antracnosis en los seis meses de estudio.

Lo antes mencionado se logró determinar con los índices  $I_a$  y  $J_a$  del análisis SADIE, es decir, la enfermedad se presentó en puntos geográficos específicos dentro de los cuatro municipios muestreados durante el periodo estudiado; dichos resultados concuerdan con lo determinado

por Bassanezi y Laranjeira (2007) quienes determinaron la agregación de *Citrus leprosis virus* (CiLV) y su vector *Brevipalpus phoenicis*.

Si bien SADIE es de reciente incursión en el área fitopatológica, su utilidad se ha demostrado con otros organismos como *Sitobion avenae* (Winder *et al.*, 1999), *Ceutorhynchus assimilis* (Ferguson *et al.*, 2000), *Harpalus rufipes* (Thomas, *et al.*, 2001), *Jacobiasca libica* (Ramírez y Porcayo, 2009a) y *Arcetobium sp.* (Ramírez y Porcayo, 2009b).

Así mismo y en coincidencia con Torres *et al.* (2010), éste trabajo corrobora que el estudio del comportamiento espacial de las enfermedades que se presentan en los cultivos agrícolas es complejo, sin embargo, una gran ventaja que se tuvo en el presente fue el conocimiento que se tuvo acerca del agente causal, la naturaleza del inóculo y otras características que facilitaron el análisis de su distribución espacial en los municipios productores de aguacate en el Estado de México.

La geoestadística ha demostrado ser una herramienta que permite analizar el comportamiento espacial de muchas enfermedades, ejemplo de ello es el presente estudio y otros trabajos precedentes como el de Lara Díaz *et al.* (2018), donde generaron información epidemiológica a través de la aplicación de Geoestadística y procesos de simulación de *Claviceps gigantea* en el cultivo de maíz.

Gracias a la generación de información de estudios como este y otros relacionados con enfermedades en los cultivos agrícolas, se demuestra que es posible no solo conocer, sino predecir el comportamiento espacial de una enfermedad a través del tiempo.

## **Conclusiones**

La enfermedad conocida como antracnosis en el aguacate presento un comportamiento espacial agregado, encontrando centros de agregación claramente definidos, los cuales se mantuvieron constantes durante los seis meses de muestreo.

El análisis geoestadístico fue apropiado para la generación de mapas de la distribución espacial de la antracnosis en el cultivo de aguacate, y con los índices Ia y Ja se pudo corroborar el comportamiento agregado de las poblaciones de la enfermedad. Con la información generada durante este estudio, fue posible establecer áreas específicas de infestación en los cuatro municipios muestreados, misma que puede ser de gran interés para dirigir las medidas de control, procurando contribuir a la disminución del deterioro ambiental en el Estado de México.

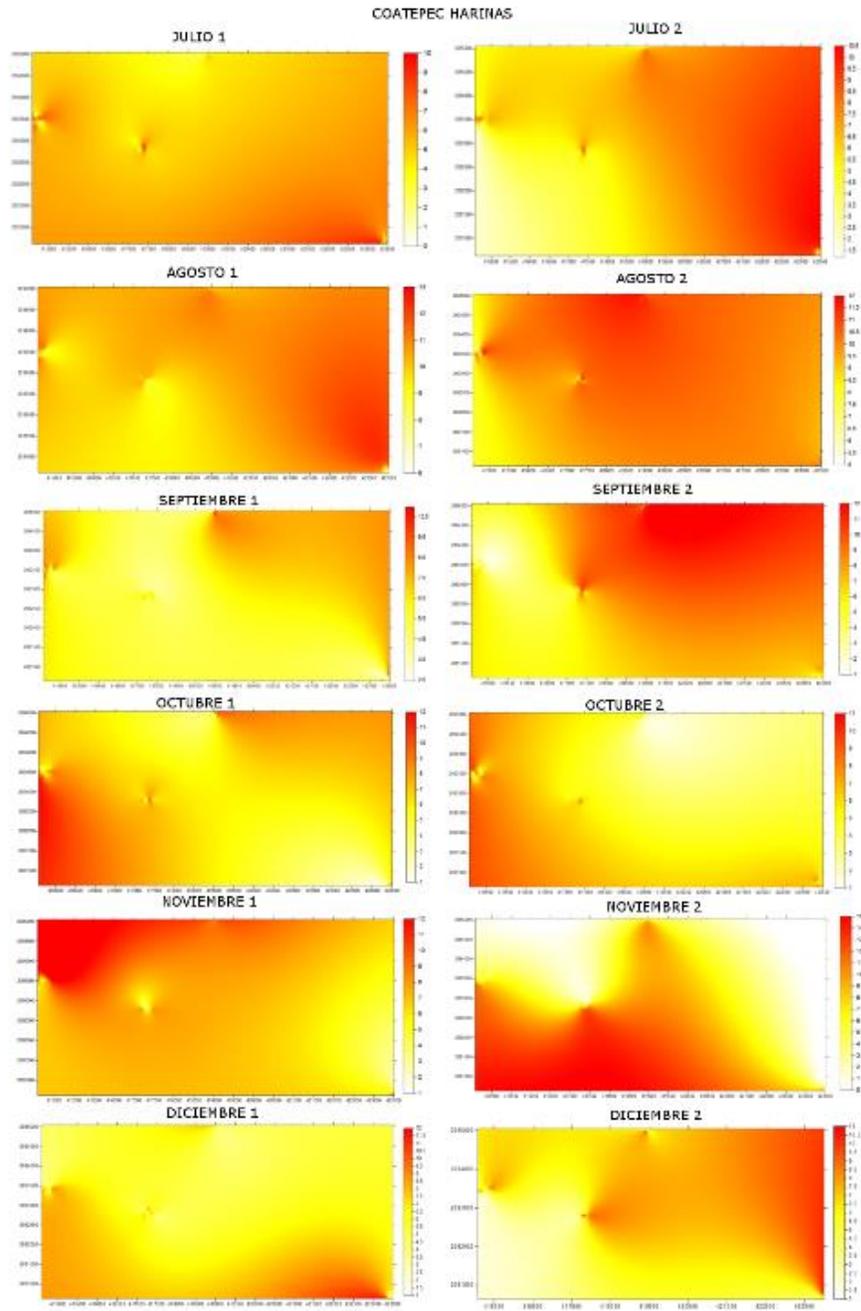
## **Literatura citada**

- Bassanezi, R.B. y Laranjeira, F.F. (2007). Spatial patterns of leprosis and its mite vector in commercial citrus groves in Brazil. *Plant Pathology* 56:97-106
- Ferguson, W., Klukowski, Z., Walczak, B., Perry, J., Mugglestone, M., Clark, S. y Williams, I. (2000). The spatio-temporal distribution of adult *Ceutorhynchus assimilis* in a crop of winter oilseed rape in relation to the distribution of their larvae and that of the parasitoid *Trichomalus perfectus*. *Entomological Experimentalis et Applicata* 95:161-171.

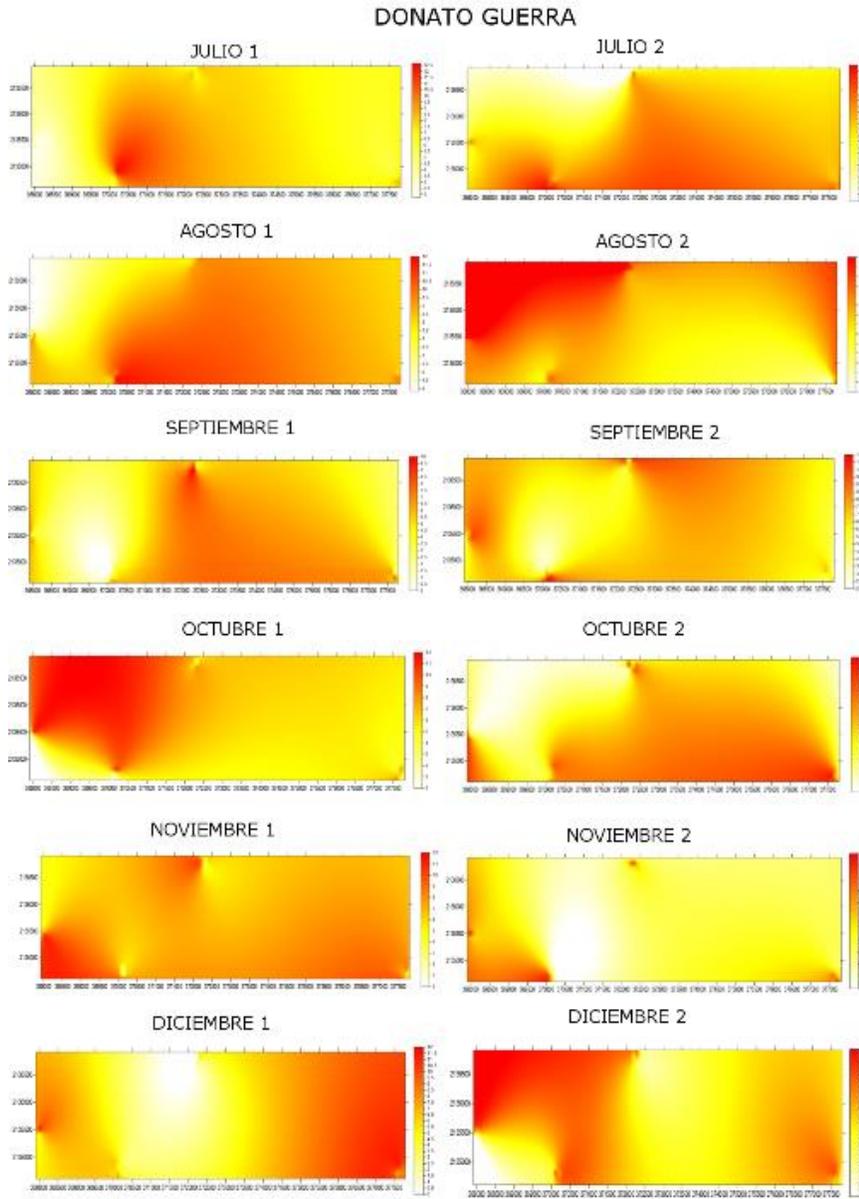
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2018). Consultado 11-10-2018 en <http://www.inegi.org.mx>
- Juárez, B. G.P., M.E Sosa Morales y A. López Malo. 2010. Hongos fitopatógenos de alta importancia económica: descripción y métodos de control. Temas selectos de Ingeniería de Alimentos 4:2. 14-23 pag.
- Kermack, W. O. y McKendrick, A.G. (1927). “Contributions to the Mathematical Theory of Epidemics”. *Proc. Roy. Soc. A.* vol. 115, pp. 700-721
- Lara Díaz, A., Ramírez Dávila, J., Maldonado Zamora, F., Figueroa Figueroa, D., Acosta Guadarrama, A., Rivera Martínez, R., y Némiga, X. (2018). Simulación espacial de *Claviceps gigantea* (Fuentes, de la Isla, Ullstrup y Rodríguez) en el Estado de México. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas*, 9(1), 95-109.
- Maeda, C.; Nelson, S. (2014). Anthracnose of Papaya in Hawai’i. University of Hawai’i. EE. UU. 6 p.
- Morales, G. J.L. y Angel P. M. E. 2007. Hongos fitopatógenos de importancia agrícola. Editorial Facultad de Agrobiología “Presidente Juárez” de la Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo. Uruapan, Michoacán, México. 265 p.
- Mouen-Bedimo, J.A., Bieysse, D., Cilas, C. and Nottéghem, J.L. 2007. Spatio-temporal dynamics of arabica coffee berry disease caused by *Colletotrichum kahawae* on a plot scale. *Plant Disease* 91:1229-1236.
- Perry, N. y Klukowsky, Z. (1997). Spatial distributions of counts at the edges of sample areas. VI Conferencia de la sociedad de biometría. Córdoba, España. Pp. 103-108.

- Prontuario municipal, (2009). Coatepec Harinas, Donato Guerra, Temascaltepec y Tenancingo. Gobierno del Estado de México, México.
- Ramírez-Dávila, J.F. y Porcayo-Camargo, E. (2009a). Comportamiento espacial de las larvas del mosquito verde *Jacobiasca lybica*, en un viñedo de secano en Andalucía España. *Ciencia ErgoSum* 16:116-127.
- Ramírez-Dávila, J.F. y Porcayo-Camargo, E. (2009b). Estudio de la distribución espacial del muérdago enano (*Arcetobium* sp.) en el Nevado de Toluca, México utilizando el método del SADIE. *Madera y Bosques*. 15:147-160.
- Ramírez Dávila, José Francisco, Sánchez Pale, Jesús Ricardo, y León, Carlos de. (2011). Estabilidad Espacio Temporal de la Distribución del Carbón de la Espiga del Maíz (*Sporisorium reilianum*) en el Estado de México, México. *Revista mexicana de fitopatología*, 29(1), 1-14.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2018). Consultado 11-10-2018 en <http://www.siap.sagarpa.gob.mx/>
- Rossi, R., Mulla J., Journel G. and Franz, E. (1992). Geostatistical tools for modeling and interpreting ecological spatial dependence. *Ecological Monographs* 62:277-314.
- Surface Mapping System, Golden Software Inc. 809, 14th Street. Golden, Colorado 80401-1866. USA
- Tannure, Claudia L.1 - Mazza, Silvia M.1 - Giménez, Laura I. Modelos para caracterizar los patrones de distribución espacial de *Aphis gossypii* (Homoptera: Aphididae), en el cultivo de algodón (*Gossypium hirsutum*)
- Thomas, G., Parkinson, L., Griffiths, K., Fernández, G. y Marshall, J. (2001). Aggregation and temporal stability of carabid beetle distributions in field and hedgerow habitats. *Journal of Applied Ecology* 38:100-116.

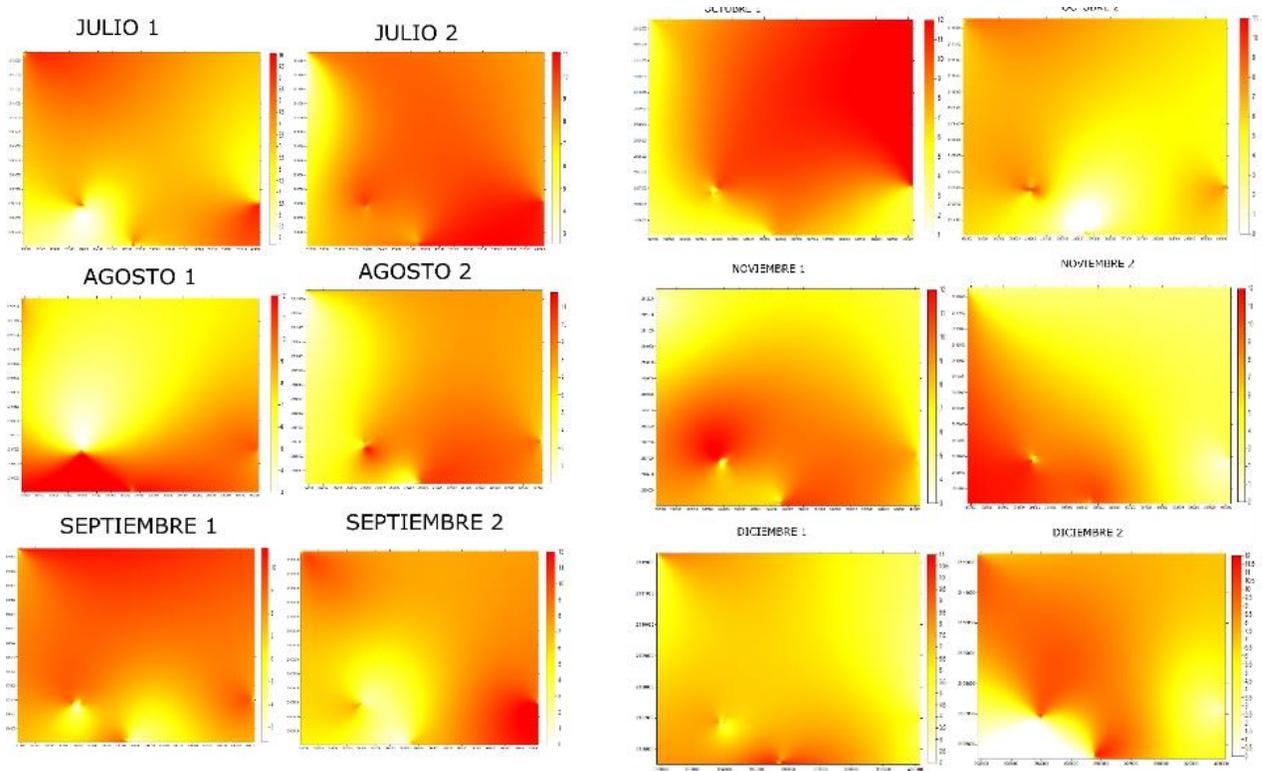
- Torres, E., Tovar, J., y Ceballos, L. A. (2010). Tres procedimientos de análisis epidemiológico en palma de aceite e incorporación de atributos del paisaje. *Revista Palmas*, 31(especial), 403-415.
- Trinidad-Ángel, E., Ascencio-Valle, F., Ulloa, J., Ramírez-Ramírez, J., Ragazzo-Sánchez, J., Calderón-Santoyo, M., y Bautista Rosales, P. (2017). Identificación y caracterización de *Colletotrichum* spp. causante de antracnosis en aguacate Nayarit, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, (19), 3953-3964.
- Winder, L., Perry, J. y Holland, J. 1999. The spatial and temporal distribution of the grain aphid *Sitobion avenae* in winter wheat. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 93:227- 290.
- Zizumbo Villarreal, Daniel, García Marín, Patricia Colunga, El origen de la agricultura, la domesticación de plantas y el establecimiento de corredores biológico-culturales en Mesoamérica. *Revista de Geografía Agrícola* [en línea] 2008, (Julio-Diciembre): [Fecha de consulta: 7 de noviembre de 2018]



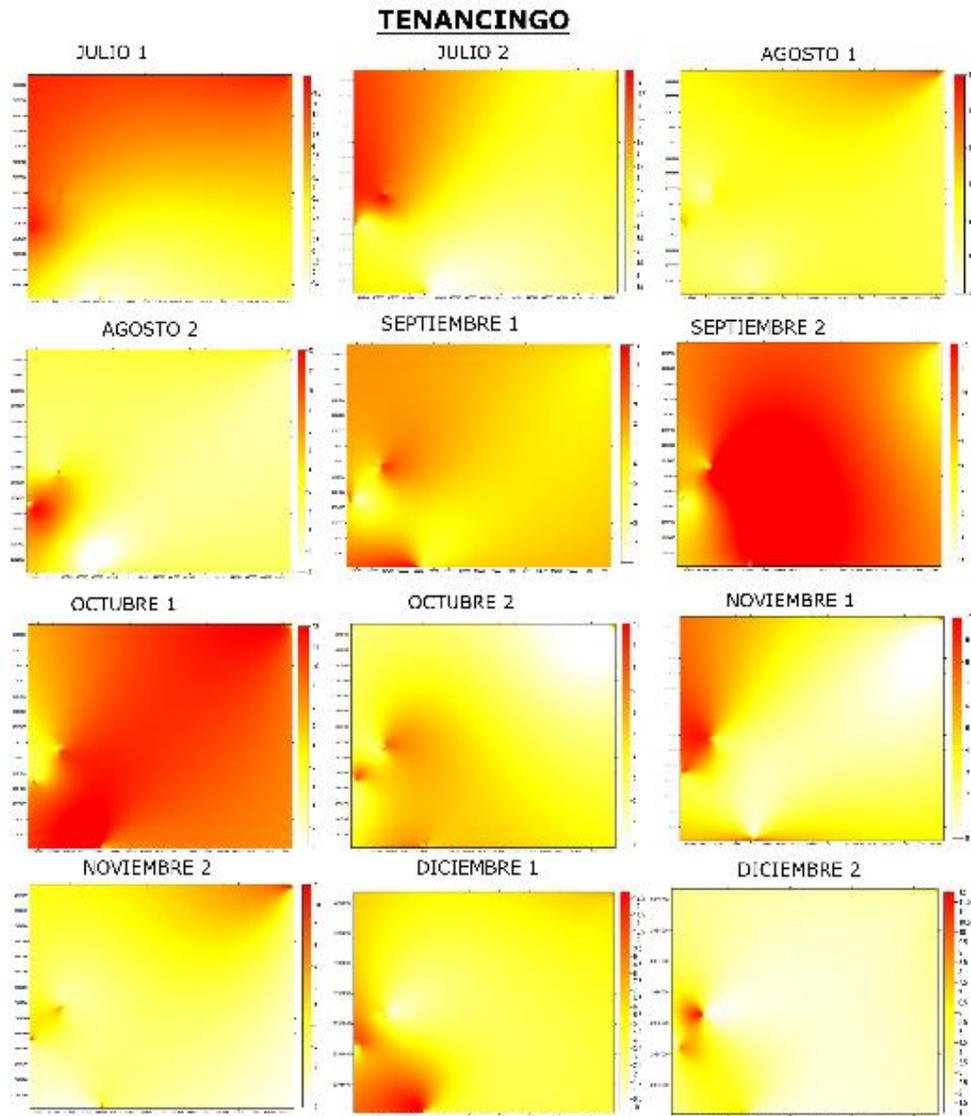
**Figura 1. Mapas de superficie infectada por Antracnosis de julio a diciembre en Coatepec Harinas.**



**Figura 2. Mapas de superficie infectada por Antracnosis de julio a diciembre en Donato Guerra.**



**Figura 3. Mapas de superficie infectada por Antracnosis de julio a diciembre en Temascaltepec.**



**Figura 4. Mapas de superficie infectada por Antracnosis de julio a diciembre en Tenancingo.**

**Tabla 1. Parámetros del semivariograma de los muestreos de Antracnosis de julio a diciembre 2017.**

<b>COATEPEC HARINAS</b>								
<b>MUESTREO</b>	<b>MEDIA</b>	<b>VARIANZA</b>	<b>MODELO</b>	<b>PEPITA</b>	<b>RANGO</b>	<b>MESETA</b>	<b>PEP/MESETA</b>	<b>NIVEL DE</b>
							<b>(%)</b>	<b>DEPENDENCIA ESPACIAL</b>
jul-01	6.02	14.47	Esférico	0	20	12.3	0	ALTA
jul-02	6.92	7.2	Gaussiano	0	19.194	6.716	0	ALTA
ago-01	9.67	2.07	Expo.	0	19.2	1.806	0	ALTA
ago-02	9.6	2.67	Expo.	0	28	2.052	0	ALTA
sep-01	6.21	12.27	Gaussiano	0	24	11.44	0	ALTA
sep-02	5.77	11.39	Expo.	0	20.8	9.96	0	ALTA
oct-01	6.26	12.72	Expo.	0	19.2	11.83	0	ALTA
oct-02	6.02	13.45	Gaussiano	0	17.6	11.34	0	ALTA
nov-01	6.15	12.6	Gaussiano	0	19.2	11.6	0	ALTA
nov-02	6.07	10.62	Expo.	0	17.6	9.02	0	ALTA
dic-01	6.11	11.73	Expo.	0	22.4	10.92	0	ALTA
dic-02	6.07	12.37	Expo.	0	19.2	11.57	0	ALTA
<b>TENANCINGO</b>								
jul-01	8.92	6.87	Gaussiano	0	22	2.553	0	ALTA
jul-02	6.19	12.68	Gaussiano	0	20	8.84	0	ALTA
ago-01	9.75	2.08	Expo.	0	19.2	1.8	0	ALTA
ago-02	6.065	11.15	Expo.	0	30	9	0	ALTA
sep-01	6.19	12.55	Expo.	0	28	10.4	0	ALTA
sep-02	6.04	12.48	Gaussiano	0	22	10.08	0	ALTA
oct-01	6.01	11.1	Gaussiano	0	22	10.08	0	ALTA
oct-02	5.89	12.14	Esférico	0	25.6	10.14	0	ALTA
nov-01	5.56	12.5	Gaussiano	0	17.6	10.92	0	ALTA
nov-02	6.4	13.24	Expo.	0	22.4	11.76	0	ALTA
dic-01	5.55	12.43	Gaussiano	0	19.2	11.44	0	ALTA
dic-02	6.1	11.86	Expo.	0	19.2	10.92	0	ALTA
<b>DONATO GUERRA</b>								

jul-01	6.55	8.14	Expo.	0	27.2	6.63	0	ALTA
jul-02	7.65	7.18	Gaussiano	0	22.5	4.6	0	ALTA
ago-01	9.04	5.008	Gaussiano	0	17.6	4.26	0	ALTA
ago-02	6.05	12.46	Esférico	0	20.8	10.01	0	ALTA
sep-01	5.57	9.94	Expo.	0	22.8	8.3	0	ALTA
sep-02	5.94	11.96	Expo.	0	20.9	9.12	0	ALTA
oct-01	5.86	12.36	Expo.	0	28	11.32	0	ALTA
oct-02	5.89	11.55	Gaussiano	0	17.6	10.8	0	ALTA
nov-01	5.51	11.98	Esférico	0	20.8	10.56	0	ALTA
nov-02	6.02	11.39	Expo.	0	22	8.88	0	ALTA
dic-01	6.49	10.97	Expo.	0	19.2	10.27	0	ALTA
dic-02	5.85	13.51	Esférico	0	22.4	11.6	0	ALTA
<b>TEMASCALTEPEC</b>								
jul-01	6.37	7.77	Gaussiano	0	20.8	7.33	0	ALTA
jul-02	5.94	12.61	Gaussiano	0	22.8	12.22	0	ALTA
ago-01	9.51	2.77	Expo.	0	26.6	2.24	0	ALTA
ago-02	5.98	12.22	Esférico	0	22.4	10.08	0	ALTA
sep-01	5.83	11.47	Expo.	0	20.8	10.92	0	ALTA
sep-02	6.11	12.52	Gaussiano	0	16	10.14	0	ALTA
oct-01	6.18	11.91	Expo.	0	19.2	9.84	0	ALTA
oct-02	5.85	13.7	Gaussiano	0	17.6	11.62	0	ALTA
nov-01	6.09	11.66	Expo.	0	27.2	10.44	0	ALTA
nov-02	5.89	10.33	Gaussiano	0	19.52	9.54	0	ALTA
dic-01	5.95	12.43	Gaussiano	0	20.8	10.34	0	ALTA
dic-02	6.09	11.04	Gaussiano	0	19.2	10.08	0	ALTA

**Tabla 2. Estimación de los índices de agregación (SADIE) para los muestreos de Antracnosis de julio a diciembre 2017.**

<b>COATEPEC HARINAS</b>					
<b>MES</b>	<b>MUESTREO</b>	<b>Ia</b>	<b>Pa</b>	<b>Ja</b>	<b>Qa</b>
Julio	1	1.45	0.004s	1.09	0.177ns
	2	1.56	0.010s	1.16	0.160ns
Agosto	1	1.31	0.012s	1.13	0.186ns
	2	1.51	0.007s	1.18	0.199ns
Septiembre	1	1.49	0.003s	1.2	0.217ns
	2	1.58	0.014s	1.12	0.205ns
Octubre	1	1.43	0.016s	1.1	0.247ns
	2	1.62	0.008s	1.17	0.236ns
Noviembre	1	1.54	0.013s	1.15	0.213ns
	2	1.7	0.006s	1.19	0.181ns
Diciembre	1	1.65	0.011s	1.22	0.169ns
	2	1.37	0.009s	1.11	0.192ns
<b>DONATO GUERRA</b>					
Julio	1	1.35	0.011s	1.07	0.168ns
	2	1.63	0.002s	1.11	0.190ns
Agosto	1	1.28	0.005s	1.17	0.216ns
	2	1.52	0.013s	1.09	0.156ns
Septiembre	1	1.38	0.009s	1.21	0.233ns
	2	1.69	0.012s	1.15	0.184ns
Octubre	1	1.7	0.008s	1.1	0.242ns
	2	1.33	0.010s	1.19	0.229ns
Noviembre	1	1.57	0.003s	1.23	0.177ns
	2	1.46	0.014s	1.24	0.255ns
Diciembre	1	1.3	0.016s	1.08	0.278ns
	2	1.76	0.007s	1.12	0.201ns
<b>TEMASCALTEPEC</b>					
Julio	1	1.48	0.004s	1.1	0.183ns
	2	1.69	0.017s	1.23	0.215ns

Agosto	1	1.61	0.012s	1.14	0.175ns
	2	1.39	0.006s	1.19	0.249ns
Septiembre	1	1.57	0.014s	1.22	0.234ns
	2	1.33	0.008s	1.08	0.197ns
Octubre	1	1.52	0.013s	1.15	0.278ns
	2	1.45	0.005s	1.13	0.261ns
Noviembre	1	1.5	0.010s	1.17	0.189ns
	2	1.65	0.011s	1.09	0.256ns
Diciembre	1	1.35	0.015s	1.11	0.288ns
	2	1.53	0.007s	1.07	0.229ns
<b>TENANCINGO</b>					
Julio	1	1.33	0.009s	1.12	0.154ns
	2	1.75	0.017s	1.19	0.225ns
Agosto	1	1.44	0.005s	1.15	0.146ns
	2	1.39	0.011s	1.18	0.208ns
Septiembre	1	1.6	0.008s	1.22	0.166ns
	2	1.69	0.013s	1.13	0.237ns
Octubre	1	1.43	0.007s	1.24	0.159ns
	2	1.73	0.016s	1.11	0.249ns
Noviembre	1	1.68	0.010s	1.2	0.173ns
	2	1.38	0.004s	1.16	0.149ns
Diciembre	1	1.59	0.012s	1.14	0.261ns
	2	1.3	0.006s	1.25	0.267ns

### 7.3 Otros Resultados

En esta investigación se realizaron muestreos quincenales para conocer la distribución espacial de la antracnosis durante un año. A continuación se presentan los resultados obtenidos durante toda la investigación, los cuales corresponden a la identificación de la presencia y aislamiento del fitopatógeno, a la determinación de la incidencia de la antracnosis, y principalmente, se incluyen los resultados del análisis geostadístico general (semivariogramas, tablas de validación cruzada y de superficie infestada).

#### 7.3.1 Identificación de síntomas de antracnosis en campo

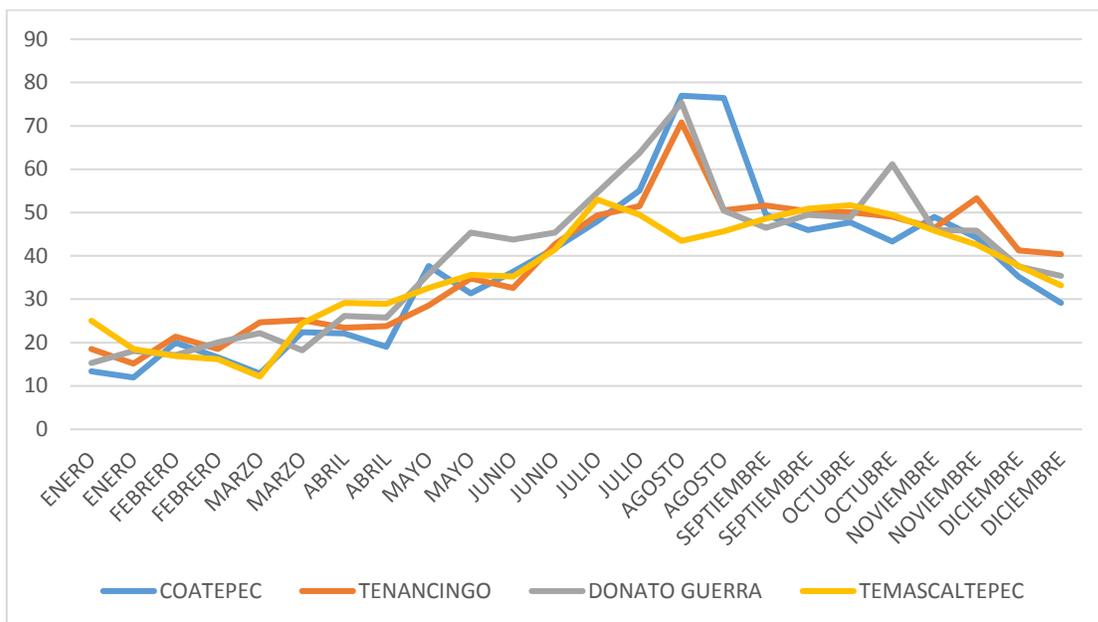
El muestreo en campo de las zonas aguacateras seleccionadas para este trabajo fue adecuado, lograron identificarse síntomas de antracnosis en arboles de los cuatro municipios muestreados, lo que indica que esta enfermedad presenta una amplia distribución; los síntomas encontrados en estos árboles variaron desde pequeñas manchas oscuras sobre el pericarpio de los frutos, pasando también por lesiones mayores de colores marrón hasta café oscuro, en donde se podían apreciar pequeños apresorios a simple vista, hasta encontrar lesiones necróticas mayores con bordes irregulares y hundidos (figura...). Además, se identificaron síntomas también en hojas y ramas.



**Figura 9. Frutos con síntomas de antracnosis**

### 7.3.2 Incidencia

Para determinar los porcentajes de incidencia, se contabilizaron el número de frutos enfermos, tomando como muestra 12 frutos de cada árbol, teniendo una n total de 2,400 frutos por muestreo en cada municipio.



**Figura 10. Incidencia de antracnosis en Coatepec Harinas, Tenancingo, Temascaltepec y Donato Guerra.**

En el caso de Coatepec Harinas, el mayor porcentaje de incidencia de antracnosis se presentó en el mes de agosto (ambos muestreos), con un 76%(figura 9), mientras que el menor porcentaje de incidencia fue de casi 12% en el mes de enero, esto se traduce a un total de 287 frutos con síntomas de antracnosis (Figura 10).

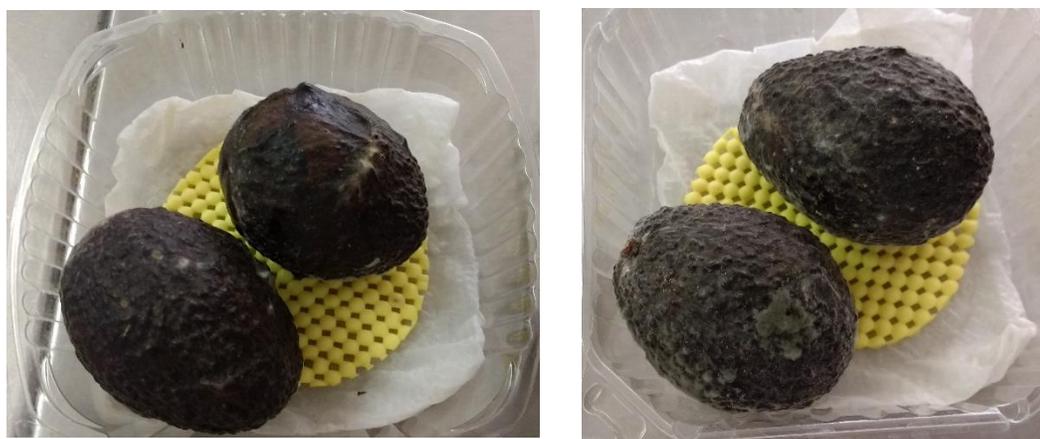
Los porcentajes de incidencia en Tenancingo, coinciden con los encontrados en Coatepec Harinas, pues también en agosto se encontró el mayor número de frutos enfermos, sin embargo, los menores porcentajes correspondieron a los meses de enero y febrero, es decir, al comienzo del periodo muestreo (Ver anexo 1).

Un porcentaje de 75% de frutos enfermos en el mes de agosto fue encontrado en Donato Guerra, coincidiendo con los mayores porcentajes encontrados en Coatepec Harinas y Tenancingo, por otro lado, el valor menor encontrado para este municipio fue en el primer muestreo, con un valor del 15.29% (Cuadro 5)

Finalmente, en Temascaltepec, los mayores porcentajes de incidencia fueron de 50.9 y 51.7, durante los muestreos de septiembre y octubre, mientras que el menor porcentaje de frutos enfermos fue de 12.16 en el mes de marzo (Cuadro 6).

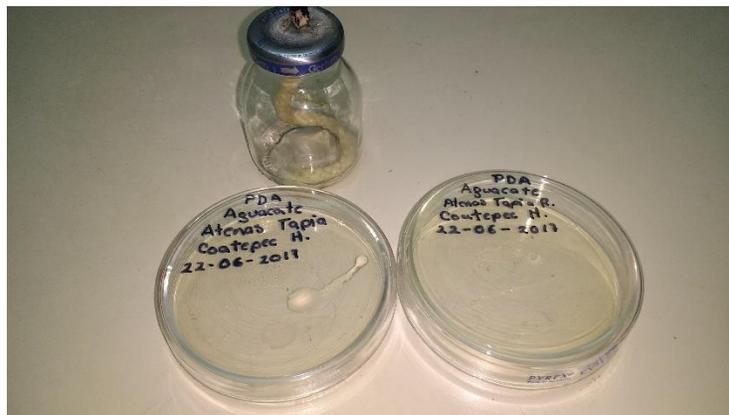
### 7.3.3 Análisis de laboratorio

Se lograron aislar muestras de *C. gloeosporioides* de los frutos obtenidos en las colectas realizadas.



**Figura 11. Muestras de frutos de aguacate con síntomas de antracnosis.**

En la Figura 11 se observa muestras de frutos de aguacate con síntomas de antracnosis, puestos en cajas plásticas, los cuales se dejaron en una incubadora a 25°C; posteriormente, se extrajeron cortes de tejido infectado y fueron puestos en medio de cultivo PDA, de estas muestras se aisló a *Colletotrichum gloeosporioides* para poder realizar su identificación (Figura 12). En la Figura 13, se muestran los acérvulos de aspectos claviformes, triangulares e irregulares, además de conidios rectos, cilíndricos, hialinos y obtusos en el ápice; en la figura 11C se puede ver un micelio algodonoso con tonalidades grisáceas en medio de cultivo PDA. coincide con lo reportado por Morales et al (2000; 2009) y Cano (2004), quienes mencionan que las colonias encontradas en los aislamientos de *C. gloeosporioides* provenientes de muestras de aguacate, son variables, por lo que los resultados encontrados en este trabajo concluyen que corresponden a la misma especie.



**Figura 12. Muestras de tejido enfermo en medio de cultivo PDA.**



**Figura 13. *Colletotrichum gloeosporioides* a) Acérvulos; b) Conidios hialinos; c) Micelio algodonoso**

#### **7.3.4 Análisis geoestadístico (semivariogramas)**

En este trabajo de investigación se elaboraron un total de 96 semivariogramas con el programa Variowin, el cual es muy eficiente y exacto para el ajuste a modelos teóricos.

Estos semivariogramas fueron obtenidos gracias a los datos de incidencia de frutos con antracnosis cuantificados en los muestreos quincenales realizados durante un año en los cuatro municipios productores seleccionados como áreas de estudio.

Se presentaron modelos exponenciales, gaussianos y esféricos, sin embargo, el modelo que más destacó para explicar la enfermedad fue de tipo exponencial en los cuatro municipios.

Dichos modelos, fueron validados a través del método de validación cruzada, cuyos estadísticos se encuentran organizados en tablas para cada municipio muestreado, las cuales se pueden consultar en la sección de anexos.

De igual manera, con ayuda del software Surfer 9 se elaboraron mapas de densidad de las poblaciones de antracnosis, en donde se observaron parches, mejor llamados centros de

agregación de donde se infiere que surgía la enfermedad, indicando el sitio del posible origen del agente causal (Ver Anexos 2, 3 y 4).

Cabe destacar que estos semivariogramas y mapas se mencionan en los dos artículos anteriormente presentados, y en los cuales se comprueba que la antracnosis es una enfermedad que se presenta en el cultivo de aguacate formando parches de infección, por lo que se asume un comportamiento espacial agregado en todas las zonas muestreadas.

## VIII. DISCUSIÓN GENERAL

---

La agricultura representa una de las actividades humanas y económicas más importantes en el mundo. La mayor parte de las civilizaciones deben su éxito no solo a las adaptaciones a un ambiente determinado, sino también a la generación de estrategias de producción agrícola que les han permitido asegurar su alimentación durante miles de años.

Aunado a esto, desde la época prehispánica, en México se han cultivado muchas especies, las cuales, no solo eran importantes para los indígenas como parte de su alimentación o del cuidado de la salud, sino que además, eran consideradas alimentos que servían como ofrenda para los dioses, siendo el aguacate, uno de ellos.

Con el tiempo, el aguacate se convirtió en un especie domesticada no sólo de alto valor alimenticio, sino también económico para nuestro país, asociado al gran interés que se ha mostrado por parte de la comunidad científica, pues es hoy en día, una de las especies más estudiadas a nivel nacional por investigadores de renombre como Morales, Ávila y Téliz, solo por mencionar algunos, aunque también por muchos otros investigadores a nivel mundial, realizando estudios que varían desde el origen y domesticación del cultivo, rescate de especies nativas, zonas ideales de producción del cultivo, manejo y control de plagas, importancia de enfermedades, hasta la identificación de especies asociadas al cultivo a través de técnicas moleculares.

Es así que desde hace muchos años, México es punta de lanza en la producción y exportación de este frutal, siendo Japón, Estados Unidos y varios países de la Unión Europea los principales importadores de los aguacates que se producen aquí. Diversas fuentes (SIAP,

INEGI, entre otras) destacan que dos de cada tres aguacates que se consumen en el mundo, son mexicanos, enfatizando en los aspectos de la calidad y el cuidado que se tiene en su producción.

Países como República Dominicana, Colombia, Perú e Indonesia son la principal competencia para México, sin embargo, nuestro país se destaca como el principal productor de aguacate a nivel internacional ya que abastece casi una tercera parte del consumo mundial de este fruto, a pesar de que existen 60 países más que lo producen.

De acuerdo con información de la SAGARPA, nuestro país es el abastecedor de tres de las variedades más importantes de aguacate: Hass, Criollo y Fuerte. A nivel mundial existen 500 variedades diferentes.

Al cierre de 2015, la producción de aguacates en México alcanzó el millón 644 mil toneladas y exportó un millón 468 mil, cifra que superó en 3.8 veces a la ventas al exterior registradas por República Dominicana, su más cercano competidor y segundo productor de aguacate a nivel internacional.

Esto nos permite tener una visión más certera y analizar el panorama, por lo que, tomando en cuenta la importancia del cultivo, es que surge la necesidad de implementar estrategias para su manejo adecuado, y es también donde nace la relevancia de este trabajo de investigación, en el cual se destaca el valor del cultivo y también la relevancia de la Antracnosis como enfermedad, cuyos daños provocan pérdidas económicas considerables para los productores.

Estas pérdidas en la producción surgen debido a que el agente causal (*Colletotrichum gloeosporioides*) permanece latente durante todo el año en los huertos de aguacate, y esperando las condiciones ambientales ideales para comenzar el proceso infeccioso.

Al respecto, Mercado (2015) menciona que uno de los factores determinantes en la aparición de la antracnosis en los cultivos es el clima; lo anterior se asume de manera lógica si

consideramos lo propuesto por Leavell y Clark en 1953, quienes hablan acerca del concepto de “triada ecológica”, en donde se considera la historia natural de la enfermedad y los tres aspectos importantes para que ésta surja: El agente causal, un hospedero susceptible y el ambiente.

En este trabajo, se identificó claramente la presencia del agente causal de la antracnosis, el hospedero susceptible, que fueron los arboles de aguacate cv. Hass y las condiciones edafoclimáticas que se presentaron en los cuatro municipios muestreados.

Gracias a los semivariogramas generados y a los mapas elaborados, se logró identificar la distribución espacial de la enfermedad, donde la presencia de más de un centro de agregación a lo largo del estudio, fue determinante y sugerente para asumir que la enfermedad se encontraba presente en toda la zona muestreada; que si bien, no se alcanzó porcentaje de infección del 100%, si se mantuvo constante durante todo el año.

A su vez, el cambio en estos centros de agregación se atribuye a las épocas de cosecha, pues al ser un cultivo perenne y cuyas edades eran diferentes, los frutos estaban presentes en las huertas todo el año, sin embargo, eran cortados por los productores para su comercialización.

Como ya se ha mencionado a lo largo de este estudio, se considera importante el seguir aplicando estrategias que permitan tomar decisiones adecuadas en el momento justo, pues esto, permitirá disminuir costos y facilitara el control de la enfermedad en el cultivo.

La geoestadística aplicada a la investigación agrícola ha cobrado gran relevancia en los últimos años, generando una nueva línea de generación de conocimiento en nuestro país, como lo es la agricultura de precisión, y ciertamente, en este trabajo se comprobó que las geotecnologías funcionan como una herramienta que permite complementar las labores de cultivo y optimizar el tiempo que se invierte en ellas.

Este trabajo es uno de los primeros estudios geoestadísticos realizados con el objetivo de conocer la distribución espacial de las enfermedades en el cultivo de aguacate en el Estado

de México, por lo que se inicia un campo nuevo para seguir realizando estudios que contribuyan al manejo del cultivo y de otras enfermedades que se presenten en él. Estos resultados son un antecedente importante para crear programas de manejo integrado específicos para la antracnosis en el cultivo de aguacate.

## **IX. CONCLUSIONES**

---

En este trabajo se logró determinar la distribución espacial de *Colletotrichum gloeosporioides* en cuatro municipios productores de aguacate hass en el Estado de México. Así mismo, se logró identificar la presencia de *C. gloeosporioides*, agente causal de la antracnosis en el aguacate.

Para conocer el patrón espacial de la antracnosis, se elaboraron mapas de densidad para las cuatro zonas de estudio. Además de que se pudo estimar la superficie infestada y la estabilidad espacio-temporal de la antracnosis

En este trabajo se confirmó que la antracnosis es una enfermedad causada por *C. gloeosporioides*, que se distribuye de forma agregada en los huertos de producción de aguacate Hass en el Estado de México.

El patrón espacial que siguen las enfermedades de los cultivos agrícolas a través del tiempo es un aspecto que debe considerarse dentro del manejo de cualquier cultivo.

El cultivo de aguacate es uno de los más susceptibles al ataque de enfermedades como la antracnosis.

Las condiciones ambientales, sobretodo de humedad y temperatura elevadas juegan un papel determinante en la aparición y el proceso infeccioso de la enfermedad.

Gracias a los semivariogramas obtenidos y a los mapas de densidad se pudo establecer el comportamiento espacial agregado de la antracnosis, formando parches infecciosos en las cuatro zonas muestreadas.

## X. REFERENCIAS

---

Acosta, A.D., Ramírez, J.F., Rivera, R., Figueroa, D.K., Lara, A.V., Maldonado, F.I., Tapia, A. 2017. Spatial Distribution of Thrips spp. (Thysanoptera) and Evaluation of their Control with the Predator *Amblyseius swirskii* in Avocado Orchards in Mexico. Southwest. Entomol; 42:435-446.

Agrios, G. N. 2005. Plant Pathology. 5th Edition. Academic Press, USA.

Alegret Rodríguez, M., Herrera, M., y Grau Abalo, R. 2008. Spatial statistical techniques in health care research: Down's syndrome case. *Revista Cubana de Salud Pública*, 34(4) Recuperado en 08 de marzo de 2018, de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S086434662008000400003&lng=es&tlng=en](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S086434662008000400003&lng=es&tlng=en).

Alves, M.C., Pozza, E.A., Machado, J.C., Araujo, D.V., Talamini, V., Oliveira, M.S. 2006. Geoestadística como metodología para estudar a dinâmica espaço-temporal de doenças associadas a *Colletotrichum* spp. transmitidos por sementes. *Fitopat. Bras.*; 31:557-563.

Armstrong, M. y Jabin, R. 1981. Variogram models must be positive definite. *Mathem. Geol.*; 13:455-459.

Ascensión, G., Bravo M, H., González, H, H., Johansen, N, R., y Becerril, R, A. 1999. Fluctuación poblacional y daño de trips en aguacate C.V. Hass. *Rev. Chapingo. Serie Horticultura* 5: 291-296.

Ávila Quezada, G., Téliz, D., González, Vaquera, Tijerina, Johansen, Mojica. 2002. Dinámica espacio-temporal de roña, daño asociado a trips y antracnosis del aguacate en Michoacán, México. *Rev. Méx. Fito.*; 20:77-87.

Barnett, H. L., and B. B. Hunter. 1998. *Illustrated Genera of Imperfect Fungi*. American Phytopathological Society Press. St. Paul, Minnesota. USA. 218 p.

Barrientos-Priego, A. F.; Muñoz-Pérez, R.; Borys, M. W. y Martínez Damián, M. T. 2007. Taxonomía, cultivares y portainjertos. In: Téliz, D.; Mora, A. (Ed.). *El aguacate y su manejo integrado*. 2ª edición. Mundi-Prensa México, S. A. de C. V. México, D. F. 30-62 pp

Bisonó, P, S y Hernández B, J. 2008. *Guía tecnológica sobre el cultivo de aguacate*. Santo Domingo, D. N.

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. Sci. Soc. Am. J.*; 58: 1501–1511.

Campos, R.;Terrazas, E. T. and López-Mata, L. 2006. *Persea* (avocados) phylogenetic analysis based on morphological characters: hypothesis of species relationships. *Genetic Resources and Crop Evolution* 54:249-258.

Cárdenas, N.J. 2017. Análisis espacial de la incidencia de enfermedades en diferentes genotipos de cacao (*Theobroma cacao* L.) en El Yopal (Casanare), Colombia. *Act Biol. Col.*; 22: 209-220.

Carvalho, A.M, Moreira, S,F, Ampelio, P.E, Silva, O.M. 2009. Modeling spatial variability and pattern of rust and brown eye spot in coffee agroecosystem. *J. Pest Sci.*; 82: 137-148.

Castañeda, V. A., Espindola, B. M.C., Equihua, M.A. y Valdez, C. J. 2015. Insectos barrenadores de frutos, ramas y tallos del aguacate. Gobierno del Estado de México, ICAMEX, Fundación Salvador Sánchez Colín CICTAMEX, S.C. México, 72 pp.

Ceja, T. L.F., Téliz, O. D., Osada, K S. y Morales, G. J.L. 2000. Etiología, distribución e incidencia del Cancro del aguacate *Persea americana* Mill. en cuatro municipios del Estado de Michoacán, México. *Revista Mexicana de Fitopatología* 18:79-86.

Centro Nacional de Información Biotecnológica de los Estados Unidos de América. 2007. National Center for Biotechnology Information, U.S. National Library of Medicine 8600 Rockville Pike, Bethesda MD, 20894 USA. Sitio web: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>. (Consulta: 5 de agosto 2018).

Cisneros, Fausto. 2010. Control de plagas agrícolas, fascículo 13 el manejo integrado de plagas ([http://hortintl.cals.ncsu.edu/sites/default/files/articles/Control\\_de\\_Plagas\\_Agricolas\\_MIP\\_Ene\\_2010.pdf](http://hortintl.cals.ncsu.edu/sites/default/files/articles/Control_de_Plagas_Agricolas_MIP_Ene_2010.pdf)). (Consulta: 21 de octubre 2018).

Comisión Nacional del Agua. Servicio Meteorológico Nacional. 2017. Sitio web: <http://smn.cna.gob.mx/es/>. (Consulta: 5 de agosto de 2018).

Cosmoagro, 2018. Sitio web: <https://www.cosmoagro.com/web/>. (Consulta: 17 de octubre 2018).

Cruz-Maya, M. E., Barrientos-Priego, A. F., ZelayaMolina, L. X., Rodríguez-de la O, J. L., & Reyes-Alemán, J. C (2018). Phylogenetic analysis of some members of the subgenus *Persea* (*Persea*, Lauraceae). *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 24(2), 133-150. doi: 10.5154/r.rchsh.2017.12.038.

Fisher MC, Henk DA, Briggs CH, Brownstein JS, Madoff L, McCraw L, Gurr S. Emerging fungal threats to animal, plant and ecosystem health. *Nat*, 2012; 484:7393. Doi: 10.1038/nature10947.

Gallegos, E.R. 1983. Aspectos del Aguacate y su Producción en Michoacán. Ed. Patronato Universitario, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de Méx., México. 317 p.

Gama-Campillo, L. M. y Gómez-Pompa A. 1992. An ethnoecological approach for the study of Persea: a case study in the Maya area. Proceedings of Second World Avocado Congress: 11-17.

Gañán L, Álvarez E, Castaño ZJ. 2015. Identificación genética de aislamientos de *Colletotrichum* spp. causantes de antracnosis en frutos de aguacate, banano, mango y tomate de árbol. Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat.; 39:339- 347.

García, A. M., Méndez, V. M., y Morales, A. G. 1967. El aguacatero: Plagas y enfermedades. Fotófilo. No. 56: 12-14.

Gomes, R.R., Glienke, C., Videira, S.I.R., Lombard, L., Groenewald, J.Z., Crous, P.W., 2013. Diaporthe: a genus of endophytic, saprobic and plant pathogenic fungi. Persoonia 31, 1e41.

González, H, H., Johansen, R., Gasca, L., Equihua, A., Salinas, A., Estrada, E., Duran, F. y Valle, A. 2000. Plagas del aguacate. En: Téliz., D. (cd). El Aguacate y su Manejo Integrado. Ediciones Mundi Prensa. México, DF. pp. 177-186.

*Gran Diccionario Náhuatl* [en línea]. Universidad Nacional Autónoma de México [Ciudad Universitaria, México D.F.]: 2012 [ref del 14 de junio de 2018]. Disponible en la Web <<http://www.gdn.unam.mx>>

Gutiérrez-Alonso JG, Gutiérrez-Alonso O, Nieto-Ángel D, Téliz-Ortiz D, Zavaleta-Mejía, E., y Delgadillo-Sánchez, F. Manejo integrado de la antracnosis [*Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. y Sacc.] del mango (*Mangifera indica* L.) durante la poscosecha. Rev. Mex. Fito. 2004; 22:395-402.

Guzmán RA, Gómez R, García R, Gavi F. Distribución espacial de la pudrición radical del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) por *Fusarium solani* (Mart.) Sacc. f. sp. phaseoli (Burk.) Snyder y Hans. en la Vega de Metztlán, Hidalgo, México. Rev. Mex. Fito. 2004; 22:246-258

Hevesi J, Istok J, Flint A. Precipitation estimation in mountainous terrain using multivariate geostatistics, part I, structural analysis. J. Appl. Meteorol. 1991; 31:661-676.

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 2009. Sitio web: <https://www.iica.int/es>. (Consulta: 17 de octubre de 2018).

INEGI. 2009. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Sitio web: <http://www.inegi.org.mx/>. (Consulta: 2 de septiembre de 2017).

Isaaks EH, Srivastava RM. An Introduction to Applied Geostatistics. 1989. Oxford University Press, New York.

Johansen, R., Mojica, G., y Ascensión, B. 1999. Introducción al conocimiento de los insectos tisanópteros mexicanos, en el aguacatero (*Persea americana* Miller). Revista *Chapingo* Serie. Horticultura 5 (Núm. Esp.): 279-285.

Kopp, L. E. 1966. A taxonomic revision of the genus *Persea* in the western hemisphere (*Persea-Lauraceae*). *Memoirs of the New York Botanical Garden* 14:1-120.

Landero-Valenzuela, N., Lara-Viveros, F.M., Andrade-Hoyos, P., Aguilar-Pérez, L. A. y Aguado Rodríguez, G.J. 2016. Alternativas para el control de *Colletotrichum* spp. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Vol.7 Núm.5 p. 1189-1198.

Maanen, V.A., Xu, X.M. Modelling plant disease epidemics. *European J. Plant Pathology* 109: 669-682.

Madden LV, Hughes G. Plant disease incidence: distributions, heterogeneity, and temporal analysis. *Annu Rev Phytopathology*. 1995; 33:529-64.

Madden, L. V., and Hughes, G. Sampling for plant disease incidence. *Phytopathol*. 1999; 89:1088-1103.

Maldonado, F.I., Ramírez, J.F., Rubí, M., Némiga, X., Lara, A.V. 2016 Distribución espacial de trips en aguacate en Coatepec Harinas, Estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*; 7:845-856.

Maldonado, F.I., Ramírez, J.F., Lara, A.V., Rivera, R., Acosta, A.D., Figueroa, D.K., Tapia A. 2017. Stability of the Spatio-Temporal Distribution of Trips in Avocado Orchards in the State of Mexico, Mexico. *Southwestern Entomologist*; 42: 447-462

Martínez B., R. 1975. Relación de enfermedades del aguacatero en la región de Uruapan Michoacán y áreas adyacente. *Boletín informativo PFIZER, División Agrícola*. D.F., México. 37 p.

Moral, G. 2004. Aplicación de la Geoestadística en las ciencias ambientales. *Ecosistemas*; 13: 78-86.

Morales, G. J.L. 1996. Caracterización cultural, morfológica, patogénica y molecular de *Colletotrichum gloeosporioides* Penz. causante de la antracnosis del aguacate de Michoacán. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México.; 96

Morales, G.J.L. 2000. La antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides* Penz.) y la roña (*Sphaceloma perseae* Jenk.) del aguacate en Michoacán, México: Epidemiología, predicción y caracterización. Tesis de Doctor en Ciencias. Instituto de Fitosanidad. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. México. 173 pp.

Morales, G. J.L. 2009. Caracterización cultural, morfológica, patogénica e isoenzimática de aislamientos de *Colletotrichum gloeosporioides* Penz., causante de la antracnosis del aguacate (*Persea americana* Mill.) en Michoacán, México Revista UDO Agrícola 9 (4): 848-856.

Morales, G. J.L. 2013. Plagas y enfermedades del aguacate. 1er foro Veracruzano de Fruticultura y cultivos tropicales.

Navas, C.J.A, Landa, B.B., Mercado, J., Trapero-Casas J.L., Rodríguez D., Jiménez, R.M. 2008. Spatiotemporal analysis of spread of infections by *Verticillium dahliae* pathotypes within a high tree density olive orchard in southern Spain. *Phytopathology*; 98:167-180.

Orozco-Santos, M. 2006. Patogenicidad, variabilidad morfológica y genética de *Colletotrichum acutatum* Simmonds de cítricos en México. Tesis Doctorado en Biotecnología Microbiana. Universidad de Colima, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. 98 p

Ploetz R. 2006. Fusarium Wilt of Banana Is Caused by Several Pathogens Referred to as *Fusarium oxysporum* f. sp. *Cubense*. Symposium Fusarium-Induced Diseases of Tropical Perennial Crops. 96: 653-656.

Prusky D. 1996. Pathogen quiescence in postharvest diseases. *Annual Reviews of Phytopathology* 34, 413–434.

Prusky D., Alkan N., Mengiste T., Fluhr R. (2013). Quiescent and necrotrophic lifestyle choice during postharvest disease development. *Annu. Rev. Phytopathol.* 51 155–176. 10.1146/annurev-phyto-082712-102349.

Quiñones, R., Sánchez J.R., Pedraza-Esquivel, A.K., Castañeda A., Franco O. 2016 Distribución espacial de la roya transversal (*Uromyces transversalis*) del gladiolo durante el

ciclo primavera-verano en la región sureste del estado de México. Rev. FCA UNCUYO. 48: 209-220.

Ramírez J.F., Sánchez J.R., De León, C. 2011. Estabilidad Espacio Temporal de la Distribución del Carbón de la Espiga del Maíz (*Sporisorium reilianum*) en el Estado de México, México. Revista Mexicana de Fitopatología; 29:1-14

Ramírez JF, Solares VM, Figueroa DK, Sánchez JR. Comportamiento espacial de trips (Insecta: Thysanoptera), en plantaciones comerciales de aguacate (*Persea americana* Mill.) en Zitácuaro, Michoacán, México. Act. Zool. Méx. 2013; 93:545-563.

Reyes Alemán JC. 2016 comunicación personal.

Reyes A, Morales JL. Determinación de la temperatura óptima de desarrollo in vitro de *Colletotrichum gloeosporioides* Penz. en aguacate “Hass”, en la zona aguacatera de Michoacán, México. Proceedings VI World Avocado Congress (Actas VI Congreso Mundial del Aguacate) 2007.

Rodríguez, L., E.S., González, P., J.M. Y Mayek, P., N. 2009. La Infección de *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. y Sacc. en Aguacatero (*Persea americana* Mill.): Aspectos Bioquímicos y Genéticos. Revista Mexicana de Fitopatología 27:53-63.

Rubí M., Franco, A.L., Rebollar, S., Bobadilla E., Martínez I., Siles Y. 2013. Situación actual del cultivo del aguacate (*Persea americana* Mill.) en el Estado de México, México. Trop. and subtrop. Agroecos.; 16:93-101.

SAGARPA. 2018. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Sitio web: <https://www.gob.mx/sagarpa>. (Consulta: 10 de octubre 2018).

Samper, F.J; Carrera J. 1996. Geoestadística: Aplicaciones a la hidrología subterránea. 2a Ed. Centro Internacional de Métodos en Ingeniería. Barcelona. 484 p.

Sánchez-Pale J R, Ramírez J F, González A, de León C. Patrón espacial del carbón de la espiga del maíz en diferentes localidades del Estado de México. Rev. Méx. de Cien. Agri., 2015; 6:1467-1480.

SENASICA. 2010. Barrenador de ramas *Copturus aguacatae*. Comité Estatal de Sanidad Vegetal del Estado de Morelos A. C. p. 6

SIAP 2017. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. SIAP. <http://www.siap.gob.mx/> (Consulta: 24 de mayo 2017).

Silva, H.V., Ávila, G.D. 2011 Phylogenetic and morphological identification of *Colletotrichum boninense*: a novel causal agent of anthracnose in avocado. J. Plant Pathol. 60: 899–908.

Storey W.B., Bergh B., Zentmyer G.A. 1986. The Origin, indigenous range and dissemination of the avocado. Calif. Avoc. Soc. Yearbook 70: 127-143.

Suárez P, R., Hernández A, J., Serrano R, J. y de Armas A, G. 1989. Plagas, enfermedades y su control. Ciudad de La Habana: Editorial Pueblo y Educación.

Sutton, B. C. 1992. The genus *Glomerella* and its anamorph *Colletotrichum*. In: *Colletotrichum: Biology, Pathology and Control*. Bailey, J. A., and M. J. Jeger (eds). CAB Internacional. Wallingford, UK. pp: 1-26

Whiley, A., Schaffer, B., Wolstenholme B. 2002. The avocado. Botany Production and uses. CABI. United Kingdom. 416 pp.

Williams, L. O. 1977. The avocado, a synopsis of the genus *Persea*, subg. *Persea*. Econ. Bot. 31:315-320.

Wysoki M., van der Berg M. A., Ish-Am G, Gazit S., Peña J. E., Waite G. 2002. Pests and pollinators of avocado, p.223-294. In Peña J E, Sharp J L, Wysoki M (eds) Tropical fruit pests and pollinators: biology, economic importance, natural enemies and control. United Kingdom, CABI Publishing, 448p.

Yakoby N, Beno D, Keen N, Dinoor A, Pines A, Prusky D. *Colletotrichum gloeosporioides* pelB is an important virulence factor in avocado fruit–fungus interaction. Mol. Plant–Microbe Int. 2001b; 14:988–995

## ANEXOS

---

### 1. Tablas de incidencia de Antracnosis por municipio.

**Tabla 1. Numero de frutos enfermos y porcentaje de incidencia por muestreo en Coatepec Harinas.**

MUESTREO	NO. DE FRUTOS ENFERMOS	NO. DE FRUTOS TOTALES	PORCENTAJE DE INCIDENCIA
1	322	2400	13.41
2	287	2400	11.95
3	479	2400	19.95
4	398	2400	16.58
5	308	2400	12.83
6	538	2400	22.41
7	530	2400	22.08
8	457	2400	19.04
9	905	2400	37.7
10	752	2400	31.33
11	873	2400	36.37
12	1002	2400	41.75
13	1150	2400	47.91
14	1322	2400	55.08
15	1847	2400	76.95
16	1835	2400	76.45

17	1187	2400	49.45
18	1103	2400	45.95
19	1146	2400	47.75
20	1039	2400	43.29
21	1176	2400	49
22	1061	2400	44.2
23	847	2400	35.2
24	700	2400	29.16

**Tabla 2. Tenancingo**

MUESTREO	NO. DE FRUTOS ENFERMOS	NO. DE FRUTOS TOTALES	PORCENTAJE DE INCIDENCIA
1	446	2400	18.53
2	364	2400	<b>15.16</b>
3	513	2400	21.37
4	444	2400	18.5
5	595	2400	24.7
6	604	2400	25.16
7	562	2400	23.4
8	572	2400	23.83
9	685	2400	28.54
10	836	2400	34.83
11	782	2400	32.58
12	1025	2400	42.7
13	1185	2400	49.37
14	1238	2400	51.5
15	1700	2400	<b>70.8</b>
16	1213	2400	50.5
17	1239	2400	51.6
18	1208	2400	50.3
19	1202	2400	50.08
20	1178	2400	49.08

21	1113	2400	46.37
22	1280	2400	53.33
23	990	2400	41.25
24	970	2400	40.41

**Tabla 3. Donato Guerra**

MUESTREO	NO. DE FRUTOS ENFERMOS	NO. DE FRUTOS TOTALES	PORCENTAJE DE INCIDENCIA
1	367	2400	15.29
2	433	2400	18.04
3	411	2400	17.12
4	481	2400	20.04
5	533	2400	22.2
6	438	2400	18.25
7	628	2400	26.16
8	619	2400	25.79
9	860	2400	35.83
10	1089	2400	45.37
11	1050	2400	43.75
12	1090	2400	45.41
13	1310	2400	54.58
14	1530	2400	63.75
15	1808	2400	75.33
16	1210	2400	50.41
17	1115	2400	46.45
18	1188	2400	49.5
19	1172	2400	48.83
20	1467	2400	61.12
21	1103	2400	45.95

22	1100	2400	45.83
23	901	2400	37.54
24	850	2400	35.41

**Tabla 4. Temascaltepec**

MUESTREO	NO. DE FRUTOS ENFERMOS	NO. DE FRUTOS TOTALES	PORCENTAJE DE INCIDENCIA
1	601	2400	25.04
2	445	2400	18.54
3	405	2400	16.87
4	388	2400	16.16
5	292	2400	<b>12.16</b>
6	584	2400	24.45
7	700	2400	29.16
8	694	2400	28.9
9	782	2400	32.58
10	855	2400	35.62
11	846	2400	35.25
12	995	2400	41.45
13	1274	2400	53
14	1189	2400	49.5
15	1045	2400	43.5
16	1099	2400	45.7
17	1167	2400	48.6
18	1223	2400	<b>50.9</b>
19	1241	2400	<b>51.7</b>
20	1187	2400	49.45
21	1100	2400	45.8

22	1023	2400	42.62
23	905	2400	37.7
24	798	2400	33.2

## **Anexo 2. Análisis Geoestadístico**

**Parámetros (efecto pepita, rango, media, varianza, pepita/meseta y nivel de dependencia espacial) de los modelos ajustados a los semivariogramas de Antracnosis en aguacate en Coatepec Harinas 2017.**

MUESTREO	MEDIA	VARIANZA	MODELO	PEPITA	RANGO	MESETA	PEP/MESETA (%)	NIVEL DE DEPENDENCIA ESPACIAL
ENERO1	1.63	1.486	Exponencial	0	41	1.088	0	ALTA
ENERO 2	1.50	2.282	Exponencial	0	40	2.573	0	ALTA
FEBRERO 1	2.50	2.051	Gaussiano	0	19.2	1.659	0	ALTA
FEBRERO 2	2.08	4.024	Esférico	0	35	2.624	0	ALTA
MARZO 1	1.61	1.143	Exponencial	0	25.6	1.08	0	ALTA
MARZO 2	2.816	2.160	Gaussiano	0	22.4	2.068	0	ALTA
ABRIL 1	2.77	2.227	Gaussiano	0	20.8	1.886	0	ALTA
ABRIL 2	2.32	1.469	Exponencial	0	40	1.122	0	ALTA
MAYO 1	4.73	21.204	Gaussiano	0	22.394	0.95996	0	ALTA
MAYO 2	3.92	3.567	Gaussiano	0	24	3.312	0	ALTA
JUNIO 1	4.57	9.888	Gaussiano	0	20.8	5.14767	0	ALTA
JUNIO 2	5.24	9.291	Exponencial	0	20.8	4.464	0	ALTA
JULIO 1	6.02	14.47	Esférico	0	20	12.3	0	ALTA
JULIO 2	6.92	7.20	Gaussiano	0	19.194	6.716	0	ALTA
AGOSTO 1	9.67	2.07	Exponencial	0	19.2	1.806	0	ALTA
AGOSTO 2	9.60	2.67	Exponencial	0	28	2.052	0	ALTA
SEPT 1	6.21	12.27	Gaussiano	0	24	11.44	0	ALTA
SEPT 2	5.77	11.39	Exponencial	0	20.8	9.96	0	ALTA
OCT 1	6.26	12.72	Exponencial	0	19.2	11.83	0	ALTA
OCT 2	6.02	13.45	Gaussiano	0	17.6	11.34	0	ALTA
NOV 1	6.15	12.60	Gaussiano	0	19.2	11.60	0	ALTA
NOV 2	6.07	10.62	Exponencial	0	17.6	9.02	0	ALTA
DIC 1	6.11	11.73	Exponencial	0	22.4	10.92	0	ALTA
DIC 2	6.07	12.37	Exponencial	0	19.2	11.57	0	ALTA

**Estadísticos de la validación cruzada en los modelos de agregación de Antracnosis en aguacate en Coatepec Harinas 2017.**

MUESTREO	Tamaño de la Muestra	Media Muestral	Varianza Muestral	MEE	Varianza de los Errores	ECM	ECMA

<b>ENERO 1</b>	200	1.63	1.486	0.11ns	1.06	0.13	1.11
<b>ENERO 2</b>	200	1.50	2.282	0.14ns	1.92	0.10	1.13
<b>FEBRERO 1</b>	200	2.50	2.051	0.09ns	1.77	0.12	1.10
<b>FEBRERO 2</b>	200	2.08	4.024	0.10ns	2.90	0.08	1.14
<b>MARZO 1</b>	200	1.61	1.143	0.12ns	0.68	0.06	1.09
<b>MARZO 2</b>	200	2.816	2.160	0.11ns	1.23	0.11	1.06
<b>ABRIL 1</b>	200	2.77	2.227	0.13ns	1.57	0.07	1.12
<b>ABRIL 2</b>	200	2.32	1.469	0.08ns	1.03	0.05	1.10
<b>MAYO 1</b>	200	4.73	21.204	0.13ns	12.36	0.10	1.07
<b>MAYO 2</b>	200	3.92	3.567	0.11ns	2.11	0.13	1.10
<b>JUNIO 1</b>	200	4.57	9.888	0.14ns	6.36	0.11	1.05
<b>JUNIO 2</b>	200	5.24	9.291	0.10ns	7.29	0.09	1.12
<b>JULIO 1</b>	200	6.02	14.47	0.10ns	12.83	0.07	1,12
<b>JULIO 2</b>	200	6.92	7.20	0.14ns	6.99	0.11	1.07
<b>AGOSTO 1</b>	200	9.67	2.07	0.11ns	1.15	0.13	1.11
<b>AGOSTO 2</b>	200	9.60	2.67	0.08ns	1.77	0.10	1.14
<b>SEPTIEMBRE 1</b>	200	6.21	12.27	0.10ns	10.08	0.12	1.10
<b>SEPTIEMBRE 2</b>	200	5.77	11.39	0.09ns	9.79	0.08	1.06
<b>OCTUBRE 1</b>	200	6.26	12.72	0.11ns	10.46	0.11	1.13
<b>OCTUBRE 2</b>	200	6.02	13.45	0.13ns	11.21	0.14	1.10
<b>NOVIEMBRE 1</b>	200	6.15	12.60	0.10ns	10.88	0.10	1.11
<b>NOVIEMBRE 2</b>	200	6.07	10.62	0.09ns	9.37	0.12	1.09
<b>DICIEMBRE 1</b>	200	6.11	11.73	0.14ns	9.81	0.09	1.14
<b>DICIEMBRE 2</b>	200	6.07	12.37	0.12ns	10.95	0.13	1.11

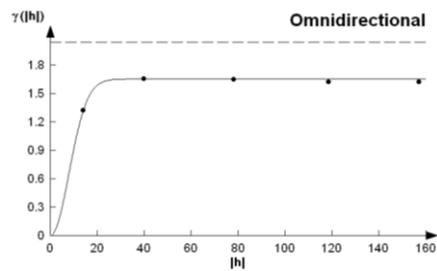
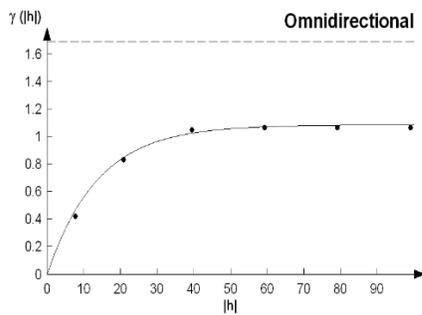
**Porcentaje de superficie infestada y no infestada por Antracnosis en aguacate en Coatepec Harinas 2017.**

<b>MUESTREO</b>	<b>SUPERFICIE INFESTADA %</b>	<b>SUPERFICIE NO INFESTADA %</b>
<b>ENERO 1</b>	<b>63</b>	<b>37</b>

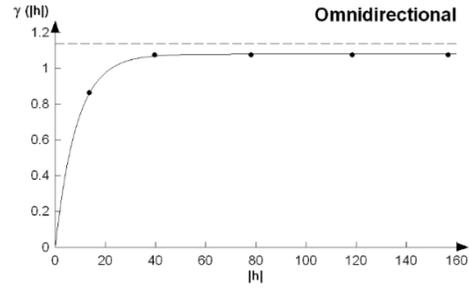
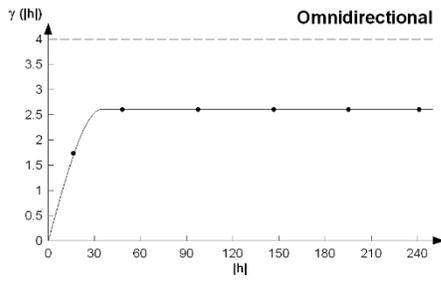
ENERO 2	65	35
FEBRERO 1	78	22
FEBRERO 2	60	40
MARZO 1	58	42
MARZO 2	83	17
ABRIL 1	80	20
ABRIL 2	90	10
MAYO 1	94	6
MAYO 1	91	9
JUNIO 1	87	13
JUNIO 2	95	5
JULIO 1	100	0
JULIO 2	97	3
AGOSTO 1	100	0
AGOSTO 2	100	0
SEPTIEMBRE 1	97	3
SEPTIEMBRE 2	96	4
OCTUBRE 1	96	4
OCTUBRE 2	94	6
NOVIEMBRE 1	100	0
NOVIEMBRE 2	70	30
DICIEMBRE 1	100	0
DICIEMBRE 2	85	15

**Semivariogramas y mapas de Antracnosis en aguacate en Coatepec Harinas de enero a diciembre 2017.**

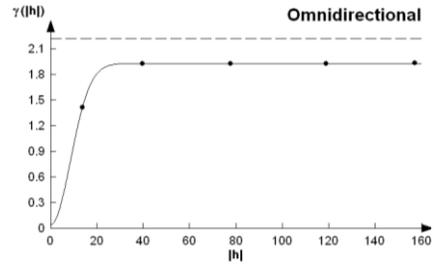
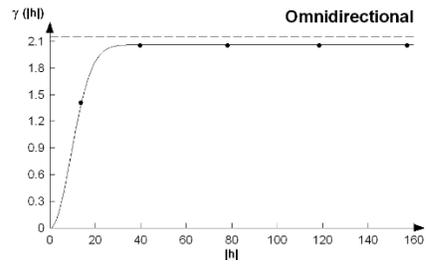
**ENERO**



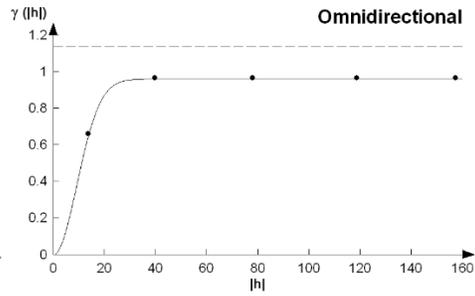
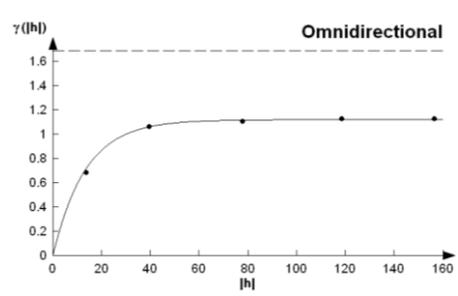
## FEBRERO



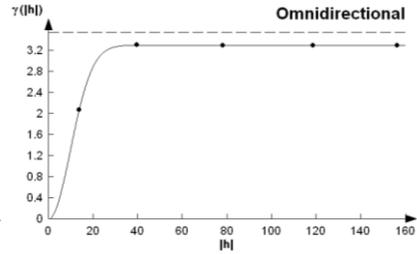
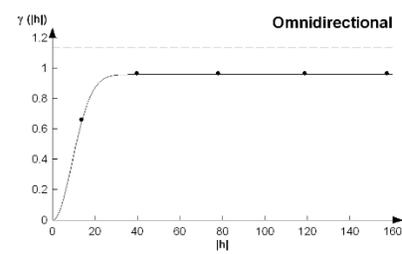
## MARZO



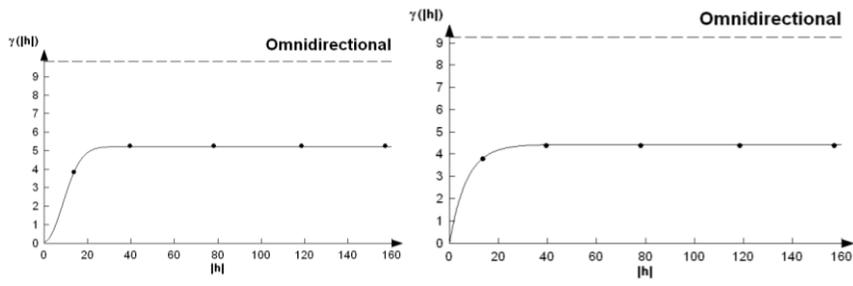
## ABRIL



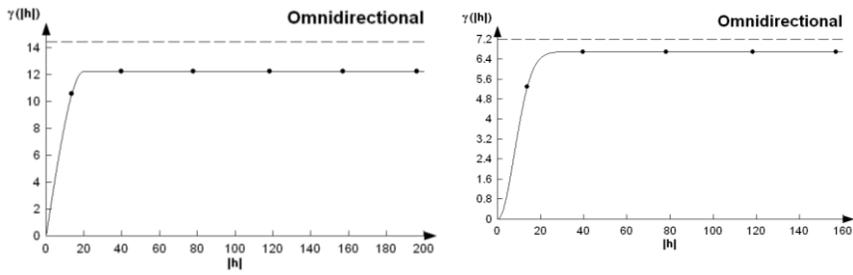
## MAYO



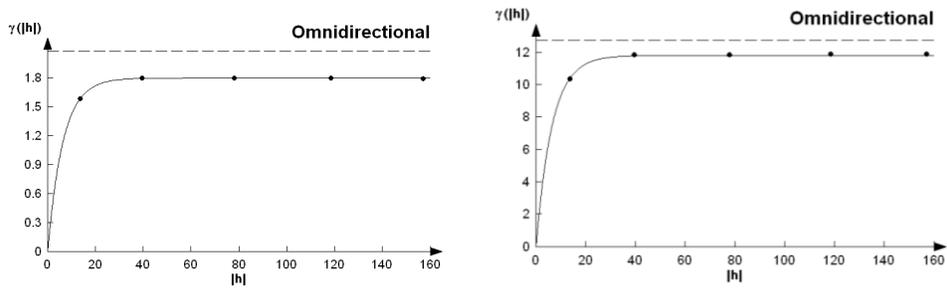
## JUNIO



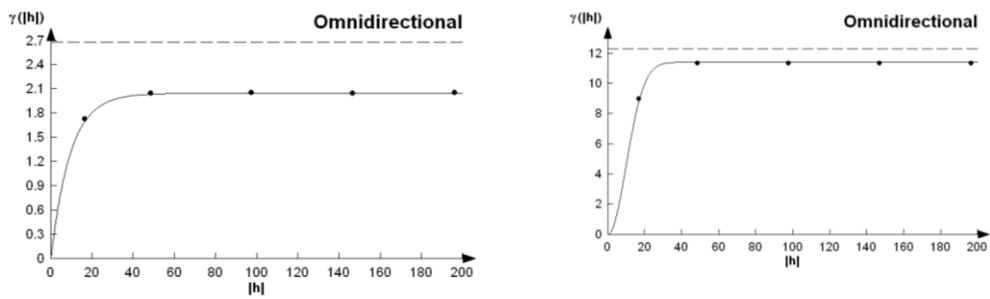
## JULIO



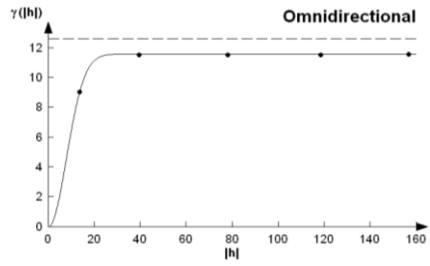
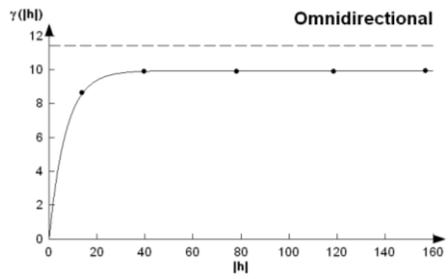
## AGOSTO



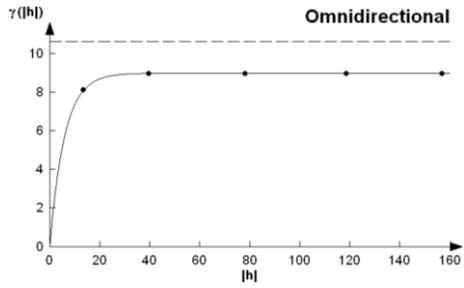
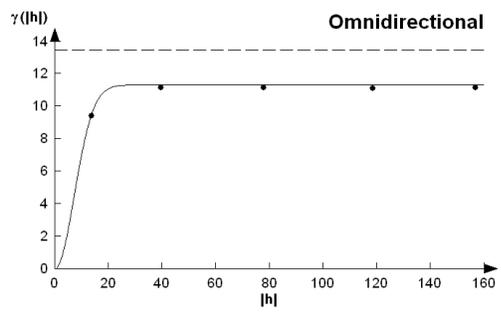
## SEPTIEMBRE



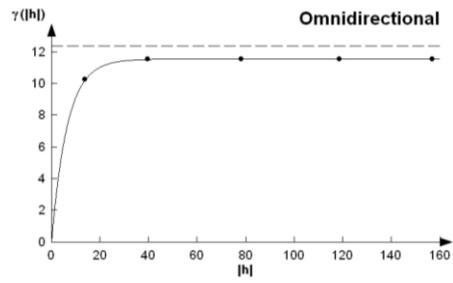
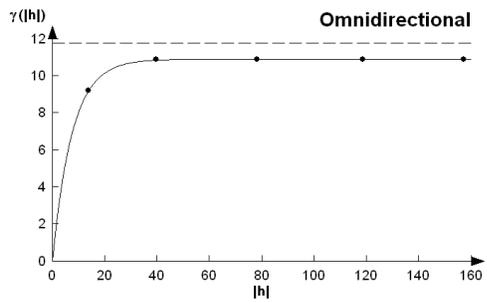
## OCTUBRE



## NOVIEMBRE



## DICIEMBRE



## TENANCINGO

Parámetros (efecto pepita, rango, media, varianza, pepita/meseta y nivel de dependencia espacial) de los modelos ajustados a los semivariogramas de antracnosis en aguacate en Tenancingo de enero a diciembre 2017.

MUESTREO	MEDIA	VARIANZA	MODELO	PEPITA	RANGO	MESETA	PEP/MESETA (%)	NIVEL DE DEPENDENCIA ESPACIAL
ENERO	2.205	1.882	Gaussiano	0	24	1.691	0	ALTA
ENERO	1.82	1.505	Gaussiano	0	24.7	1.425	0	ALTA
FEBRERO	2.565	1.935	Esférico	0	27.2	1.377	0	ALTA
FEBRERO	2.22	1.619	Gaussiano	0	25.6	1.513	0	ALTA
MARZO	2.975	3.572	Gaussiano	0	24	3.123	0	ALTA
MARZO	3.02	2.381	Gaussiano	0	17.6	2.232	0	ALTA
ABRIL	2.81	2.074	Gaussiano	0	19.2	1.407	0	ALTA
ABRIL	2.86	3.648	Gaussiano	0	27.2	2.183	0	ALTA
MAYO	3.68	1.051	Gaussiano	0	20.8	0.946	0	ALTA
MAYO	4.18	2.771	Gaussiano	0	24	2.1	0	ALTA
JUNIO	3.91	3.238	Exponencial	0	24	2.871	0	ALTA
JUNIO	5.12	7.667	Esférico	0	27.2	6.16	0	ALTA
JULIO	8.92	6.87	Gaussiano	0	22	2.553	0	ALTA
JULIO	6.19	12.68	Gaussiano	0	20	8.84	0	ALTA
AGOSTO	9.75	2.08	Exponencial	0	19.2	1.80	0	ALTA
AGOSTO	6.065	11.15	Exponencial	0	30	9	0	ALTA
SEPTIEMBRE	6.19	12.55	Exponencial	0	28	10.4	0	ALTA
SEPTIEMBRE	6.04	12.48	Gaussiano	0	22	10.08	0	ALTA
OCTUBRE	6.01	11.1	Gaussiano	0	22	10.08	0	ALTA
OCTUBRE	5.89	12.14	Esférico	0	25.6	10.14	0	ALTA
NOVIEMBRE	5.56	12.50	Gaussiano	0	17.6	10.92	0	ALTA
NOVIEMBRE	6.4	13.24	Exponencial	0	22.4	11.76	0	ALTA
DICIEMBRE	5.55	12.43	Gaussiano	0	19.2	11.44	0	ALTA
DICIEMBRE	6.1	11.86	Exponencial	0	19.2	10.92	0	ALTA

**Estadísticos de validación cruzada en los modelos de agregación de antracnosis en aguacate en Tenancingo de enero a junio 2017.**

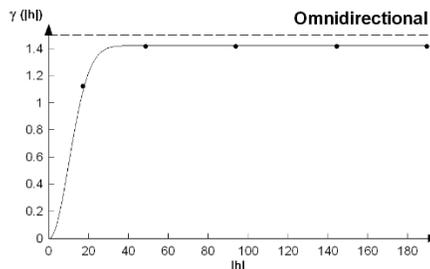
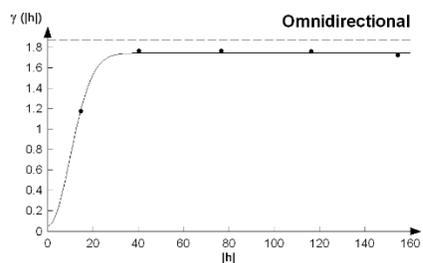
<b>MUESTREO</b>	<b>Tamaño de la Muestra</b>	<b>Media Muestral</b>	<b>Varianza Muestral</b>	<b>MEE</b>	<b>Varianza de los Errores</b>	<b>ECM</b>	<b>ECMA</b>
<b>ENERO</b>	200	2.205	1.882	0.13ns	1.15	0.11	1.09
<b>ENERO</b>	200	1.82	1.505	0.10ns	1.24	0.07	1.11
<b>FEBRERO</b>	200	2.565	1.935	0.12ns	1.79	0.14	1.14
<b>FEBRERO</b>	200	2.22	1.619	0.09ns	1.20	0.10	1.10
<b>MARZO</b>	200	2.975	3.572	0.14ns	2.05	0.08	1.06
<b>MARZO</b>	200	3.02	2.381	0.11ns	1.84	0.12	1.09
<b>ABRIL</b>	200	2.81	2.074	0.10ns	1.59	0.09	1.07
<b>ABRIL</b>	200	2.86	3.648	0.12ns	2.16	0.05	1.12
<b>MAYO</b>	200	3.68	1.051	0.08ns	0.64	0.11	1.10
<b>MAYO</b>	200	4.18	2.771	0.13ns	1.53	0.07	1.14
<b>JUNIO</b>	200	3.91	3.238	0.11ns	2.88	0.13	1.07
<b>JUNIO</b>	200	5.129	7.667	0.13ns	5.39	0.10	1.11
<b>JULIO</b>	200	8.92	6.87	0.09ns	4.37	0.11	1.07
<b>JULIO</b>	200	6.19	12.68	0.11ns	9.16	0.14	1.12
<b>AGOSTO</b>	200	9.75	2.08	0.13ns	1.21	0.08	1.10
<b>AGOSTO</b>	200	6.065	11.15	0.08ns	8.48	0.06	1.13
<b>SEPTIEMBRE</b>	200	6.19	12.55	0.05ns	10.04	0.10	1.08
<b>SEPTIEMBRE</b>	200	6.04	12.48	0.10ns	10.55	0.12	1.10
<b>OCTUBRE</b>	200	6.01	11.1	0.12ns	8.20	0.05	1.14
<b>OCTUBRE</b>	200	5.89	12.14	0.06ns	11.93	0.13	1.07
<b>NOVIEMBRE</b>	200	5.56	12.50	0.11ns	10.71	0.10	1.11
<b>NOVIEMBRE</b>	200	6.4	13.24	0.13ns	10.96	0.12	1.13
<b>DICIEMBRE</b>	200	5.55	12.43	0.09ns	9.92	0.09	1.09
<b>DICIEMBRE</b>	200	6.1	11.86	0.12ns	10.37	0.11	.10

**Porcentaje de superficie infestada y no infestada por Antracnosis en aguacate en Tenancingo de enero a diciembre 2017.**

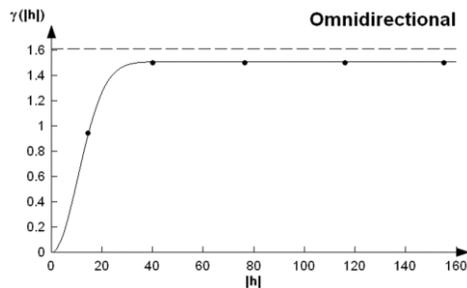
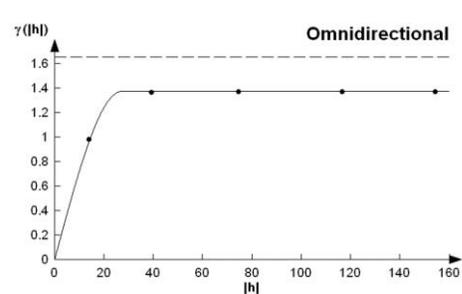
<b>MUESTREO</b>	<b>SUPERFICIE INFESTADA %</b>	<b>SUPERFICIE NO INFESTADA %</b>
<b>ENER</b>	96	4
<b>ENERO</b>	94	6
<b>FEBRERO</b>	86	14
<b>FEBRERO</b>	90	10
<b>MARZO</b>	89	11
<b>MARZO</b>	86	14
<b>ABRIL</b>	98	2
<b>ABRIL</b>	95	5
<b>MAYO</b>	90	10
<b>MAYO</b>	90	10
<b>JUNIO</b>	97	3
<b>JUNIO</b>	96	4
<b>JULIO</b>	96	4
<b>JULIO</b>	94	6
<b>AGOSTO</b>	98	2
<b>AGOSTO</b>	93	7
<b>SEPTIEMBRE</b>	99	1
<b>SEPTIEMBRE</b>	100	0
<b>OCTUBRE</b>	100	0
<b>OCTUBRE</b>	89	11
<b>NOVIEMBRE</b>	79	21
<b>NOVIEMBRE</b>	87	13
<b>DICIEMBRE</b>	97	3
<b>DICIEMBRE</b>	90	10

# Semivariogramas y mapas de Antracnosis en aguacate en Tenancingo de enero a diciembre 2017.

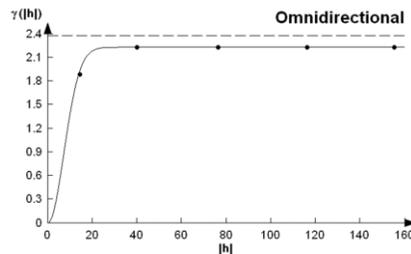
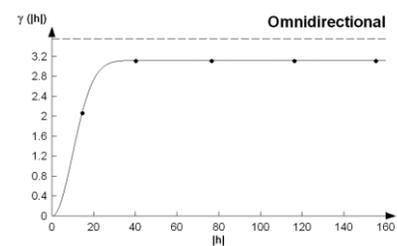
## ENERO



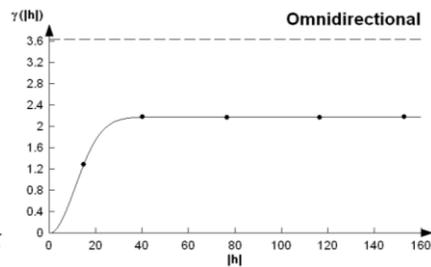
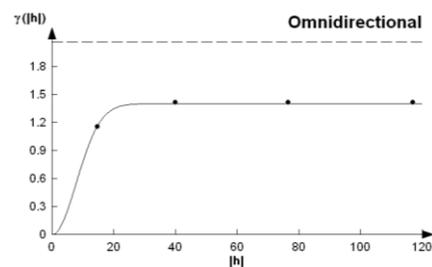
## FEBRERO



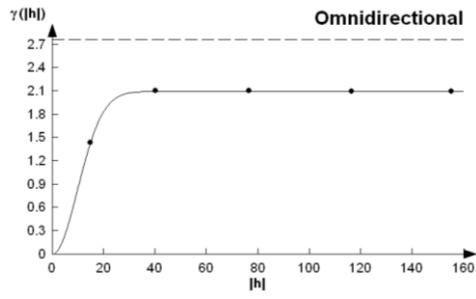
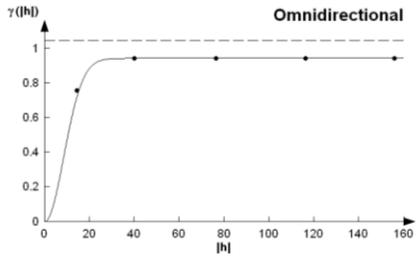
## MARZO



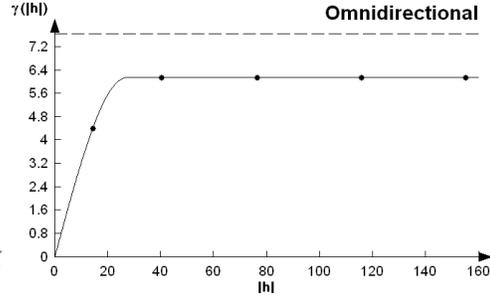
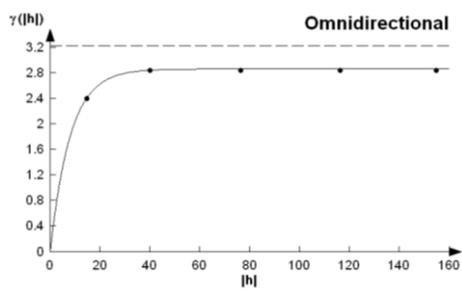
## ABRIL



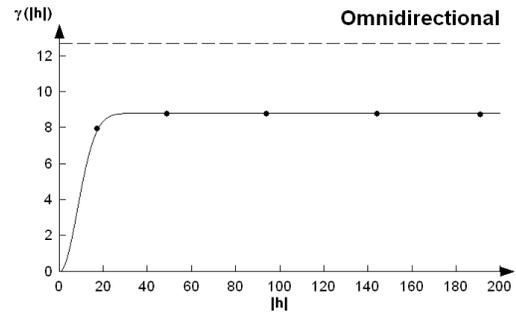
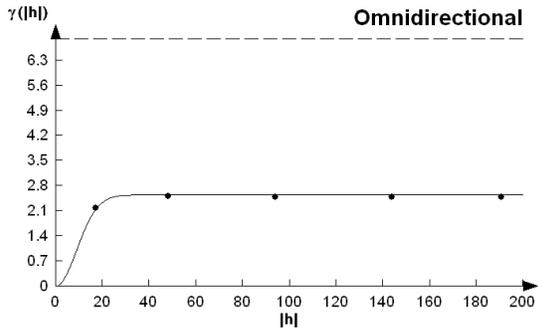
## MAYO



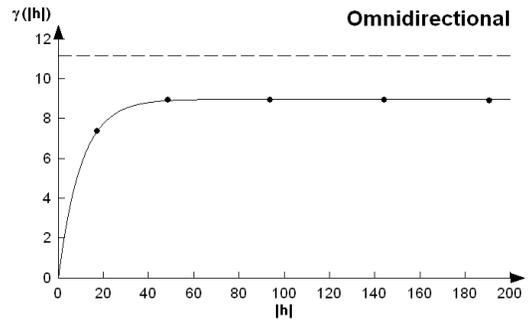
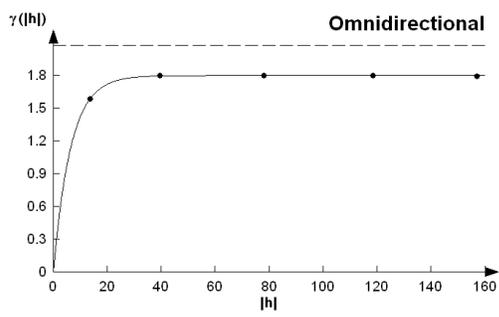
## JUNIO



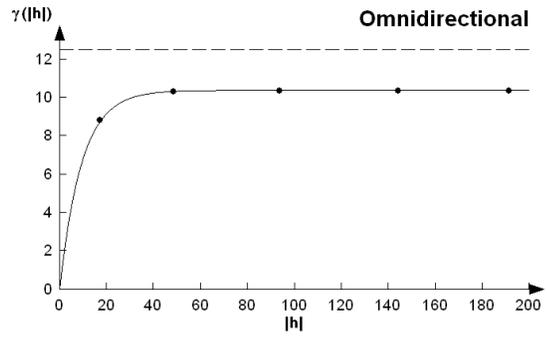
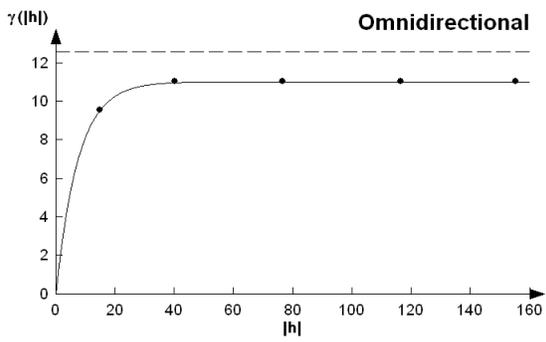
## JULIO



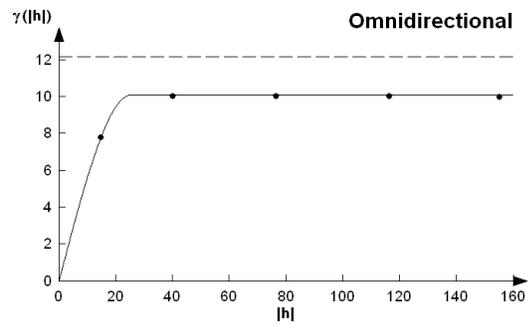
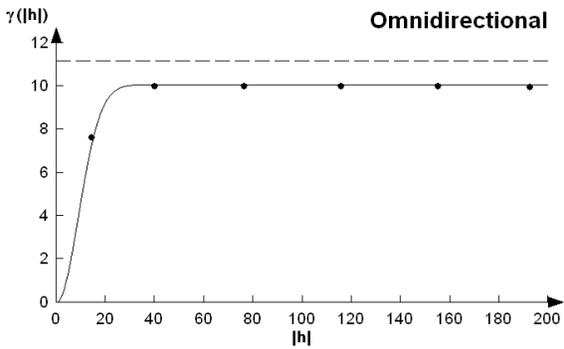
## AGOSTO



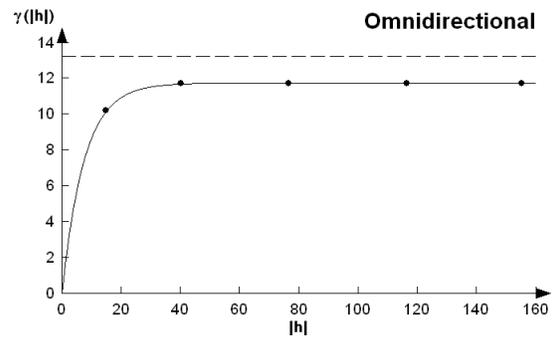
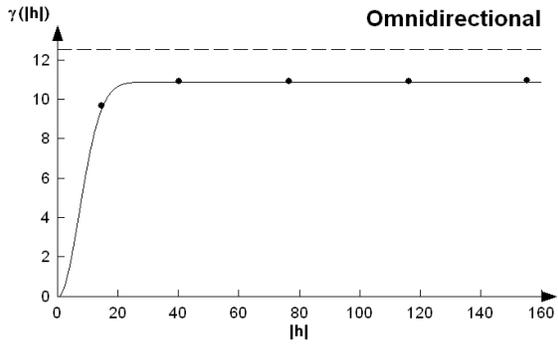
## SEPTIEMBRE



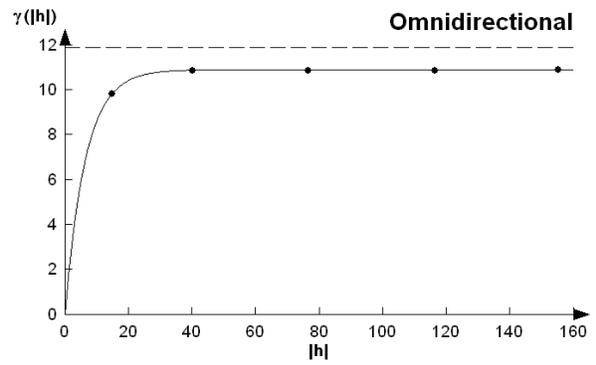
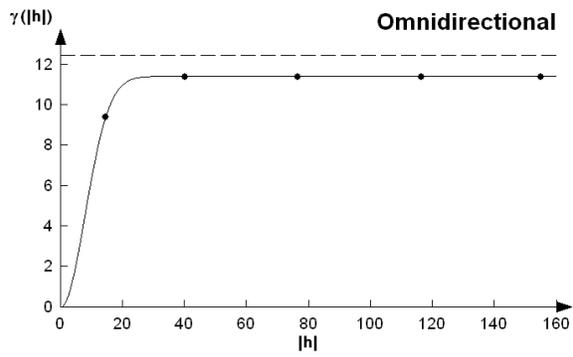
## OCTUBRE



# NOVIEMBRE



# DICIEMBRE



## DONATO GUERRA

Parámetros (efecto pepita, rango, media, varianza, pepita/meseta y nivel de dependencia espacial) de los modelos ajustados a los semivariogramas de antracnosis en aguacate en Temascaltepec de enero a diciembre 2017.

MUESTREO	MEDIA	VARIANZA	MODELO	PEPITA	RANGO	MESETA	PEPITA/MESETA (%)	NIVEL DE DEPENDENCIA ESPACIAL
ENERO	1.46	2.008	Esférico	0	34.5	1.46	0	ALTA
ENERO	2.22	2.929	Gaussiano	0	26.6	3.752	0	ALTA
FEBRERO	2.025	1.662	Gaussiano	0	22.4	1.377	0	ALTA
FEBRERO	1.94	1.463	Esférico	0	22.4	1.44	0	ALTA
MARZO	1.47	1.205	Gaussiano	0	17.6	1.14	0	ALTA
MARZO	2.92	1.641	Exponencial	0	22.4	1.428	0	ALTA
ABRIL	3.5	3.336	Esférico	0	28.8	2.108	0	ALTA
ABRIL	3.47	2.411	Gaussiano	0	20.8	2.28	0	ALTA
MAYO	3.91	2.785	Exponencial	0	20.8	2.52215	0	ALTA
MAYO	4.27	6.592	Gaussiano	0	20.8	4.422	0	ALTA
JUNIO	4.23	3.997	Gaussiano	0	25.6	2.31987	0	ALTA
JUNIO	4.97	5.150	Exponencial	0	22.8	3.64	0	ALTA
JULIO	6.55	8.14	Exponencial	0	27.2	6.63	0	ALTA
JULIO	7.65	7.18	Gaussiano	0	22.5	4.60	0	ALTA
AGOSTO	9.04	5.008	Gaussiano	0	17.6	4.26	0	ALTA
AGOSTO	6.05	12.46	Esférico	0	20.8	10.01	0	ALTA
SEPTIEMBRE	5.57	9.94	Exponencial	0	22.8	8.3	0	ALTA
SEPTIEMBRE	5.94	11.96	Exponencial	0	20.9	9.12	0	ALTA
OCTUBRE	5.86	12.36	Exponencial	0	28	11.32	0	ALTA
OCTUBRE	5.89	11.55	Gaussiano	0	17.6	10.8	0	ALTA
NOVIEMBRE	5.51	11.98	Esférico	0	20.8	10.56	0	ALTA
NOVIEMBRE	6.02	11.39	Exponencial	0	22	8.88	0	ALTA
DICIEMBRE	6.49	10.97	Exponencial	0	19.2	10.27	0	ALTA
DICIEMBRE	5.85	13.51	Esférico	0	22.4	11.6	0	ALTA

**Estadísticos de la validación cruzada en los modelos de agregación de Antracnosis en aguacate en Donato Guerra de enero a diciembre 2017.**

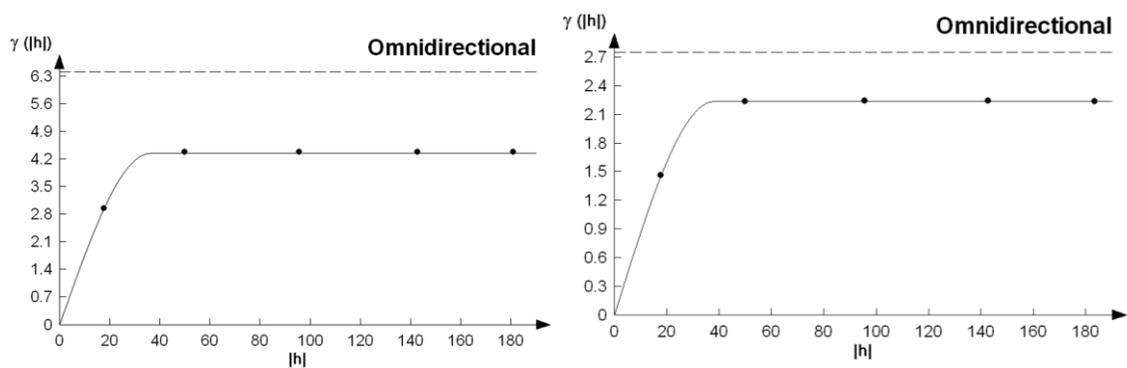
<b>MUESTREO</b>	<b>Tamaño de la Muestra</b>	<b>Media Muestral</b>	<b>Varianza Muestral</b>	<b>MEE</b>	<b>Varianza de los Errores</b>	<b>ECM</b>	<b>ECMA</b>
<b>ENERO</b>	200	2.185	2.724	0.11ns	1.24	0.07	1.12
<b>ENERO</b>	200	2.165	2.761	0.14ns	1.96	0.11	1.10
<b>FEBRERO</b>	200	2.055	1.971	0.08ns	1.27	0.14	1.04
<b>FEBRERO</b>	200	2.405	1.629	0.10ns	1.11	0.09	1.11
<b>MARZO</b>	200	2.66	3.027	0.12ns	2.53	0.10	1.08
<b>MARZO</b>	200	2.19	2.566	0.09ns	2.16	0.12	1.06
<b>ABRIL</b>	200	3.14	1.859	0.13ns	1.29	0.08	1.11
<b>ABRIL</b>	200	3.095	2.408	0.07ns	2.18	0.13	1.14
<b>MAYO</b>	200	4.3	6.442	0.11ns	4.67	0.05	1.12
<b>MAYO</b>	200	5.445	5.584	0.10ns	3.93	0.13	1.09
<b>JUNIO</b>	200	5.25	6.057	0.13ns	4.88	0.10	1.10
<b>JUNIO</b>	200	5.45	8.831	0.12ns	6.25	0.12	1.05
<b>JULIO</b>	200	6.55	8.14	0.11ns	6.54	0.07	1.05
<b>JULIO</b>	200	7.65	7.18	0.14ns	5.25	0.11	1.10
<b>AGOSTO</b>	200	9.04	5.008	0.09ns	3.47	0.09	1.09
<b>AGOSTO</b>	200	6.05	12.46	0.13ns	10.23	0.13	1.13
<b>SEPTIEMBRE</b>	200	5.57	9.94	0.05ns	7.61	0.10	1.10
<b>SEPTIEMBRE</b>	200	5.94	11.96	0.07ns	9.63	0.11	1.14
<b>OCTUBRE</b>	200	5.86	12.36	0.10ns	11.16	0.14	1.11
<b>OCTUBRE</b>	200	5.89	11.55	0.13ns	4.13	0.06	1.07
<b>NOVIEMBRE</b>	200	5.51	11.98	0.08ns	3.95	0.10	1.12
<b>NOVIEMBRE</b>	200	6.02	11.39	0.06ns	4.19	0.12	1.08
<b>DICIEMBRE</b>	200	6.49	10.97	0.10ns	8.52	0.08	1.13
<b>DICIEMBRE</b>	200	5.85	13.51	0.13ns	11.76	0.13	1.10

**Porcentaje de superficie infestada y no infestada por Antracnosis en aguacate en Donato Guerra**

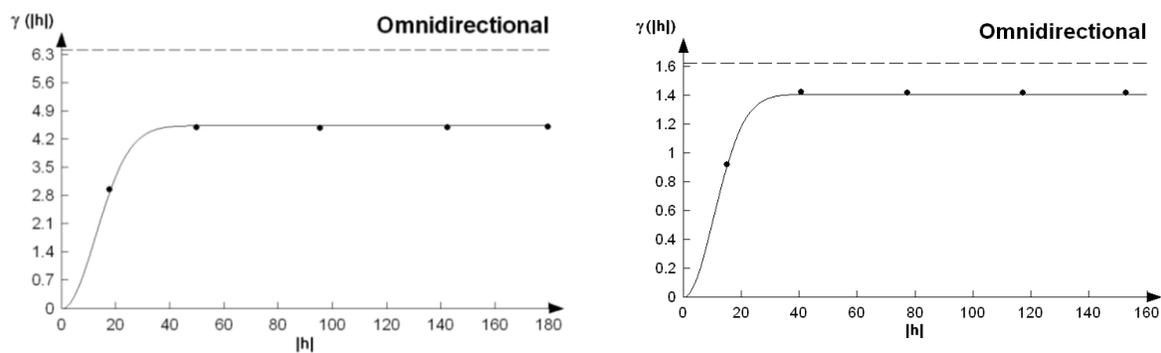
<b>MUESTREO</b>	<b>SUPERFICIE INFESTADA %</b>	<b>SUPERFICIE NO INFESTADA %</b>
<b>ENERO</b>	97	3
<b>ENERO</b>	88	12
<b>FEBRERO</b>	57	43
<b>FEBRERO</b>	95	5
<b>MARZO</b>	60	40
<b>MARZO</b>	96	4
<b>ABRIL</b>	89	11
<b>ABRIL</b>	91	9
<b>MAYO</b>	87	13
<b>MAYO</b>	95	5
<b>JUNIO</b>	85	15
<b>JUNIO</b>	63	37
<b>JULIO</b>	92	8
<b>JULIO</b>	90	10
<b>AGOSTO</b>	89	11
<b>AGOSTO</b>	99	1
<b>SEPTIEMBRE</b>	88	12
<b>SEPTIEMBRE</b>	92	8
<b>OCTUBRE</b>	91	9
<b>OCTUBRE</b>	80	10
<b>NOVIEMBRE</b>	100	0
<b>NOVIEMBRE</b>	79	21
<b>DICIEMBRE</b>	83	17
<b>DICIEMBRE</b>	88	12

# Semivariogramas y mapas de Antracosis en aguacate en Donato Guerra de enero a diciembre 2017.

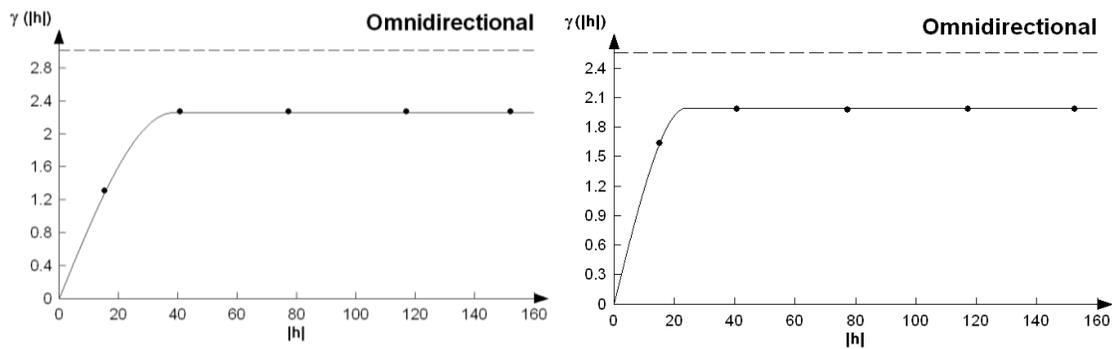
## ENERO



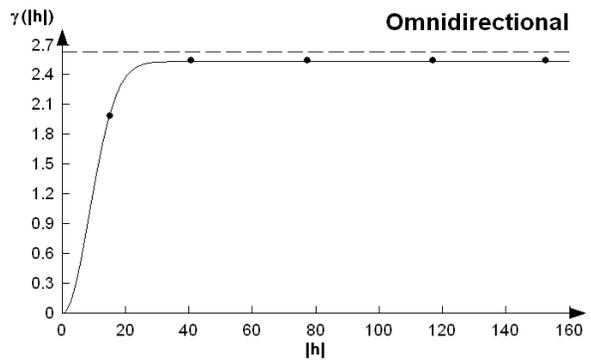
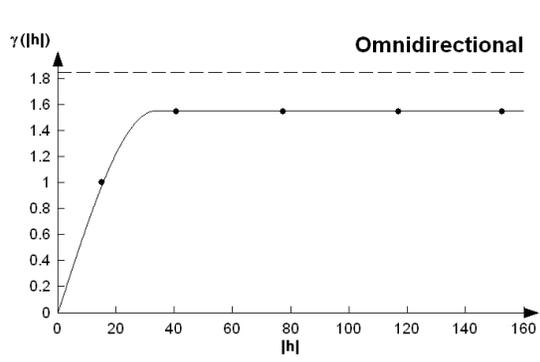
## FEBRERO



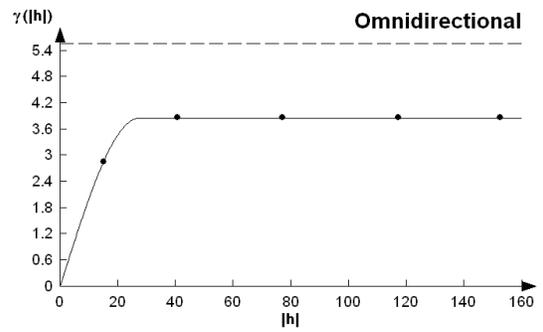
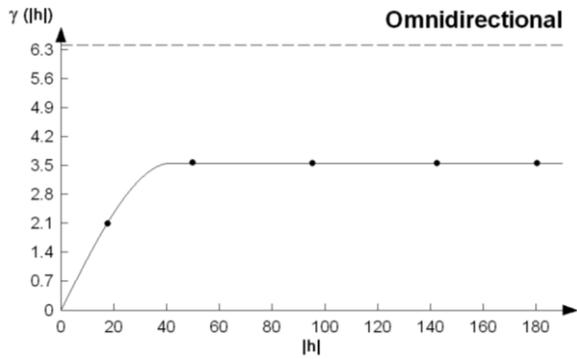
## MARZO



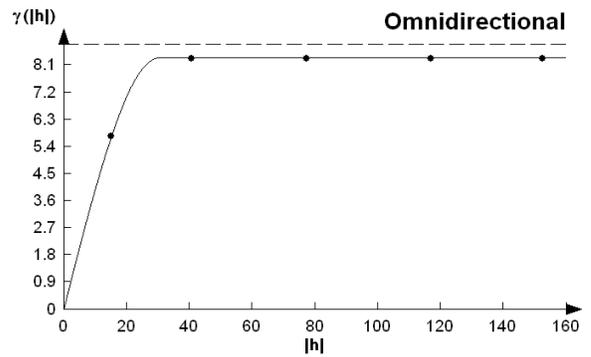
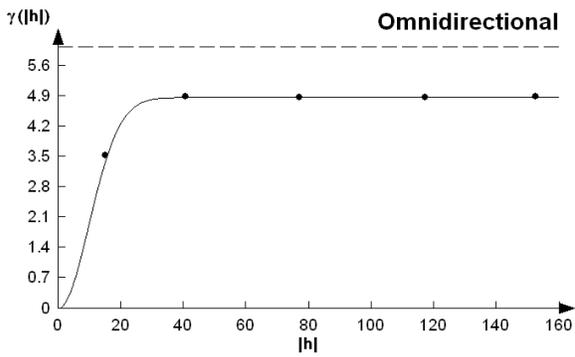
**ABRIL**



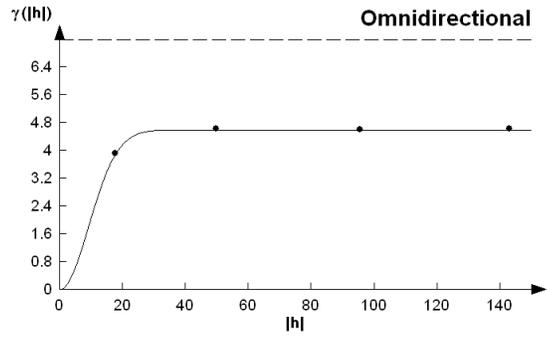
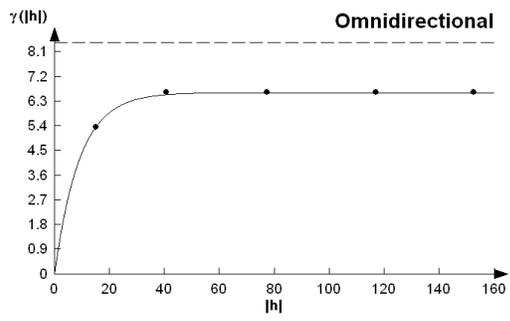
**MAYO**



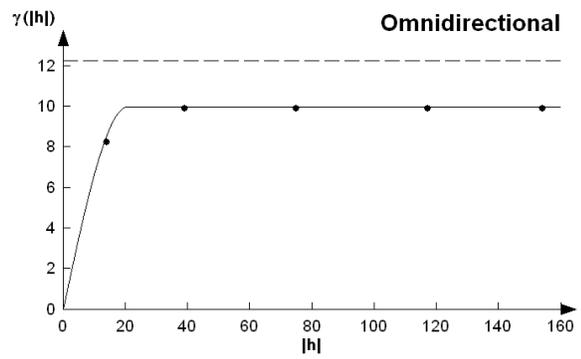
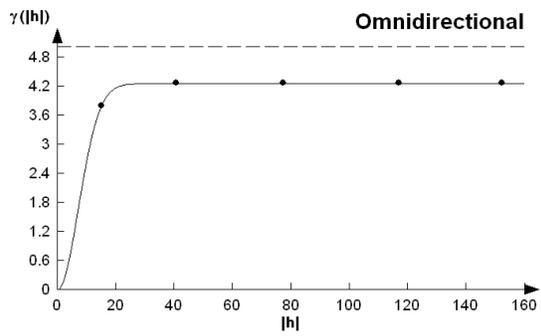
**JUNIO**



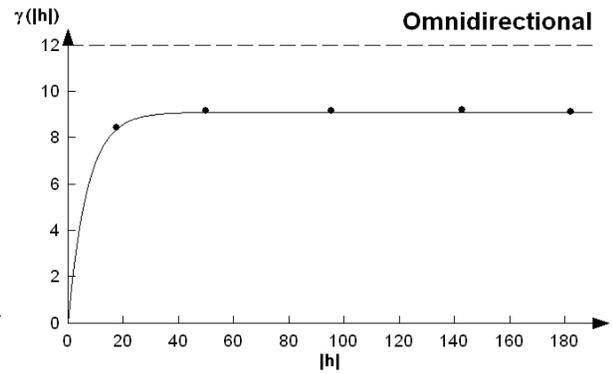
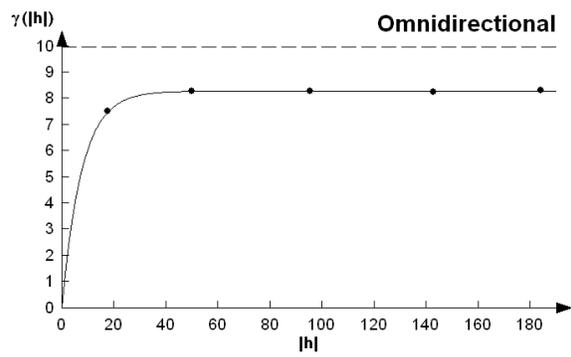
## JULIO



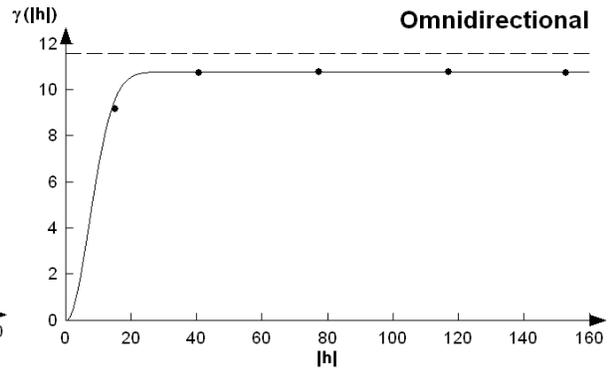
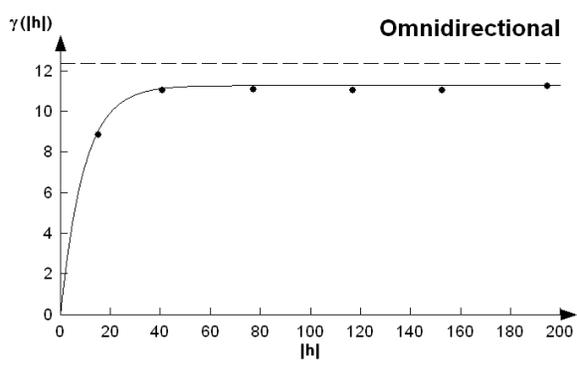
## AGOSTO



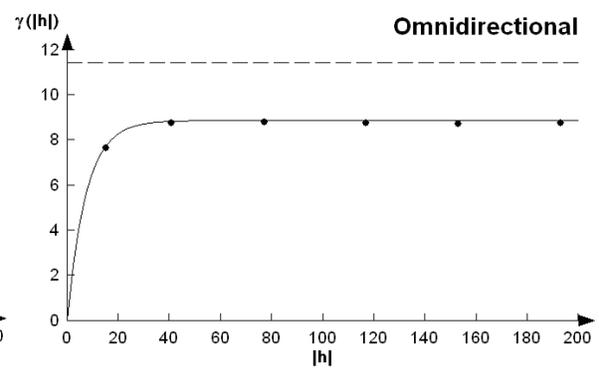
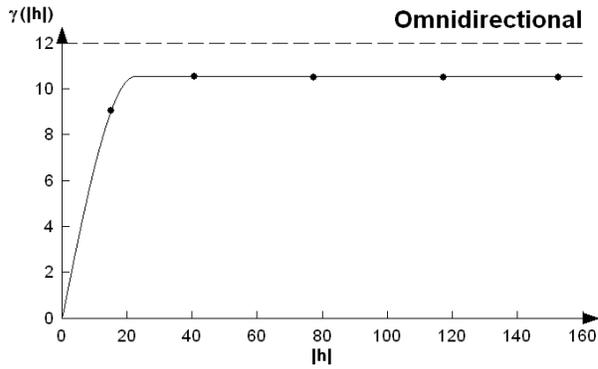
## SEPTIEMBRE



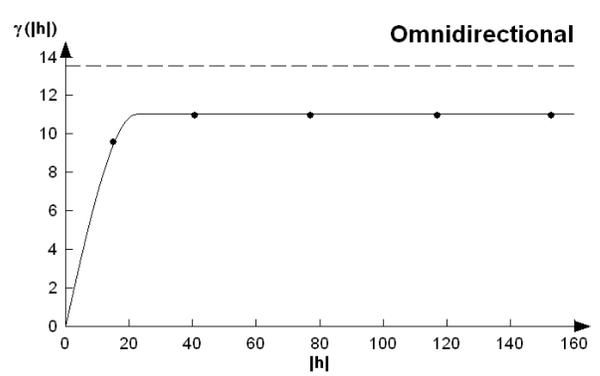
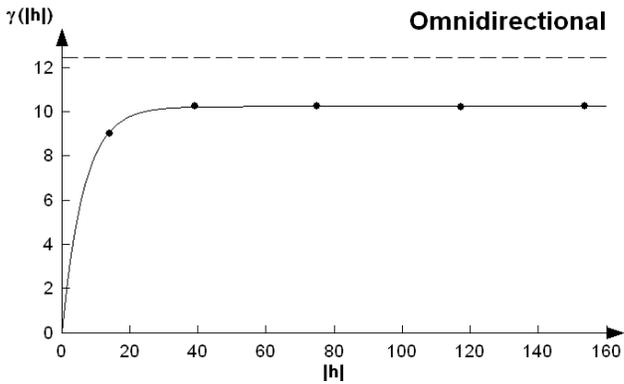
OCTUBRE



NOVIEMBRE



DICIEMBRE



## TEMASCALTEPEC

MUESTREO	MEDIA	VARIANZA	MODELO	PEPITA	RANGO	MESETA	PEPITA/MESETA (%)	NIVEL DE DEPENDENCIA ESPACIAL
ENERO	1.46	2.008	Esférico	0	34.5	1.46	0	ALTA
ENERO	2.22	2.929	Gaussiano	0	26.6	3.752	0	ALTA
FEBRERO	2.025	1.662	Gaussiano	0	22.4	1.377	0	ALTA
FEBRERO	1.94	1.463	Esférico	0	22.4	1.44	0	ALTA
MARZO	1.47	1.205	Gaussiano	0	17.6	1.14	0	ALTA
MARZO	2.92	1.641	Exponencial	0	22.4	1.428	0	ALTA
ABRIL	3.5	3.336	Esférico	0	28.8	2.108	0	ALTA
ABRIL	3.47	2.411	Gaussiano	0	20.8	2.28	0	ALTA
MAYO	3.91	2.785	Exponencial	0	20.8	2.52215	0	ALTA
MAYO	4.27	6.592	Gaussiano	0	20.8	4.422	0	ALTA
JUNIO	4.23	3.997	Gaussiano	0	25.6	2.31987	0	ALTA
JUNIO	4.97	5.150	Exponencial	0	22.8	3.64	0	ALTA
JULIO	6.37	7.77	Gaussiano	0	20.8	7.33	0	ALTA
JULIO	5.94	12.61	Gaussiano	0	22.8	12.22	0	ALTA
AGOSTO	9.51	2.77	Exponencial	0	26.6	2.24	0	ALTA
AGOSTO	5.98	12.22	Esférico	0	22.4	10.08	0	ALTA
SEPTIEMBRE	5.83	11.47	Exponencial	0	20.8	10.92	0	ALTA
SEPTIEMBRE	6.11	12.52	Gaussiano	0	16	10.14	0	ALTA
OCTUBRE	6.18	11.91	Exponencial	0	19.2	9.84	0	ALTA
OCTUBRE	5.85	13.70	Gaussiano	0	17.6	11.62	0	ALTA
NOVIEMBRE	6.09	11.66	Exponencial	0	27.2	10.44	0	ALTA
NOVIEMBRE	5.89	10.33	Gaussiano	0	19.52	9.54	0	ALTA
DICIEMBRE	5.95	12.43	Gaussiano	0	20.8	10.34	0	ALTA
DICIEMBRE	6.09	11.04	Gaussiano	0	19.2	10.08	0	ALTA

**Estadísticos de validación cruzada en los modelos de agregación de antracnosis en aguacate en Temascaltepec de enero a diciembre 2017.**

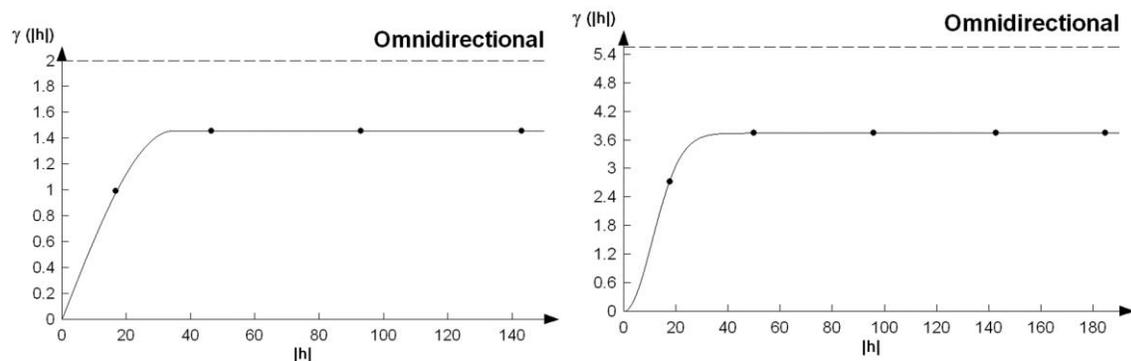
<b>MUESTREO</b>	<b>Tamaño de la Muestra</b>	<b>Media Muestral</b>	<b>Varianza Muestral</b>	<b>MEE</b>	<b>Varianza de los Errores</b>	<b>ECM</b>	<b>ECMA</b>
<b>ENERO</b>	200	1.46	2.008	0.11ns	1.72	0.13	1.14
<b>ENERO</b>	200	2.22	2.929	0.14ns	2.40	0.11	1.08
<b>FEBRERO</b>	200	2.025	1.662	0.09ns	1.15	0.10	1.10
<b>FEBRERO</b>	200	1.94	1.463	0.13ns	0.99	0.07	1.11
<b>MARZO</b>	200	1.47	1.205	0.07ns	0.82	0.12	1.09
<b>MARZO</b>	200	2.92	1.641	0.12ns	1.21	0.05	1.07
<b>ABRIL</b>	200	3.5	3.336	0.10ns	2.82	0.13	1.12
<b>ABRIL</b>	200	3.47	2.411	0.11ns	1.95	0.08	1.06
<b>MAYO</b>	200	3.91	2.785	0.08ns	2.33	0.14	1.05
<b>MAYO</b>	200	4.27	6.592	0.12ns	5.86	0.06	1.13
<b>JUNIO</b>	200	4.23	3.997	0.14ns	2.55	0.11	1.10
<b>JUNIO</b>	200	4.97	5.150	0.09ns	4.07	0.12	1.11
<b>JULIO</b>	200	6.37	7.77	0.12ns	5.46	0.07	1.11
<b>JULIO</b>	200	5.94	12.61	0.13ns	10.65	0.12	1.14
<b>AGOSTO</b>	200	9.51	2.77	0.06ns	1.58	0.11	1.05
<b>AGOSTO</b>	200	5.98	12.22	0.11ns	9.05	0.14	1.10
<b>SEPTIEMBRE</b>	200	5.83	11.47	0.09ns	3.26	0.06	1,13
<b>SEPTIEMBRE</b>	200	6.11	12.52	0.13ns	10.66	0.10	1.09
<b>OCTUBRE</b>	200	6.18	11.91	0.08ns	9.17	0.13	1.10
<b>OCTUBRE</b>	200	5.85	13.70	0.11ns	10.92	0.08	1.07
<b>NOVIEMBRE</b>	200	6.09	11.66	0.14ns	9.08	0.05	1.11
<b>NOVIEMBRE</b>	200	5.89	10.33	0.07ns	8.53	0.11	1.13
<b>DICIEMBRE</b>	200	5.95	12.43	0.10ns	9.81	0.10	1.12
<b>DICIEMBRE</b>	200	6.09	11.04	0.13ns	10.29	0.08	1.09

**Porcentaje de superficie infestada y no infestada por Antracnosis en aguacate en Temascaltepec de enero a diciembre 2017.**

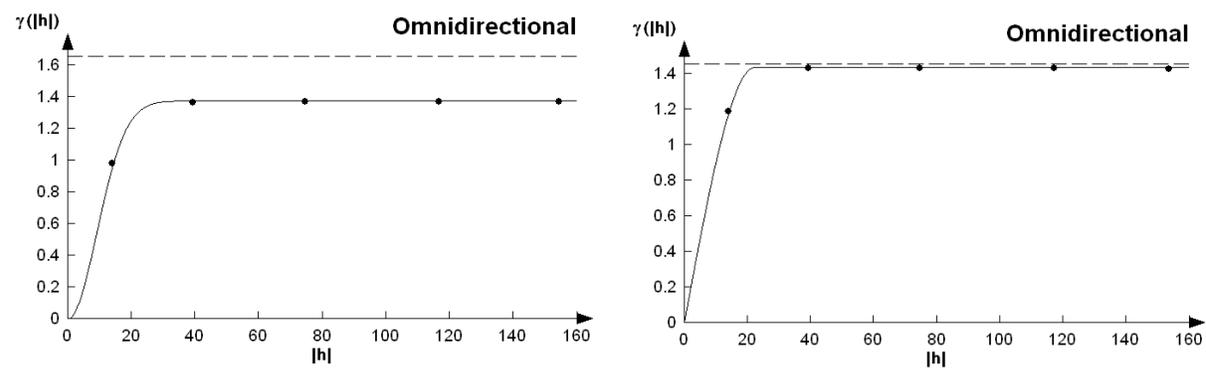
<b>MUESTREO</b>	<b>SUPERFICIE INFESTADA %</b>	<b>SUPERFICIE NO INFESTADA %</b>
<b>ENERO</b>	89	11
<b>ENERO</b>	91	9
<b>FEBRERO</b>	90	10
<b>FEBRERO</b>	93	7
<b>MARZO</b>	97	3
<b>MARZO</b>	95	5
<b>ABRIL</b>	97	3
<b>ABRIL</b>	76	24
<b>MAYO</b>	97	3
<b>MAYO</b>	96	4
<b>JUNIO</b>	98	2
<b>JUNIO</b>	98	2
<b>JULIO</b>	94	6
<b>JULIO</b>	100	0
<b>AGOSTO</b>	95	5
<b>AGOSTO</b>	98	2
<b>SEPTIEMBRE</b>	97	3
<b>SEPTIEMBRE</b>	92	8
<b>OCTUBRE</b>	100	0
<b>OCTUBRE</b>	93	7
<b>NOVIEMBRE</b>	100	0
<b>NOVIEMBRE</b>	98	2
<b>DICIEMBRE</b>	100	0
<b>DICIEMBRE</b>	86	14

# Semivariogramas y mapas de Antracosis en aguacate en Temascaltepec de enero a diciembre 2017.

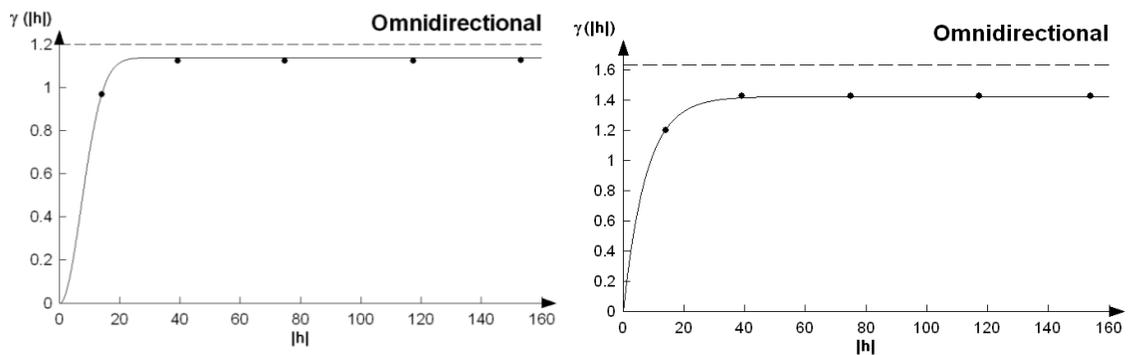
## ENERO



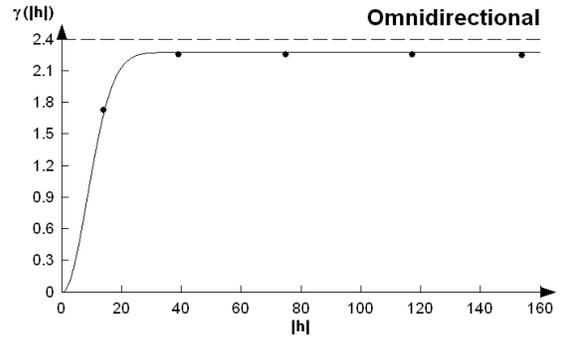
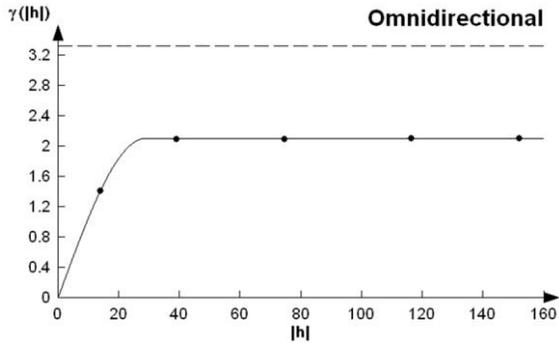
## FEBRERO



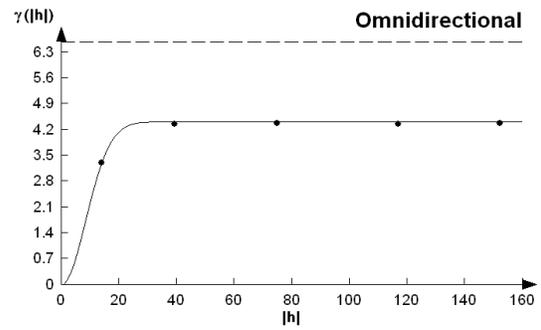
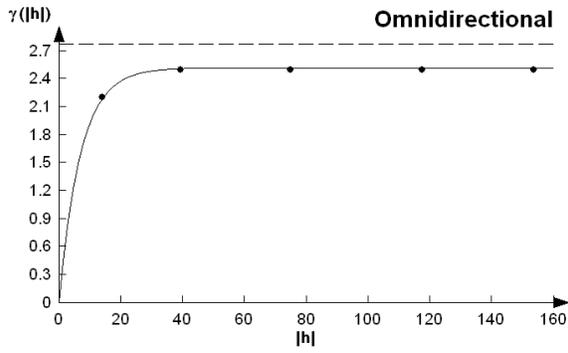
## MARZO



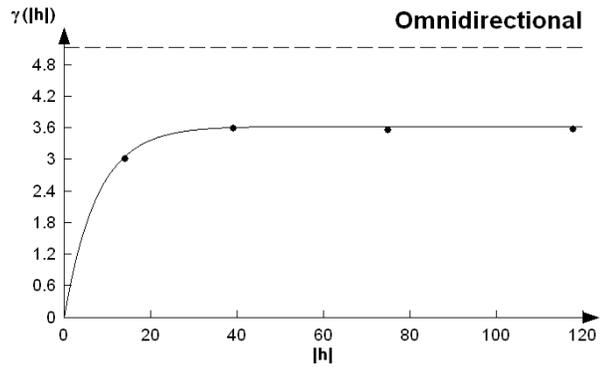
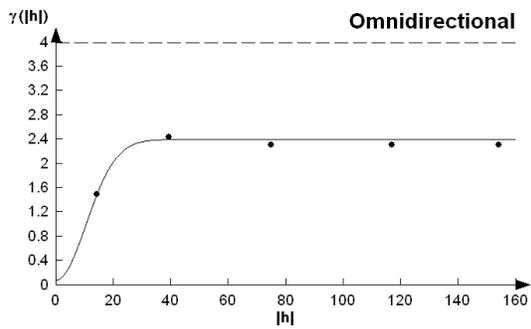
**ABRIL**



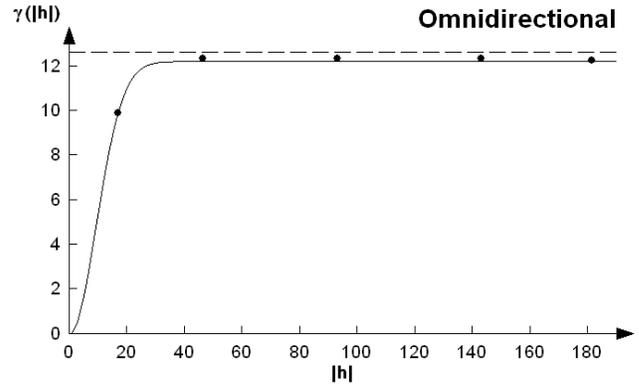
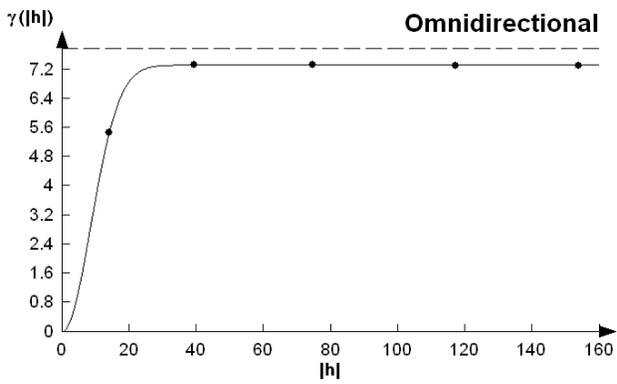
**MAYO**



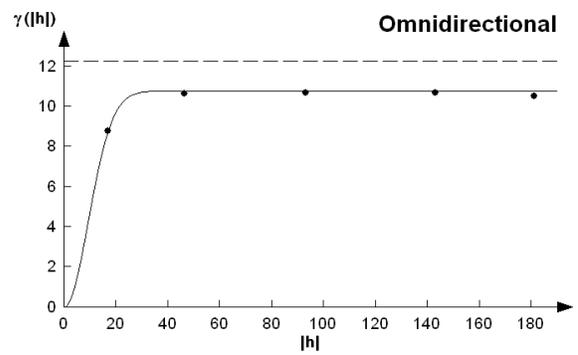
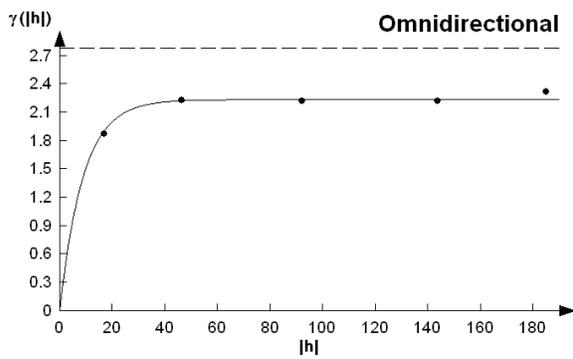
**JUNIO**



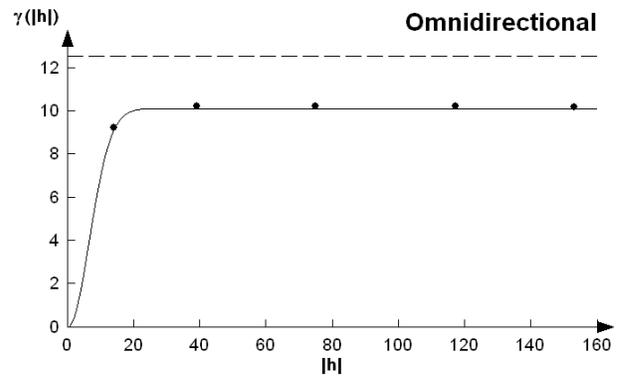
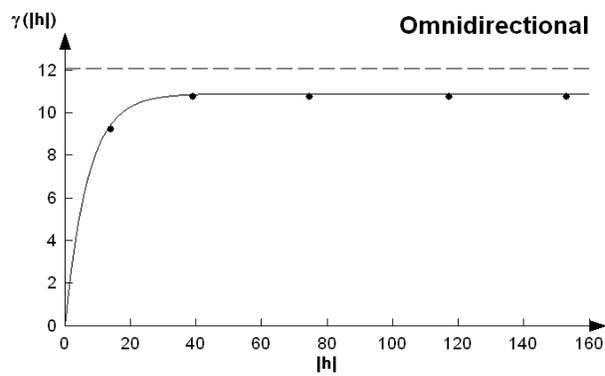
## JULIO



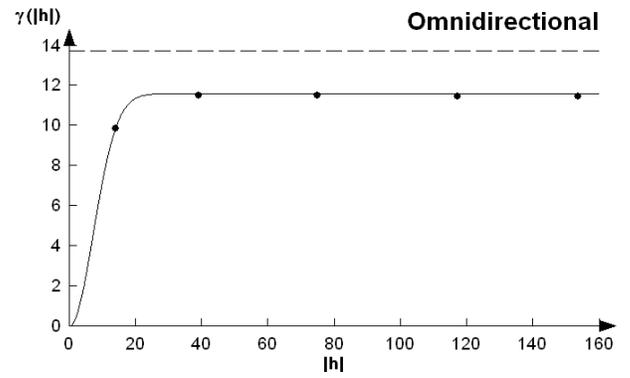
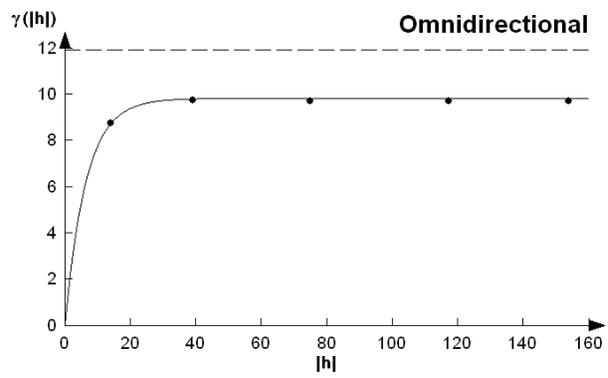
## AGOSTO



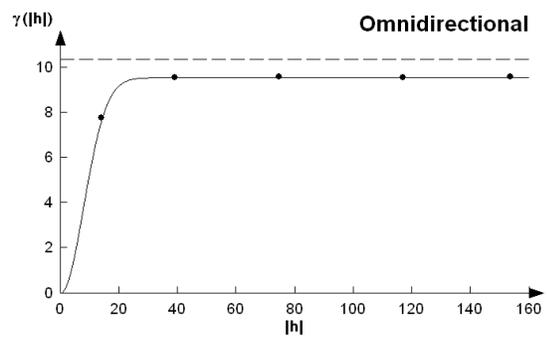
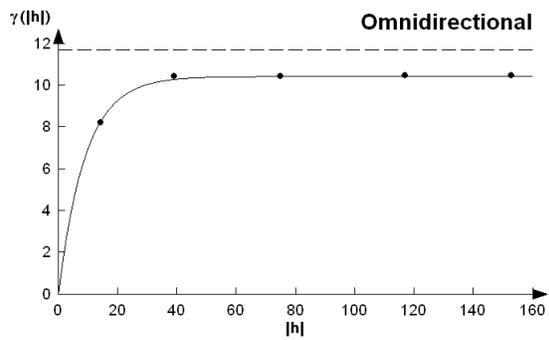
## SEPTIEMBRE



## OCTUBRE



## NOVIEMBRE



## DICIEMBRE

