



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

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

**COMPORTAMIENTO ESPACIAL DE OJO DE GALLO
Mycena citricolor BERKELEY Y CURTIS, 1887 EN CAFETALES
DEL ESTADO DE MÉXICO**

TESIS

**PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS
AGROPECUARIOS Y RECURSOS NATURALES**

PRESENTA:

ESTHER PINO MIRANDA

El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México.

Noviembre 2022





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

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

**COMPORTAMIENTO ESPACIAL DE OJO DE GALLO
Mycena citricolor BERKELEY Y CURTIS, 1887 EN CAFETALES
DEL ESTADO DE MÉXICO**

TESIS

**PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS
AGROPECUARIOS Y RECURSOS NATURALES**

PRESENTA:

ESTHER PINO MIRANDA

COMITÉ DE TUTORES:

Dr. José Francisco Ramírez Dávila. Tutor académico

Dr. Rodolfo Serrato Cuevas. Tutor adjunto

Dr. Jaime Mejía Carranza. Tutor adjunto

El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México.

Noviembre 2022



ÍNDICE

RESUMEN	1
ABSTRAC	2
I. INTRODUCCIÓN	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.1 Historia del café y su cultivo.....	5
2.2 Productividad de café cereza nacional y estatal.....	6
2.3 Presentación botánica del café.....	6
2.4 Estructuras de la planta.....	7
2.4.1 Sistema Radicular.....	7
2.4.2 Tallo.....	7
2.4.3 Ramas.....	8
2.4.5 Hojas.....	8
2.4.6 Flor.....	8
2.4.7 Fruto.....	9
2.4.7 semilla.....	9
2.5 Variedades de café.....	9
2.5.1 <i>Coffea arabica</i>	10
2.5.2 variedad típica.....	10
2.5.3 Variedad Caturra.....	10
2.6 Productividad del cafeto.....	11
2.6.1 Sistemas de producción.....	11
2.7 Enfermedades del café.....	12
2.8 Ojo de gallo.....	13
2.8.1 Agente causal.....	13
2.9 Clasificación taxonómica.....	14
2.10 Síntomas de la enfermedad.....	14
2.11 Morfología.....	16
2.12 ciclo de vida.....	17
2.13 Distribución geográfica.....	18
2.13.1 Distribución mundial.....	18
2.13.2 Distribución nacional.....	19
2.14 Epidemiología de la enfermedad.....	19
2.15 Sobrevivencia del hongo en época seca.....	20
2.16 Impacto económico.....	20
2.17 Control.....	21
2.17.1 Manejo cultural.....	21
2.17.2 Manejo biológico.....	22
2.17.3 Control químico.....	22
2.18 Estadística clásica.....	23
2.19 Estadística espacial.....	24
2.20 Geoestadística.....	24
III. JUSTIFICACIÓN	26
IV. HIPÓTESIS	28
V. OBJETIVOS	29

5.1 Objetivo general	29
5.2 Objetivos especificos	29
VI. MATERIAL Y MÉTODO	30
6.1 Area de estudio	30
6.1.2 Temascaltepec	30
6.1.3 Sultepec.....	31
6.1.4 Amatepec	31
6.2 Establecimiento de parcelas	31
6.3 Muestreo de la enfermedad.....	31
6.4 Verificación de la normalidad de datos.....	32
6.5. Estadística clásica.....	32
6.6 Estadística Espacial (Geoestadística).....	32
6.6.1 Estimación del Semivariograma experimental.....	32
6.6.2 Estimación de los parámetros del modelo de Semivariograma.....	33
6.6.2.1 validación.....	33
6.6.3 Estimación de la superficie (mapas) utilizando el Krigeado.....	34
6.7 Nivel de dependencia espacial.....	34
6.8 Superficie infectada.....	34
6.9. Ahorro económico.....	34
VII. RESULTADOS	36
7.1 La nota científica “Spatial and temporal distribution of ojo de gallo, (<i>Mycena citricolor</i>) in coffee plantations of the State of Mexico”	36
7.2. El capítulo “Comportamiento espacial de ojo de gallo <i>Mycena citricolor</i> , en cafetales del Municipio de Sultepec; Estado de México”	52
7.3 otros resultados.....	80
VIII. DISCUSIÓN GENERAL	92
IX. CONCLUSIONES	95
X. REFERENCIAS	96
XI. ANEXOS	102

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Morfología del café (Tomado y modificado de AGROKREBS, 2021).....	7
Figura 2. Morfología del Corte transversal de un grano de café. (Tomada y modificada de Mundo cafeto. Autor de la imagen: Jhonatan José Gélvez Alvarado).....	9
Figura 3. Hoja con lesiones ocasionadas por ojo de gallo.....	15
Figura 4. Gemas o cabecitas del estado asexual	16
Figura 5. Ciclo de vida de basidiomiceto. Imagen tomada del artículo “Uso potencial de biorreactores para la producción de lacasas de hongos basidiomicetos”. Gerardo Diaz Godínez.....	17
Figura 6. Distribución mundial de <i>M. citricolor</i> . Imagen tomada de la Ficha técnica no. 49 ojo de gallo de SENASICA, 2014.....	19
Figura 7. Estados productores de café en México. Imagen tomada de SIAP, 2014.....	19
Figura 8. zonas de estudio.....	30
Figura 9. Material y métodos establecido en imagen.....	35

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Producción de café cereza a nivel nacional.....	6
Cuadro 2. Producción de café cereza a nivel estado de México.....	6
Cuadro 3. Hospederos de <i>Mycena citricolor</i> enlistadas por orden de importancia. Fuente: De la Iglesia y Cascares,2000; Rivillas, O.C. y Castro, 2011).....	13

RESUMEN

El café es considerado como una de las materias primas más importantes a las que se les da seguimiento en la economía mundial; sin embargo, las plagas y enfermedades representan un factor limitante para su producción, generando pérdidas que pueden llegar a hacer insostenible el cultivo. Este estudio ayuda a comprender la distribución espacial de *Mycena citricolor* en plantaciones de café en el estado de México. La investigación se realizó en los municipios de Temascaltepec, Sultepec y Amatepec, ubicados al sur del Estado de México. Los muestreos se realizaron quincenalmente de septiembre del 2020 a febrero del 2021; seleccionando 18 parcelas y 200 cafetos al azar por parcela, estos se marcaron y georreferenciaron geográficamente. Se utilizaron métodos geoestadísticos con el objetivo de obtener la distribución espacial de ojo de gallo, mostrando resultados a diferentes ajustes de modelos geoestadísticos como el gaussiano, esférico y exponencial, los cuales fueron validados con el método de validación cruzada., mostrando una distribución agregada. La estimación de la superficie de *Mycena citricolor* se obtuvo utilizando el krigeado ordinario revelándonos la presencia de focos de infección dentro de las parcelas. Para la superficie infectada, se obtuvo el porcentaje real y la superficie en la cual se encuentra la enfermedad dentro de los mapas elaborados. Ya conociendo la superficie infecta por el hongo, se realizaron cálculos numéricos, con el fin de obtener el ahorro económico, donde se elaboraron tablas que muestran la proporción de aplicaciones de agroquímicos en virtud al porcentaje real de infección. Asimismo, se llevó a cabo una estimación para lograr un ahorro ecológico al reducir el uso de químicos. Concluyendo que la geoestadística es una herramienta eficaz para estudiar y pronosticar este tipo de enfermedad la cual tiene importancia en los municipios de estudio.

Palabras claves. Café, Geoestadística, Distribución espacial

ABSTRACT

Coffee is considered one of the most important raw materials that are monitored in the world economy; however, pests and diseases represent a limiting factor for its production, generating losses that can make the crop unsustainable. This study helps to understand the spatial distribution of *Mycena citricolor* in coffee plantations in the state of Mexico. The research was carried out in the municipalities of Temascaltepec, Sultepec and Amatepec, located in the south of the State of Mexico. The samplings were carried out fortnightly from September 2020 to February 2021; selecting 18 plots and 200 coffee trees at random per plot, these were marked and georeferenced geographically. Geostatistical methods were used in order to obtain the spatial distribution of the rooster's eye, showing results at different settings of geostatistical models such as Gaussian, spherical and exponential, which were validated with the cross-validation method, showing an aggregate distribution. The estimation of the area of *Mycena citricolor* was obtained using ordinary kriging, revealing the presence of foci of infection within the plots. For the infected surface, the real percentage and the surface in which the disease is found within the elaborated maps were obtained. Knowing the surface infected by the fungus, numerical calculations were made, in order to obtain economic savings, where tables were prepared that show the proportion of agrochemical applications by virtue of the actual percentage of infection. Likewise, an estimate was made to achieve ecological savings by reducing the use of chemicals. Concluding that geostatistics is an effective tool to study and forecast this type of disease which is important in the study municipalities.

Keywords. Coffee, Geostatistics, Spatial distribution

I. INTRODUCCIÓN

La producción de café es ampliamente difundida a nivel mundial siendo la bebida más comercializada en el mundo y la segunda más consumida después del agua y por estas razones se ha convertido en un producto de primera necesidad para muchas personas alrededor del planeta, representa para la mayoría de los países donde se produce, uno de los principales productos de exportación que aporta al ingreso neto, y tiene una gran importancia social y cultural. Se consumen más de cien millones de sacos de 62 kilogramos cada año a nivel mundial siendo África, Brasil y Colombia los países que producen más del 40 % de todo el café que se consumen, Las especies de mayor importancia son *Coffea arabica* Linneo (65 %) y *Coffea canephora* Pierre (35 %) de la producción mundial (Subit *et al*; 2020).

México es un país que cuenta con un enorme potencial en la producción de café, teniendo quince estados productores. La superficie cultivada con el aromático se encuentra bajo sombra diversificada, lo que provee servicios ambientales a la sociedad y contribuye a conservar la diversidad (SADER, 2020). La producción nacional del grano es de 944.000 toneladas, el estado productor principal es Chiapas con un 40.8%. En el Estado de México actualmente se cultivan alrededor de 531 hectáreas de café, con un rendimiento de 640 toneladas, estas plantaciones se encuentran distribuidas en varios municipios, los más importantes son: Amatepec, Sultepec y Temascaltepec (SIAP, 2021).

A pesar de la importancia de la cafecultora en México, los productores en general enfrentan una serie de problemas, como los bajos precios, el cambio climático, la reducción de la productividad y el abandono de cafetales y la lucha contra plagas y enfermedades, llegan a afectar la productividad y calidad del café que producen.

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

espacio y su uso se ha generalizado recientemente donde se analizan hechos geográficos, debido a la posibilidad de conocer, entre otros, el rango de influencia de la propiedad, estimar su valor en sitios donde no existe información y, por último, calcular el error de la estimación efectuada (González, 2007). El estudio pretende dar a conocer la distribución espacial y las densidades poblacionales de *Mycena citricolor*, en cultivos de café del Estado de México.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Historia del café y su cultivo

El descubrimiento del café tal como lo conocemos, remonta al año 1140 en países como Abisinia, Etiopía o Arabia. Con descubridores como pastores o monjes y ya sea con intención o por accidente, el hecho es que hoy podemos disfrutar de una deliciosa taza de café por la mañana (SIAP 2019).

Este cultivo llegó a México a finales del siglo XVIII, desde entonces poco a poco ha conquistado el gusto y el paladar de muchos. Los primeros en adoptar la cultura del café en México fueron los indígenas, quienes adaptaron este maravilloso grano a su cultivo tradicional desarrollando técnicas entre las que sobresale la producción bajo sombra (SADER, 2019)

La importancia económica del café para los pueblos originarios que lo cultivan es relevante ya que este grano forma parte de los productos estrella de exportación lo que se traduce en un aumento de ingresos para las comunidades productoras, asimismo desde el punto de vista cultural, tenemos que alrededor de este cultivo existe una gran riqueza y diversidad de valores, creencias y conocimientos que es necesario reconocer (SADER, 2019)

En México el café se cultiva varios estados: Chiapas, Veracruz, Puebla, Oaxaca, Guerrero, Hidalgo, San Luis Potosí, Nayarit, Colima, Jalisco, Querétaro, Tabasco, Estado de México. El sistema de plantaciones de café en nuestro país es bajo sombra principalmente, lo que permite conservar el medio ambiente, la flora y fauna, mantos acuíferos, captación de carbono y además de regalar una vista maravillosa a diversos tonos de colores y el verde brillante de sus hojas, ya que los cafeticultores suelen utilizar policultivos (SIAP, 2019).

El café ocupa el primer lugar como producto agrícola generador de divisas y empleos en el medio rural por las características del cultivo, que emplea para sus labores de limpia, cosecha y beneficiado del grano tanto a mujeres, hombres y jóvenes por lo que cualquier miembro de una familia puede realizarlo. Hoy en día

los proyectos de economía social incluso contribuyen a que el café mexicano sea reconocido por su calidad y su sabor en el mundo (SIAP, 2019).

2.2 Productividad de café cereza nacional y estatal

	Cultivo	Superficie			Producción	Rendimiento	PMR	Valor Producción
		(ha)						
		Sembrada	Cosechada	Siniestrada				
1	Café cereza	710,897.41	641,799.39	0	947,092.21	1.48	5,501.70	5,210,614.06
	Total	710,897.41	641,799.39	0	947,092.21	1.48	5,501.70	5,210,614.06

Cuadro 1. Producción de café cereza a nivel nacional

Entidad		Superficie			Producción	Rendimiento	PMR	Valor Producción
		(ha)						
		Sembrada	Cosechada	Siniestrada				
1	México	530.81	530.81	0	639.89	1.21	7,577.51	4,848.77
	Total	530.81	530.81	0	639.89	1.21	7,577.51	4,848.77

cuadro 2. Producción de café cereza a nivel estado de México

2.3 Presentación botánica del café

El cafeto es un arbusto perenne cuyo ciclo de vida en condiciones comerciales alcanza hasta 20-25 años dependiendo de las condiciones o sistema de cultivo. A libre crecimiento, la planta comienza a producir frutos en ramas de un año de edad, continúa su producción durante varios años y alcanza su máxima productividad entre los 6 y 8 años de edad. La planta puede seguir su actividad por muchos años, pero con niveles de productividad bajos.

2.4 estructuras de la planta

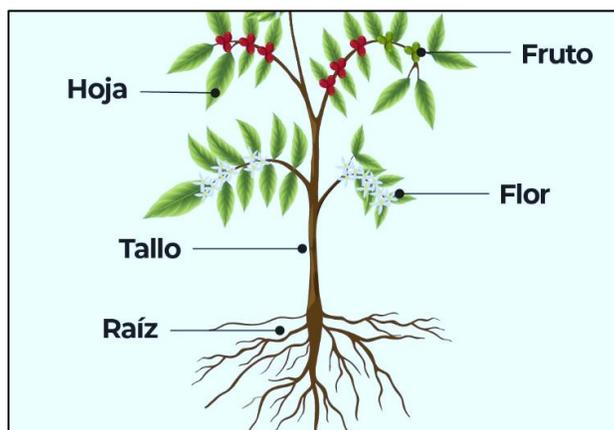


Figura 1. Morfología del café (Tomado y modificado de AGROKREBS, 2021)

2.4.1 Sistema Radicular

El sistema radicular en la planta de café se forma con el inicio de la germinación de la semilla. Lo primero que se desarrolla es la radícula, la cual origina la raíz principal, y de ésta se desarrolla todo el sistema radicular. La planta de café desarrolla una raíz principal (pivotante) que puede alcanzar entre 50 y 60 cm de profundidad. De esta raíz se forman dos tipos de raíces: axiales que sirven para dar anclaje a la planta y laterales, de las cuales se forman las raicillas por donde se absorben los nutrientes en la solución del suelo (IICA, 2019)

2.4.2 Tallo

La planta de café tiene por lo general un solo tallo con nudos y entrenudos. En los primeros 3 a 4 nudos de una planta joven sólo brotan hojas. En el ápice del tallo se forman los nudos, hojas y se produce el crecimiento vertical de la planta (crecimiento ortotrópico). Mientras que en el ápice de las ramas ocurre la formación de nudos, hojas y el crecimiento lateral de la planta (crecimiento plagiotrópico). En cada nudo formado en el tallo se desarrollan dos axilas foliares opuestas. En cada axila se producen cuatro a cinco yemas seriadas, las cuales se denominan laterales o axilares. La primera yema produce los brotes que crecen horizontalmente (ramas

primarias), y la segunda brotes verticales o chupones. Las otras yemas permanecen latentes y eventualmente pueden formar flores/frutos (Arcila *et. al.*,2007).

2.4.3 Ramas

La formación de las ramas es el crecimiento inicial de una planta de café. En el quinto nudo del tallo, se observa la aparición de la primera rama lateral. Las ramas laterales primarias se originan de yemas en las axilas de las hojas del tallo principal. Estas ramas se alargan continuamente y se producen a medida que el eje central madura. Las ramas primarias plagiotrópicas, dan origen a otras ramas que se conocen como secundarias y terciarias, las cuales producen normalmente yemas vegetativas (IICA, 2019).

2.4.5 Hojas

En las hojas se producen procesos que son fundamentales para el crecimiento y desarrollo de las plantas, como son la fotosíntesis, la respiración y la transpiración. En las plantas de *Coffea arábica* las hojas son opuestas, elípticas, de color bronce o verde claro cuando son jóvenes y se tornan verde oscuro a medida que se desarrollan. El color de las hojas en los primeros estados de desarrollo es una característica que permite diferenciar las variedades de café. Las hojas son glabras (sin pelos) y cubiertas por una capa cerosa en el haz. El sistema de nervaduras es reticulado, con una nervadura central de 9 a 12 nervaduras secundarias en ambos lados, recurvadas y sobresalientes en el envés. Los bordes son enteros y levemente ondulados (Florez, *et. al.*, 2013)

2.4.6 Flor

La flor del café está formada por una corola con cinco lóbulos, un cáliz, cinco estambres y el pistilo (Ovario, estilo y estigma). En la base de la corola se encuentra el ovario, en el cual se forman dos óvulos. Las flores abren temprano en la mañana y permanecen abiertas entre 2 y 3 días aproximadamente. Una vez fertilizadas, las anteras se tornan de color café. Después de 2 días la corola blanca y todas las demás partes de la flor caen, dejando el ovario al descubierto, dando inicio a la formación del fruto (IICA, 2019).

2.4.7 Fruto

El fruto del café es definido como una baya drupácea, conformada por la pulpa, epidermis o exocarpio y el mucilago o mesocarpio que es una sustancia azucarada que recubre los dos granos enfrentados con cara plana. La almendra que es de donde se extrae la bebida, está cubierta por dos capas: pergamino o endocarpio, que es dura y frágil y por una película plateada. (Puerta, 2011). En el fruto bien desarrollado, el endocarpio forma finalmente el pergamino de la semilla.

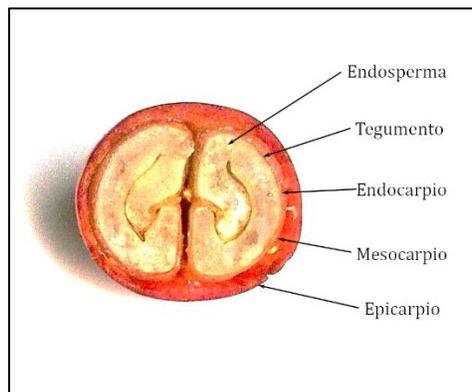


Figura 2. Morfología del Corte transversal de un grano de café. (Tomada y modificada de Mundo cafeto. Autor de la imagen: Jhonatan José Gélvez Alvarado)

2.4.7 semilla

La semilla es el órgano a partir del cual se forma una nueva planta. Su formación se inicia con la fecundación en la flor. En el caso del café, el fruto formado tiene un par de semillas, una por cada lóculo o cavidad. Según la variedad de café y las condiciones ambientales prevaletentes, la semilla alcanza la madurez fisiológica entre 180 a 330 días después de fecundación dependiendo de la variedad y la zona cafetalera (Florez, *et al.*, 2013)

2.5 Variedades de café

Existen más de 100 especies correspondientes al género *Coffea*, solamente *Coffea arabica* y *Coffea canephora* son de importancia económica

2.5.1 *Coffea arabica*

Es la especie más cultivada en el mundo y aporta aproximadamente el 60 % de la producción mundial de café, produce bebida de buena calidad, dentro de las especies del género *Coffea*, solamente la especie arábica es autógama, es decir que la flores de estas tienen la capacidad de autopolinizarse, pero siempre podría suceder un máximo del 9 % de polinización cruzada o sea la intervención del polen de flores de otras plantas. La autopolinización se debe a que la especie arábica es una planta tetraploide, compuesta de células que contienen el doble de cromosomas que una célula somática normal o sean 92 cromosomas. Esta cantidad se presenta en las células germinales antes de dividirse. (ANACAFE, 2019).

2.5.2 variedad típica

Presenta una importancia histórica por constituir la base del desarrollo de la caficultura en la América Tropical. Originaria de Etiopía e introducida a Guatemala hace más de 150 años, su cultivo predominó hasta los años cincuenta. A partir de ahí, fue siendo sustituida paulatinamente por el Bourbon, debido al mayor potencial de rendimiento. En el campo también se le conoce como café Arábigo, es un arbusto que puede alcanzar 4 metros de altura por lo que se le tipifica como variedad de porte alto y tiene una silueta de forma cónica. Posee un tronco vertical de un solo eje, las ramas laterales forman un ángulo de 50 a 70 grados con el eje central, lo cual les da una forma ligeramente inclinada (ANACAFE, 2019).

2.5.3 Variedad Caturra

La variedad Caturra es una mutación de la variedad Bourbon, descubierta en Brasil a principios del siglo veinte. En la década de los 40 se introdujo a finca Chocolá, San Pablo Jocopilas, Suchitepéquez; pero, su adopción comercial se realizó varios años más tarde. Es una planta de porte bajo, altura promedio de 1.80 metros, con eje principal grueso y entrenudos cortos; el ángulo de las ramas jóvenes es de 45 grados con el tallo principal; su ramificación se caracteriza por tener entrenudos cortos, con ramas secundarias abundantes que le da a la planta una apariencia compacta. Las hojas son grandes, lanceoladas y anchas, de color verde oscuro y

textura un poco áspera, con bordes ondulados y ligeramente consistentes; las hojas nuevas (brotes) son de color verde claro brillante. La forma de Caturra es ligeramente angular, compacta y con buen vigor vegetativo. (ANACAFE, 2019).

2.6 Productividad del cafeto

La productividad del cafetal definida como kilogramos de café pergamino seco (Kg cps) obtenidos por unidad de recursos utilizados en su producción, depende de la cantidad de efectos positivos que produzcan en la planta diferentes factores ambientales y las prácticas de manejo (Arcila, 2007).

La productividad del cafetal comienza a determinarse por la calidad del sitio donde se siembra el cafetal (condiciones de suelo y clima), y de acuerdo al grado de adaptación, potencialidad y estabilidad productiva de la variedad utilizada (variedades de porte alto o porte bajo) (Arcila, 2007).

Así mismo, la densidad de siembra (numero de plantas/ha) y la edad de la plantación (renovación oportuna) son factores que incides directamente en la productividad.

La eficiencia del proceso productivo se verá favorecida también por la oportunidad y pertinencia de las prácticas de administración relacionadas con el control de arvenses, plagas y enfermedades, y el suministro de los nutrimentos esenciales necesarios. Finalmente, las buenas practicas de cosecha y beneficio complementan el proceso y la obtención de la calidad óptima del producto para el consumidor (Arcila, 2007).

La interacción de este conjunto de factores y opciones tecnológicas constituye lo que dominamos sistema de producción (Arcila, 2007).

2.6. 1 sistemas de producción

El café se cultiva en una gran variedad de situaciones sociales, económicas y ambientales que dan origen a diferentes sistemas de producción. Tomando en cuenta el tipo de sombra arbórea del cafetal, de manera general se reconocen los siguientes cinco tipos de ca fetales o sistemas de producción de café (Moguel y

Toledo 1996):

Sistema rusticano o de montaña. El café se cultiva bajo la sombra de muchas especies de árboles nativos, o vegetación nativa, tanto de bosque mesófilo como de selvas medianas.

- Sistema de policultivo tradicional o jardín de café. El café se cultiva junto con muchas plantas útiles, tanto nativas como introducidas o exóticas.
- Sistema de policultivo comercial. El café se cultiva bajo la sombra de árboles mayormente introducidos, por ejemplo, varias especies del género Inga y frutales como los cítricos.
- Sistema de monocultivo de sombra. El café se cultiva casi en su totalidad bajo la
- sombra de especies de Inga.
- Sistema de monocultivo a pleno sol. El café se cultiva sin la compañía de árboles de sombra, es decir, a pleno sol.

Los sistemas de monocultivo de sombra y a pleno sol alcanzan rendimientos mayores, pero tienen altos costos ambientales porque requieren abundantes insumos. De manera general, se ha encontrado que los sistemas de producción de café bajo sombra tienen más estabilidad ecológica y productiva. En México, casi la totalidad de los sistemas de café se cultivan bajo árboles de sombra (Barrera *et al*; 2014)

2.7 Enfermedades del café

A pesar de la relevancia del café, en México los productores generalmente enfrentan una serie de problemas que afectan directamente, la productividad y la calidad del café que producen. Como las condiciones bajo las cuales se desarrolla el cultivo del café varían mucho, han surgido problemas con plagas y enfermedades que afectan de manera diferente a los productores. Las enfermedades que se presentan en el café son causadas en su gran mayoría por hongos; como es el caso de la enfermedad “ojo de gallo”.

2.8 Ojo de gallo

El ojo de gallo es una enfermedad de importancia económica, afecta principalmente plantaciones localizadas por encima de los 1000 msnm con exceso de sombra, con alto grado de humedad en el ambiente y temperaturas frescas. Normalmente suele presentar la incidencia máxima en los meses de lluvia.

La enfermedad ojo de gallo fue observada y estudiada por primera vez en Colombia en el año 1876, por el profesor Nicolás Sáenz de la Universidad Nacional de Bogotá, y confirmada cuatro años más tarde por C. Michelsen (anónimo). En el año 1881, Cooke, a partir de hojas enfermas provenientes de Venezuela y Costa Rica, la identificó como *Stilbum flavidum*. Posteriormente, la enfermedad se encontró en todas las áreas cafeteras del continente americano y de ahí su nombre de mancha americana “american leaf spot of coffee” (Rivillas y Castro, 2011).

2.8.1 Agente causal

Esta enfermedad, es causada por el hongo *Mycena citricolor* Berk. y Br. Este patógeno tiene un ámbito amplio de hospederos entre las que se encuentran plantas silvestres y perennes.

Familia	Especies
Rubiaceae	<i>Coffea arabica, L.</i>
Malvaceae	<i>Theobroma cacao</i>
Myrtaceae	<i>Syzygium jambos</i>
Fabaceae	<i>Desmodium canum</i>
Fabaceae	<i>Teramnus uncinatus</i>
Crassulaceae	<i>Kalanchoe pinnata, Pers.</i>
Fitolacaceae	<i>Petiveria alliacea, L.</i>
Araceae	<i>Colocasia esculenta</i>
Elococarpaceae	<i>Bixa orellana L.</i>
Verbenaceae	<i>Aegiphila elata, Sw.</i>
Verbenaceae	<i>Clerodendromlindenianum,</i>

Cuadro 3. Hospederos de *Mycena citricolor* enlistadas por orden de importancia.

Fuente: De la Iglesia y Cascares,2000; Rivillas, O.C. y Castro, 2011).

2.9 Clasificación taxonómica

Taxonomía según Kirk *et al.* (2008)

Phylum: Basidiomycota

Subphylum: Agaricomycotina

Clase: Basidiomycetes

Orden: Agaricales

Familia: Agaricaceae

Género: *Mycena*

Especie: *Mycena citricolor*

2. 10 síntomas de la enfermedad

La enfermedad se caracteriza por la formación de pequeñas manchas (6-10 mm de diámetro) en las hojas. Estas lesiones, por lo general, son circulares, pero a veces pueden ser ovaladas debido a la delimitación con las venas, o algo irregulares cuando dos o más manchas se fusionan. Las lesiones jóvenes son oscuras y las viejas de color más claro (crema). Con la llegada de la época seca, el tejido enfermo se cae (Buller, 1934; Wellman, 1950). Vargas *et al.*, (1985) observaron en Costa Rica, que en algunas ocasiones las lesiones jóvenes, en vez de mostrar la coloración característica, permanecían de un color gris oscuro a negro y a veces rojizo. Wang (1988) estudio la posibilidad de que estas variaciones en color fueran producidas por razas diferentes del mismo hongo, sin embargo, los resultados no fueron suficientemente claros como para confirmar dicha hipótesis.

El efecto de la enfermedad sobre los rendimientos se debe principalmente a la defoliación. La defoliación no depende tanto del número de lesiones por hoja, sino de la ubicación de las mismas, ya que una lesión en la vena central, cerca de la base de la hoja, causa epinastia en hojas jóvenes y caída prematura en hojas adultas. Sequeira y Steeves (1954) encontraron que estos fenómenos se debían a

la presencia de una enzima oxidativa que impide el flujo normal de auxinas desde la lámina de la hoja al peciolo. Estos descubrimientos fueron confirmados por Ray (1956) y Ray Y Timann (1956), pero no pudieron identificar cual era la enzima. Mas adelante, Ray (1960), sugirió que podía tratarse de una peroxidasa; sin embrago, Rodríguez (1956) encontró una oxidasa de ácido indolacético.

El patógenos puede atacar ramas jóvenes y frutos, en donde provoca una pequeña decoloración. Sin el ataque es severo, la cereza puede caerse. No hay evidencia de que haya transmisión por semilla.

En condiciones climáticas muy húmedas se producen, sobre la superficie de las lesiones, cabecitas o gemas, que una vez maduras, se desprenden por la acción de las gotas de lluvia que las transportan a hojas adyacentes. Se ha observado que existe una gradiente de dispersión horizontal, la cual puede alcanzar hasta 170 cm. Las cabecitas por lo general caen sobre el haz de las hojas, en donde quedan adheridas por medio de una sustancia mucilaginosa. Si hay suficiente humedad o presencia de agua libre, germinan produciendo una gran cantidad de hifas de infección, las cuales penetran la epidermis y atacan el tejido interno (Wang y Avelino, 1999).



Figura 3. hoja con lesiones ocasionadas por ojo de gallo

2.11. Morfología

Las hifas de *M. citricolor* son las típicas de un hongo Basidiomycete, cuyas células son generalmente binucleadas y presentan fíbulas.

El hongo produce dos tipos de cuerpos fructíferos: la gema o cabecita (asexual) y el basidiocarpo (sexual). Las gemas o cabecitas son pequeñas estructuras de color amarillo en forma de alfileres, que le permiten al patógeno diseminarse. Constan de dos partes: un pedicelo y una cabeza, la cual se desprende fácilmente cuando esta madura. Su formación depende de la presencia de luz. Rodríguez (1965) y Rodríguez y Army (1967) encontraron que la máxima producción de cabecitas y del pigmento amarillo de las mismas, se da cuando el hongo se expone a longitudes de onda de 310-400 nm. Además, al colocar hojas enfermas en oscuridad, no hay formación de cabecitas.

Buller y Vanterpool (1926) descubrieron que tanto el micelio como las gemas o cabecitas de *M. citricolor* producían luminiscencia. Esta emisión de luz estaba presente únicamente cuando el micelio estaba en crecimiento activo. La luminiscencia en lesiones jóvenes había sido observada desde 1878, por lo que la enfermedad era conocida como “candelilla”

El basidiocarpo, que es mas grande que la gema, produce y libera una gran cantidad de basidiósporas. En condición de campo, es difícil encontrar estos estado (Wang y Avelino, 1999).



Figura 4. Gemas o cabecitas del estado asexual *Omphalia flavida*. Crédito: CENICAFE.

2.12 ciclo de vida

El mecanismo exacto del desarrollo de la infección de *Mycena citricolor* no está claro. Sin embargo, se considera que la gema libera hacia la lámina foliar ácido oxálico que cambia el pH e induce la producción de enzimas que degradan las paredes celulares. Una vez establecido el hongo dentro de la planta, posiblemente utiliza el metabolismo de la misma para alimentarse, degradando la energía metabólica contenida en los carbohidratos de reserva, como sucede con otro tipo de hongos (Vargas, 2003; Foster *et al.*, 2003; Barquero, 2011).

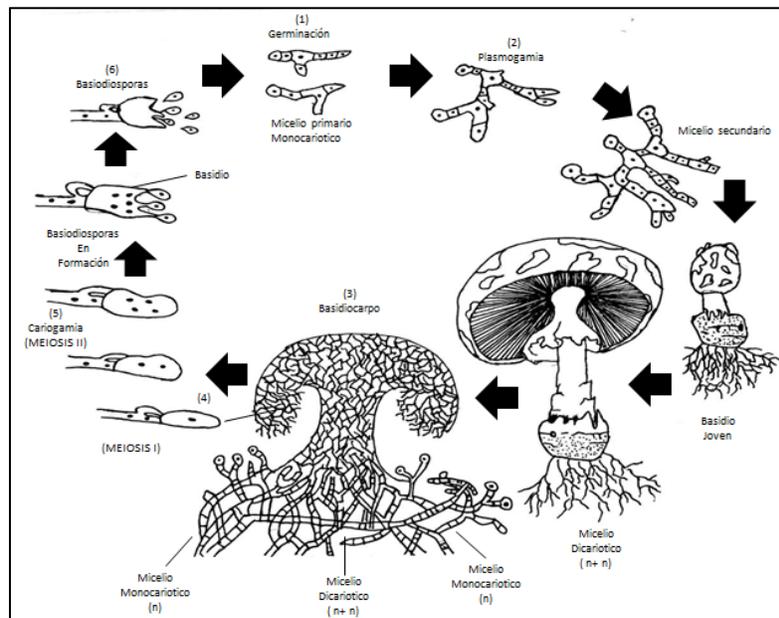


Figura 5. Ciclo de vida de basidiomiceto. Imagen tomada del artículo “Uso potencial de biorreactores para la producción de lacasas de hongos basidiomicetos”. Gerardo Diaz Godínez

La reproducción sexual juega un papel importante dentro de la biología donde estudios de muchos eucariotas promueven una innovación evolutiva de este linaje. En este grupo se denomina basidiocarpo y se caracteriza por ser una célula terminal en forma de clavo en la que se produce cariogamia y meiosis, produciendo generalmente 4 esporas exógenas (basidiosporas). Todos los Basidiomicetos tienen micelios compuestos por hifas tabicadas, uni-, bi- o multinucleadas, con tabiques perforados por poros compuestos denominados dolíporos. Además, se caracterizan por presentar una intercalación de una fase dicariótica entre la

plasmogamia y la cariogamia, paredes celulares compuestas por quitina y glucanos y ausencia de células flageladas. En los casos de los hongos basidiomicetos tiene un ciclo o modelo sexual donde podemos describir que tienen dos modelos sexuales donde el primero es el homotalismo y el segundo es heterotalismo. Para el primer caso el homotalismo de los hongos va a ser cuando son auto compatibles, haciendo una referencia a la unión sexual que se realiza entre dos elementos de un mismo micelio. Para segundo caso en el heterotalismo se necesitan dos micelios para así poder llevar a cabo su reproducción. A continuación, se explica el ciclo de vida de un Basidiomiceto típico. A partir de basidiósporas haploides de distinta polaridad liberadas de un basidio maduro, en un medio adecuado, germinan y originan un micelio con células uninucleadas denominado micelio primario haploide o monocariótico (1). Estos micelios crecen y al encontrar otro compatible se ponen en contacto, que por plasmogamia (somatogamia) dan como resultado una célula con dos núcleos no fusionados, que seguirán dividiendo de manera conjugada para extender el micelio y formar el micelio secundario o dicariótico ($n+n$) (2). Este tipo de división conjugada que permite mantener la condición dicariótica se da mediante las fíbulas o asas anastomósicas, bucles o ganchos (ver explicación en el siguiente apartado). El micelio secundario se desarrolla y forma el cuerpo fructífero llamado basidiocarpo (micelio terciario) (3). Este cuerpo fructífero se encuentra constituido por un pie o estípite, un píleo y un himenio, el cual se encuentra formado por basidios (hifas estériles). Los basidios son estructuras reproductivas con dos núcleos (uno de cada micelio monocariótico de apareamiento) (4). Como resultado de la cariogamia se observa el único momento, muy breve, de un estadio diploide ($2n$) (5). Luego de que ocurre meiosis se obtiene como resultado la formación de cuatro núcleos. Cada uno de estos núcleos desarrolla una basidiospora (n), las que después de liberadas, el basidiocarpo se desintegra (6) (Sánchez *et al*; 2017).

2.13 Distribución geográfica

2.13.1 Distribución mundial

El ojo de gallo (*Mycena citricolor*) se encuentra presente sólo en América, en las principales zonas cafetaleras (Thurston, 1989).

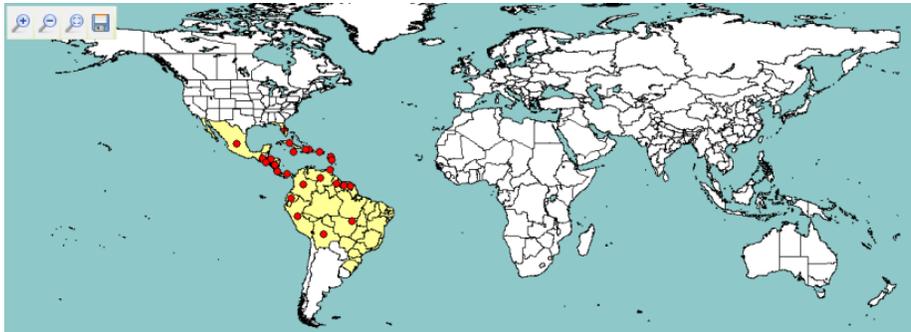


Figura 1. Distribución mundial de *Mycena citricolor*. Créditos: EPPO, 2014.

Figura 6. Distribución mundial de *M. citricolor*. Imagen tomada de la Ficha técnica no. 49 ojo de gallo de SENASICA, 2014

2.13.2 Distribución nacional

En México se encuentra presente en las principales zonas productoras de café, por ello es una plaga de importancia económica (SENASICA, 2014).



Figura 7. Estados productores de café en México. Imagen tomada de SIAP, 2014

2.14 Epidemiología de la enfermedad

El ojo de gallo es una enfermedad muy importante en plantaciones localizadas arriba de los 700 msnm, muy sombradas, con alto grado de humedad en el ambiente y temperaturas frescas comprendidas entre 19 y 23°C (Villaseñor, 1987).

Estudios realizados en El Salvador, Costa Rica y Guatemala, han demostrado que el desarrollo de la enfermedad depende de la fluctuación estacional de la lluvia y la

humedad relativa. Una vez que las lluvias empiezan, el número de hojas enfermas y el número de lesiones por hoja aumenta rápidamente, desde 1 hasta 75 lesiones. Poco tiempo después, se inicia la producción de cabecitas o gemas, que una vez maduran, son desprendidas de su pedicelo y transportadas por el viento o por las gotas de lluvia a tallos, hojas y frutos cercanos, produciendo nuevas infecciones (Castaño, 1951).

2.15 sobrevivencia del hongo en época seca

Durante la época se, el inoculo residual del ojo de gallo sobrevive en las plantas de café que fueron dañadas el año interior, así como en malezas, helechos, arboles de sombra y en algunos arboles utilizados como cortinas rompe vientos. Este es el inóculo mas importante y que se debe manejar para evitar que se convierta en una epidemia (Anacafe, 2017).

2.16 Impacto económico

Toda planta de café severamente atacada por ojo de gallo, sufre trastornos fisiológicos de suma consideración. El restablecimiento del follaje, en donde tienen lugar las funciones de respiración y transpiración, les resta actividades a las funciones reproductoras y, por consiguiente, las cosechas subsiguientes, aun en caso de cambiar las condiciones desfavorables, no serán las ideales, mientras dure su completa reposición. Esta enfermedad es capaz de causar serias pérdidas. En Guatemala, determinaron que, cuando la enfermedad es severa, las disminuciones en rendimiento ocurren desde el primer año de la epidemia, lo cual se puede considerar como pérdidas primarias. Este fenómeno puede explicarse por el hecho de que la enfermedad afecta también los frutos, provocando su caída. Por otra parte, la defoliación causada por la enfermedad induce una pérdida secundaria, en la cual los efectos se observan sobre la producción del siguiente año. Con una incidencia de 49%, las pérdidas primarias fueron de 1,3 kg de café cereza por planta, comparado con una producción de 6,9 kg con las plantas que estuvieron libres de la enfermedad. Para este mismo nivel de infección, se calcularon pérdidas secundarias de 3,9 kg en plantas que hubieran producido en el segundo año 7,8 kg,

si hubiesen permanecido sanas en el primero. En total, una pérdida de 35% (5,2 kg de café cereza por planta) es suficiente para justificar el empleo de fungicidas. *M. citricolor* puede causar defoliaciones severas en algunas localidades, produciendo pérdidas considerables en la producción. En varios países de Centro América, en plantaciones de café expuestas a altas condiciones de humedad y sembradas bajo sombrío, se han estimado pérdidas entre 20% y 30%. Sin embargo, algunos autores han estimado pérdidas aproximadas de 73% en el cultivo de café, en algunas regiones de el Salvador a causa de esta enfermedad. Igualmente, en países como Puerto Rico y Costa Rica, esta enfermedad ha alcanzado impactos del 80% y 90% sobre la producción, cuando se recrudece el invierno, favoreciendo que la enfermedad se disemine y alcance niveles de severidad de manera rápida. Recientemente, en los meses de enero y febrero del año 2011, una comisión de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia visitó seis países Centroamericanos (México, Guatemala, Honduras, Costa Rica, El Salvador y Panamá) (Rivillas y Castro, 2011)

2.17 Control

2.17.1 Manejo cultural

La importancia de un manejo integrado para controlar la enfermedad ojo de gallo, basándose principalmente en el manejo cultural. De acuerdo con las apreciaciones de este autor y de otros, se recomienda:

- Restringir en los germinadores de café, las semillas provenientes de cafetales afectados por ojo de gallo.
- Mantener los platos de las plantas de café libre de arvenses y el suelo del cafetal con arvenses nobles. Esta práctica ayuda a eliminar ciertas plantas hospedantes de este patógeno.
- Realizar un buen drenaje del suelo para evitar los encharcamientos, y profundizar los drenajes donde el exceso de humedad lo requiera.
- Podas o desbajeres en los cafetos, para evitar infecciones en las ramas inferiores que entran en contacto con chapolas, hojarasca y arvenses

afectadas por gotera. Este manejo, además de estimular la emisión de nuevo tejido en la planta, también favorece la estabilización de los rendimientos por unidad de área.

- Establecer el cultivo de café con una distribución racional del sombrío, de manera que éste no afecte la disponibilidad de luz para las plantas de café ni intercepte la radiación solar, sin afectar los procesos fotosintéticos de la planta ni aumentar la humedad relativa interna.
- Usar variedades tolerantes mediante la evaluación de materiales con características de tolerancia o resistencia al ataque de *M. citricolor*

2.17.2 Manejo biológico

estudios sobre el manejo biológico de la enfermedad ojo de gallo utilizando *Trichoderma spp.* y han encontrado que el hongo inhibe la formación de cabecitas y, además, utiliza las ya formadas como sustrato de crecimiento, logrando disminuir el potencial de diseminación del patógeno.

2.17.3 Control químico

Wang y Avelino (199), indican que uno de los primeros fungicidas que se encontró que tenía algún efecto sobre la enfermedad fue el caldo bordelés, aplicando 15 g de hidróxido de calcio + 20 g de sulfato de cobre por 1 L de agua. Sin embargo, los productos cúpricos no representan una buena alternativa durante los meses de mayor precipitación. Teniendo en cuenta que *M. citricolor* produce ácido oxálico, se han probado diferentes formulaciones de cal, con el fin de neutralizar dicho ácido.

se han realizado y se continúan los estudios sobre el control químico de esta enfermedad, encontrando que el fungicida cyproconazole (Atemi 10 SL) ha sido el más efectivo (2 cm³/L de agua), realizando aplicaciones con niveles de infección por debajo del 10%. Este producto, en ocasiones lo potencian aplicándolo con un fungicida bactericida, cuyo ingrediente activo es la validamicina A (Validacin 3% SL), utilizando 5 cm³/L de agua.

2.18 Estadística clásica.

Existen dos métodos generales para establecer la distribución espacial de los organismos binomial negativa y Poisson y los índices de dispersión (de dispersión y de Green). El modelo binomial negativo es probablemente la distribución más comúnmente utilizada para modelizar fenómenos agrupados, es decir, poblaciones contagiosas o agregadas (Silva *et al*; 2016). La **binomial negativa** está definida por dos parámetros: la media m y un exponente k , o en términos del desarrollo de $(q - p)^{-k}$, donde $p = m/k$ y $q - p = 1$. La probabilidad de encontrar r individuos en una muestra de una población de parámetros k y m será:

$$P[\varepsilon = r] = (k + r - 1) \left(\frac{1}{q}\right)^k \left(\frac{p}{q}\right)^r$$

Como $m = kp$ y $s^2 = kp(1 + p)$, se deduce: para la población $s^2 = m + m^2/k$ y para la muestra $s^2 = x + x^2/k$

La distribución que responde a una **distribución** aleatoria es la de **Poisson**, cuya principal característica es que la varianza es igual a la media: $s^2 = m$. Formalmente se puede expresar la distribución de Poisson de la siguiente manera: La probabilidad de encontrar un cierto número (r) de individuos en una muestra de una población con media (x) y distribuida aleatoriamente es:

$$P[\varepsilon = r] = e^{-\bar{x}} \frac{\bar{x}^r}{r!}$$

Multitud de índices han sido elaborados para establecer la distribución espacial de los organismos. Entre los índices más importantes se encuentran el índice de dispersión y el índice de Green (Rozas y Camarero 2004). El **índice de dispersión** se calcula con la siguiente fórmula:

$$P[\varepsilon = r] = e^{-\bar{x}} \frac{\bar{x}^r}{r!}$$

Donde: \bar{x} y s^2 son la media muestral y la varianza, respectivamente

En cuanto al **índice de Green**, este se calcula con la siguiente fórmula:

$$GI = \frac{(s^2 / \bar{x}) - 1}{N - 1} = \frac{IC}{N - 1}$$

El GI varía entre $-1/(N-1)$ (distribución uniforme) y 1 (distribución agregada). Si el valor GI es igual a 0 se tendrá una distribución al azar. Los valores entre 0 y 1 indican la fuerza de la agregación o contagio. Cuando el contagio es positivo, el índice de Green es independiente de N y de la media, lo cual son cualidades muy deseables para un índice de dispersión (Espinoza *et al.*; 2019).

2.19 Estadística espacial

Estadística espacial es la reunión de un conjunto de metodologías apropiadas para el análisis de datos que corresponden a la medición de variables aleatorias en diversos sitios (puntos del espacio o agregaciones espaciales) de una región. De manera más formal se puede decir que la estadística espacial trata con el análisis de realizaciones de un proceso estocástico $\{Z(s) : s \in D\}$, en el que $s \in \mathbb{R}^d$ representa una ubicación en el espacio euclidiano d-dimensional, $Z(s)$ es una variable aleatoria en la ubicación s y s varía sobre un conjunto de índices $D \subset \mathbb{R}^d$.

2.20 Geoestadística

Aunque la aplicación de la herramienta geoestadística es bastante reciente, son innumerables los ejemplos en los que se ha utilizado esta técnica en estudios ambientales con el ánimo de predecir fenómenos espaciales (Robertson, 1987; Cressie y Majure, 1995; Diggle *et al.*, 1995). La columna vertebral del análisis geoestadístico es la determinación de la estructura de autocorrelación entre los datos y su uso en la predicción a través de las técnicas conocidas como kriging y cokriging. Otros temas importantes dentro del estudio de información georreferenciada son el diseño de redes de muestreo (McBratney *et al.*, 1981), la geoestadística multivariada (Wackernagel, 1995) y la simulación (Deutsch y Journel, 1992) (Giraldo, 2002).

La geoestadística es solo una de las áreas del análisis de datos espaciales. Es importante reconocer cuando la información georreferenciada es susceptible de ser analizada por medio de dicha metodología. Por ello en el documento se hace inicialmente una definición global de estadística espacial y se describen las características especiales que enmarcan cada una de sus áreas. En el estudio de información georreferenciada, de forma análoga a como se procede en la aplicación de muchos procedimientos estadísticos, la primera etapa que se debe cumplir es la del análisis exploratorio de datos (AED). Esta busca identificar localización, variabilidad, forma y observaciones extremas. Por ello en el primer capítulo del escrito se hace una revisión de métodos empleados en el AED y se describen algunos particularmente útiles en el contexto del análisis de información georreferenciada. Posteriormente en el segundo capítulo, entrando en materia, se hace definición de conceptos básicos dentro de la teoría geoestadística (Giraldo, 2002).

III. JUSTIFICACIÓN

A pesar de la relevancia del café, en México, los productores en general enfrentan una serie de problemas que afectan directamente sus condiciones de vida, productividad y calidad del café que producen. Debido a la gran diversidad de condiciones donde se desarrolla el cultivo del café, se han venido presentando problemas que afectan en forma diferente a los productores, de acuerdo a cada Estado, región o Municipio de que se trate (Ejecutivo, 2015)

En los últimos años, la producción y la demanda del café mexiquense han tenido un gran repunte. Actualmente, existen cerca de 600 productores de café en el estado y alrededor de 531 hectáreas de tierra cultivable. Siendo los municipios de San Simón de Guerrero, Tejupilco, Temascaltepec, Tlatlaya, Amatepec y Tepetlixpa, donde más se produce, ya que son lugares con características importantes para una producción orgánica. Debido a su calidad superior, la demanda de los consumidores ha aumentado (SIAP, 2017).

Los estudios han demostrado que las plantaciones de café en algunos estados productores están infestadas por *Mycena citricolor*, con una incidencia del 30% (SENASICA, 2017). Las altas precipitaciones están relacionadas con la incidencia de ojo de gallo, principalmente entre marzo y mayo. Desde 2017, *M. citricolor*, han sido monitoreado en el Estado de México por el Programa de Monitoreo Epidemiológico Fitosanitario

Por estas razones, el estudio tiene como objetivo recolectar datos que permitan comprender la distribución espacial de los problemas fitosanitarios de *M. citricolor* Berkeley y Curtis, 1887 en cultivos de café en el Estado de México, estos serán de gran ayuda para identificar las áreas moderadamente y altamente infestadas que necesitan ser atendidas de inmediato, con el fin de detectar las preferencias de la infestación y áreas que no la presenten. Al establecer dicha distribución con la estadística espacial (Geoestadística) nos permitirá representar gráficamente el comportamiento espacial en mapas para analizar la situación actual en el Estado de México y así toma de decisiones importantes. La información recopilada ayudará a

realizar un manejo de este problema, guiando medidas de control biológico adecuadas en las áreas infectadas.

IV. HIPÓTESIS

La población del hongo *Mycena citricolor* Berkeley y Curtis, 1887 mostrará una distribución espacial en agregados y la superficie infectada de café no será del 100%

V. OBJETIVOS

5.1 Objetivo general

- Establecer la distribución espacial de la enfermedad ojo de gallo *Mycena citricolor* Berkeley y Curtis, 1887, en cafetales de tres Municipios del Estado de México.

5.2 Objetivos específicos

- Obtener la distribución espacial de la población de ojo de gallo *Mycena citricolor* Berkeley y Curtis, 1887, empleando las técnicas de geoestadística.
- Realizar los mapas de distribución espacial de la población de ojo de gallo *Mycena citricolor* Berkeley y Curtis, 1887 utilizando la técnica de Krigeado.
- Delimitar la zona infectada real por ojo de gallo *Mycena citricolor* Berkeley y Curtis, 1887
- Precisar los ahorros económicos de las medidas de control químico para áreas específicas de infección con relación a una aplicación de manera uniforme.

VI. MATERIAL Y MÉTODO

6.1 Área de estudio

La investigación se llevó a cabo en los principales municipios productores de café: Amatepec, Sultepec y Temascaltepec, pertenecientes al Estado de México.

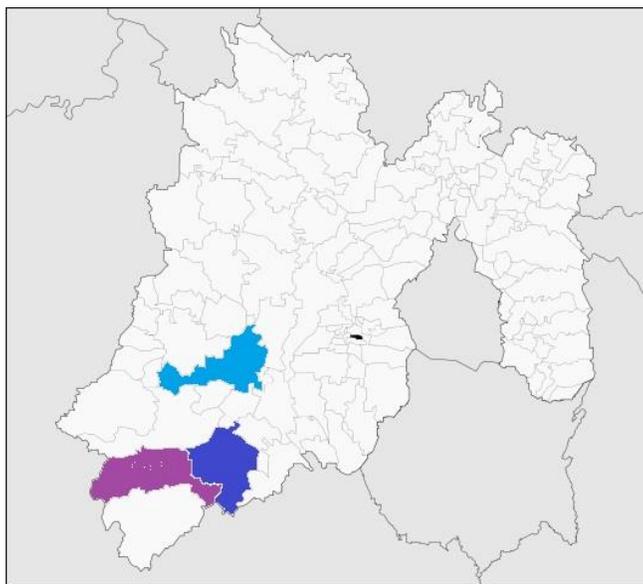


Figura 7. zonas de estudio.

● Temascaltepec ● Sultepec ● Amatepec

6.1.2 Temascaltepec

El municipio de Temascaltepec se localiza entre las coordenadas 18°59'16" y 19°13'03" de latitud Norte y 99°48'05" y 100°13'58" de longitud Oeste. Ocupa una extensión de 547.5 km². El municipio presenta un gradiente altitudinal que va de los 1 200 a los 3 600 m (INEGI, 2001). 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).

6.1.3 Sultepec

El municipio de Sultepec, se ubica en el extremo sur de la porción occidental del estado de México; entre los paralelos 18°13'21" y 18°33'03" de latitud norte, entre los meridianos 99°51'25" y 100°08'17" de longitud oeste, la cabecera municipal se encuentra 2,290 metros sobre el nivel del mar. La extensión territorial de la municipalidad es de 564.04 kilómetros cuadrados. Dada la ubicación de las regiones del sur y suroeste el clima es semicálido y cálido (Gob. Del Mcpio. De Sultepec, 2022).

6.1.4 Amatepec

Amatepec es uno de los 125 municipios que conforman la entidad. Su cabecera municipal es Amatepec, que se localiza en las coordenadas geográficas 100°11'09" O de longitud y 18°40'56" N de latitud. El municipio se encuentra a una altitud de 1,820 msnm (INEGI 2020).

6.2 Establecimiento de parcelas

Para el muestreo se seleccionaron seis parcelas por municipio de café arábico (Typica y Caturra) con una edad de 10 a 20 años y un área promedio de 5000 m²; el porcentaje de sombra de las parcelas fue en un rango de 40-60%. Las principales actividades de manejo desarrolladas en cada parcela fueron: poda de formación, regulación de sombra y podas fitosanitarias. Para el muestreo las parcelas fueron delimitadas y divididas en cuadrantes de 10x10m obteniendo un total de 50 cuadrantes por parcela, de los cuales se tomaron cuatro árboles al azar, para tener 200 arbusto por parcela; con un total de 600 cafetos para los tres municipios. Cada planta fue marcada y georreferenciada mediante un sistema de posicionamiento global diferencial (DGPS), modelo Trimble SPS361; para ubicar y muestrear las mismas plantas durante la investigación.

6.3 Muestreo de la enfermedad

Se seleccionó una rama por cada punto cardinal y de cada una de estas se tomaron tres hojas, esto se realizó en estrato bajo, medio y alto de la planta, muestreando

12 hojas por estrato, dando un total de 36 hojas por cafeto. La incidencia de ojo de gallo se determinó con base al número de hojas que presentaron síntomas de la enfermedad, con respecto al total de hojas en cada rama; las evaluaciones se realizaron cada 14 días de septiembre 2020 a agosto 2021.

6.4 Verificación de la normalidad de datos

A los datos adquiridos se les aplicó los parámetros estadísticos Curtosis y el coeficiente de variación para verificar su normalidad, se detectó normalidad en ellos. Los datos fueron integrados en una base de datos.

6.5. Estadística clásica

En este estudio, se utilizaron métodos clásicos como la Binomial Negativa y Poisson y los índices de dispersión (Índice de Dispersión e Índice de Green) (Espinoza-Zúñiga *et al.*, 2019). Los resultados obtenidos contribuyeron para determinar el tipo de distribución espacial que presenta la enfermedad dentro del cultivo. Posteriormente se realizó una comparación de resultados obtenidos con estos métodos de estadística clásica contra los obtenidos con la estadística espacial.

6.6 Estadística Espacial (Geoestadística)

El análisis geoestadístico tiene generalmente tres pasos:

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

6.6.1 Estimación del Semivariograma experimental.

Se realizó a partir de la incidencia de ojo de gallo recabada en la investigación se calculó el valor experimental del semivariograma con la siguiente expresión (Journel y Huijbregts 1978, Isaaks y Srivastava 1989):

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

Dónde: $\gamma^*(h)$ es el valor experimental del semivariograma para el intervalo de distancia h ; $N(h)$ es el número de pares de puntos muestreados separados por el

intervalo de distancia h ; $z(x_i)$ es el valor de la variable de interés en el punto muestral x_i y $z(x_i+h)$ es valor de la variable de interés en el punto muestra x_i+h .

6.6.2 Estimación de los parámetros del modelo de Semivariograma.

Para ajustar el semivariograma experimental se usaron modelos teóricos, generalmente esférico, exponencial, gaussiano, logarítmico, efecto pepita puro, efecto agujero y monómico (Armstrong y Jabín, 1981; Samper y Carrera, 1996; Trematerre y Sciarretta, 2002). La validación del modelo teórico, se realizó de forma sucesiva en que todos los puntos muestreados se determinaron las diferencias entre valores experimentales y estimados con los estadísticos de validación cruzada (Hevesi *et al.*, 1992; Isaaks y Srivastava, 1989). Los parámetros del modelo a validar (efecto pepita, meseta y rango) se modificaron con el procedimiento de ensayo y error hasta obtener estadísticos de validación cruzada adecuados. Para la realización del semivariograma experimental correspondiente a cada muestreo de las parcelas experimentales se empleó el programa Variowin 2.2 (Software for Spatial Data Analysis in 2D. Spring Verlag, New York. USA.) y el programa WinGslib 2002.

6.6.2.1 validación

Una vez ajustados, los semivariogramas se validaron matemáticamente, en este estudio se utilizó la validación cruzada. La cual es un procedimiento no paramétrico, donde 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 restante valores muestrales. Este proceso se efectuó 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 y Hevesi *et al.*, 1992), estos estadísticos son: la media del error de estimación, el error cuadrático medio y el error cuadrático medio.

6.6.3 Estimación de la superficie (mapas) utilizando el Krigado.

La elaboración de mapas se realizó al utilizar la interpolación de valores a través del krigado ordinario que es una técnica de interpolación que permite la estimación no sesgada de puntos no muestreados. Una vez obtenido el Krigado se elaboraron los mapas de densidad con el programa Surfer 16.0 (SurfaceMappingSystem).

6.7 Nivel de dependencia espacial

La determinación del grado de relación o nivel de dependencia espacial se obtuvo al dividir el efecto pepita entre la meseta y expresado en porcentaje su resultado. Si el resultado es menor que el 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 (Sayad *et al.* 2017).

6.8 Superficie infectada.

Para lograr esto, se utilizó el programa Surfer16.0. (Surface Mapping System, Golden Software Inc. 809, 14th Street. Golden, Colorado 80401-1866. USA). donde se obtuvo el porcentaje real y la superficie en la cual se encuentra la enfermedad dentro de los mapas elaborados.

6.9. Ahorro económico.

Una vez obtenido el porcentaje de las áreas infectadas en cada mapa, se calcula el costo de la aplicación normal, como hacen los agricultores de los municipios de estudio, y el costo de la aplicación dirigida (solo áreas infectadas). Claramente, la diferencia entre los dos valores indica el ahorro económico obtenido utilizando el método exacto. Nuevamente, se procede a realizar los cálculos correspondientes al ahorro en la cantidad de producto utilizado bajo ambas estrategias de control. De esta forma se obtendrá la idea de reducir el impacto nocivo en el medio ambiente, ya que, al reducir la cantidad de agroquímicos en el manejo de la enfermedad ojo de gallo, también se reduce el impacto al ambiente. Esto se llevó a cabo realizando cálculos numéricos donde se elaboraron tablas donde se muestra la proporción de aplicaciones de agroquímicos en virtud al porcentaje real de infección.

MÉTODO



Figura 8. Material y métodos establecido en imagen.


Revista Mexicana de Fitopatología
 Órgano de Difusión de la Sociedad Mexicana de Fitopatología

Mexican Journal of Phytopathology
 Diffusion Organ of the Mexican Society of Phytopathology

[Inicio](#) | [Acerca de la RMF](#) | [Guías de Publicación](#) | [Suplementos](#) | [Volúmenes Anteriores](#) | [Soporte OJS](#) | [Acceso OJS](#)

- ▶ **Scientific articles (Artículos científicos)**
- ▶ **Review articles (Artículos de revisión)**
- ▼ **Phytopathological notes (Notas Fitopatológicas)**
 - DOI: <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2204-1>
 First DOI published/Primera publicación DOI: 28 de Junio, 2022
 - Spatial and temporal distribution of ojo de gallo, (*Mycena citricolor*) in coffee plantations of the State of Mexico** (Distribución espacial y temporal de ojo de gallo (*Mycena citricolor*) en cafetales del Estado de México). Pino-Miranda E, Ramírez-Dávila JF, Serrato-Cuevas R, Mejía-Carranza J and Tapia-Rodríguez A.
 DOI: <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2204-2>
 First DOI published/Primera publicación DOI: 27 de Julio, 2022
 - In vitro sensitivity of *Fusarium sacchari* isolated from sugar cane to five fungicides** (Sensibilidad *in vitro* de *Fusarium sacchari* aislado de caña de azúcar a cinco fungicidas). Medina-Ostí F, Gutiérrez-Díez A, Ochoa-Ascencio S and Sinagawa-García SR.
 DOI: <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2206-1>
 First DOI published/Primera publicación DOI: August 26, 2022.
 - In vitro and in vivo antifungal activity of *Azadirachta indica* and *Piper auritum* extracts against uredospore germination of *Hemileia vastatrix*** (Actividad antifúngica *in vitro* e *in vivo* de extractos de *Azadirachta indica* y *Piper auritum* contra la germinación de uredosporas de *Hemileia vastatrix*). Ricardo Aquirre-Vega, Gerardo Alvarado-Castillo, María del Carmen Ramírez-Benitez, José Antonio García-Pérez,

7.1.3 Nota científica original enviada a la revista

Spatial and temporal distribution of ojo de gallo, (*Mycena citricolor*) in coffee plantations of the State of Mexico

Distribución espacial y temporal de ojo de gallo (*Mycena citricolor*) en cafetales del Estado de México

Esther Pino-Miranda, José Francisco Ramírez-Dávila*, Rodolfo Serrato-Cuevas, Jaime Mejía-Carranza, Atenas Tapia-Rodríguez, Facultad de Ciencias Agrícolas, UAEM. Cerrillo Piedras Blancas s/n km 15 Carr. Toluca - Ixtlahuaca, entronque al Cerrillo, Toluca de Lerdo, México, C.P. 50200, México.

*Corresponding author: jframirez@uaemex.mx.

Received: April 20, 2022.

Accepted: July 07, 2022.

Pino-Miranda E, Ramírez-Dávila JF, Serrato-Cuevas R, Mejía-Carranza J and Tapia-Rodríguez A. 2022. Spatial and temporal distribution of ojo de gallo (*Mycena citricolor*) in coffee plantations of the State of Mexico. Mexican Journal of Phytopathology 40(3).

DOI: <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2204-2>

First DOI publication: July 27, 2022.

Primera publicación DOI: 27 de Julio, 2022.

Abstract. The eye of the rooster (*Mycena citricolor*) is a disease in the coffee crop that can be more severe during the rainy season due to the favorable conditions that occur during this period. The objective of the study was to determine the spatial distribution and population density of *M. citricolor* in coffee cultivation in the State of Mexico and thus understand the epidemiological process of the disease. The research was carried out in the municipality of Amatepec, State of Mexico.

Resumen. El ojo de gallo (*Mycena citricolor*) es una enfermedad en el cultivo de café que puede ser más severa durante la época de lluvias debido a las condiciones favorables que se presentan durante este período. El objetivo del estudio fue determinar la distribución espacial y densidad poblacional de *M. citricolor*, en cultivo de café en el Estado de México y así comprender el proceso epidemiológico de la enfermedad. La investigación se realizó en el municipio de Amatepec, Estado de México. Los muestreos se realizaron quincenalmente de septiembre 2020 a febrero 2021; seleccionándose seis parcelas y 200 cafetos (*Coffe arabica*) variedades Typica y Caturra, al azar por parcela, estos se marcaron y georreferenciaron. Se utilizaron métodos para obtener la distribución espacial de ojo de gallo, mostrando diferentes ajustes de modelos geoestadísticos como el gaussiano, esférico y exponencial, estos fueron validados con el método de validación cruzada, mostrando una distribución agregada. La estimación de la superficie infectada

The samplings were carried out fortnightly from September 2020 to February 2021; selecting six plots and 200 coffee trees (*Coffe arabica*) Typica and Caturra varieties, randomly per plot, these were marked and georeferenced. Methods were used to obtain the spatial distribution of the rooster's eye, showing different adjustments of geostatistical models such as Gaussian, spherical and exponential, these were validated with the cross-validation method, showing an aggregate distribution. The estimation of the area infected by *M. citricolor* was obtained using ordinary kriging, revealing the presence of foci of infection within the plots, finding a relationship between density and climatic conditions (temperature, humidity and dew point). A high degree of spatial dependence was also obtained in all samples, indicating a strong correlation between the data. It is concluded that geostatistics is an effective tool to study and forecast this type of disease and give a clearer idea of the epidemiological process of the disease.

Keywords: *Mycena citricolor*, Spatial distribution, Epidemiology

Mexico produces one of the highest quality and most demanded coffee varieties worldwide. It produces around 944 thousand tons of coffee grains each year. The states with the highest production are Chiapas, with 40.8% of the national production, Veracruz with 24.4% and Puebla with 15.5%. Together, these three states produce more than 70% of the national total (SIAP, 2021). The State of Mexico currently has approximately 549 hectares planted with coffee, from which 622 tons of coffee are obtained each year. These plantations are distributed over several municipalities, the most important of which are Amatepec (338.2 hectares

por *M. citricolor* se obtuvo utilizando el krigeado ordinario revelándonos la presencia de focos de infección dentro de las parcelas, encontrándose una relación de la densidad con las condiciones climáticas (temperatura, humedad y punto de rocío). También se obtuvo un alto grado de dependencia espacial en todos los muestreos, lo que indica una fuerte correlación entre los datos. Se concluye que la geoestadística es una herramienta eficaz para estudiar y pronosticar este tipo de enfermedad y dar una idea más clara del proceso epidemiológico de la enfermedad.

Palabras claves: *Mycena citricolor*, Distribución espacial, Epidemiología

México produce uno de los cafés (café arábica) con mayor demanda y calidad en el mundo; a nivel nacional se producen alrededor de 944 mil toneladas del grano, los estados con mayor producción son Chiapas que reporta una producción del 40.8%, Veracruz con el 24.4% y Puebla con el 15.5%, estas entidades producen más del 70% del total nacional (SIAP, 2021). Actualmente el Estado de México tiene aproximadamente 549 ha sembradas de café de las cuales se obtiene una producción de 622 toneladas, estas plantaciones se encuentran distribuidas en varios municipios, los más importantes son: Amatepec con una superficie sembrada de 338.2 ha y una producción de 333.2 toneladas, Sultepec y Temascaltepec (SIAP, 2020).

A pesar de la relevancia del café, en México, los agricultores en general enfrentan diversos problemas fitosanitarios durante el proceso de producción del cultivo (SENASICA, 2018). Una de estas dificultades es ojo de gallo ocasionada por el hongo *M. citricolor*, miembro de la Clase Basidiomycete, el principal efecto de la enfermedad es el bajo ren-

and 333.2 tons), Sultepec and Temascaltepec (SIAP, 2020).

Despite their importance, coffee crops in Mexico face various phytosanitary problems (SENASICA, 2018). One of these is “ojo de gallo” (American Leaf Spot), caused by the fungus *M. citricolor*, a member of the Basidiomycetes group of fungi. The main effect of the disease is low production yield due to defoliation (Granados, 2020). The variety *C. arabica* and varieties derived from the Timor Hybrid (TH) have different degrees of susceptibility to the attack of “ojo de gallo”. For example, the Catuaí and Villa Sarchí varieties have greater tolerance to the disease than the varieties of the Catimor group (Santacreo 2001; Avelino *et al.*, 1995).

Rooster’s eye is a very important disease in plantations located over 700 meters above sea level, with shade >46%, ambient humidity >80% and cool temperatures between 19 and 23 °C (CENICAFE, 2011). Studies carried out in El Salvador, Costa Rica and Guatemala have shown that the development of the disease depends on the seasonal fluctuations of rainfall and relative humidity. The incidence of the disease increases in rainy seasons, as does the number of diseased leaves and the number of lesions per leaf (from 1 to 75 lesions) (SENASICA, 2014).

In nature, organisms form aggregations or gradients in response to structural characteristics that depend on biotic and abiotic variables of their habitat. This should be kept in mind to better understand the population dynamics of different organisms and their relationship with the environment (Gomez *et al.*, 2010).

The last important epidemic of rooster’s eye in coffee occurred in Costa Rica in 2010. It was associated with a 12% decrease (around 71,400,000 kg) in the estimated harvest production for the productive year 2010-2011, which meant a loss of

diminution in the production, due to the defoliation (Granados, 2020). Las variedades de *C. arabica* y variedades derivadas del Híbrido de Timor (HdT) tienen diferentes grados de susceptibilidad al ataque de ojo de gallo; por ejemplo, las variedades Catuaí y Villa Sarchí tienen mayor tolerancia a la enfermedad, que los del grupo Catimor (Santacreo 2001; Avelino *et al.*, 1995).

Ojo de gallo es una enfermedad muy importante en plantaciones localizadas por arriba de los 700 msnm, sombra >46%, con humedad en el ambiente >80% y temperaturas frescas comprendidas entre 19 y 23 °C (CENICAFE, 2011). Estudios realizados en El Salvador, Costa Rica y Guatemala, han demostrado que el desarrollo de la enfermedad depende de la fluctuación estacional de la lluvia y la humedad relativa. La incidencia de la enfermedad se hace más evidente en épocas lluviosas, el número de hojas enfermas y el número de lesiones por hoja aumenta rápidamente, desde 1 hasta 75 lesiones (SENASICA, 2014).

Es fundamental reconocer que en la naturaleza los organismos se encuentran formando agregaciones o gradientes en respuesta a características estructurales controladas por variables bióticas y abióticas que presentan los hábitats, para contribuir a un mayor entendimiento de la dinámica poblacional de los organismos y su relación con el ambiente (Gómez *et al.*, 2010).

En Costa Rica en 2010 se presentó la última epidemia importante de ojo de gallo en café, se contabilizó una disminución del 12 % (alrededor de 71 400 000 kg) de la cosecha estimada para el año productivo (2010-2011), lo que significó una pérdida de alrededor de \$60 millones USD (Granados *et al.*, 2020). En México algunas plantaciones han mostrado incidencia del 30%; y para el caso del Estado de México esta enfermedad es monitoreada por el Programa de Monitoreo Epidemiológico Fitosanitario (SENASICA, 2017).

around USD \$60 million (Granados *et al.*, 2020). In Mexico, some plantations have shown an incidence of 30%. In the State of Mexico, this disease is monitored by the Phytosanitary Epidemiological Monitoring Program (SENASICA, 2017).

Geostatistics is a set of tools and techniques used to analyze and predict values of a variable that is distributed over space or time in a continuous way. It can be used to study phytosanitary problems. All geostatistical work has three stages; 1. Exploratory data analysis during which sample data are studied without considering their geographical distribution. 2. Structural analysis or study of the spatial continuity of the variables. 3. Predictions or estimates of the variables in non-sample points (Moral, 2004). The present study aimed to collect data of the spatial distribution and population density of *M. citricolor* in coffee crops in the State of Mexico to understand the epidemiological process of the disease.

The research was carried out in the municipality of Amatepec, located in the extreme south of the western part of the State of Mexico. Six plots of Arabica coffee (Typica and Caturra) were selected, with an age of 10 to 20 years and an average area of 5000 m². The shade percentage of the plots ranged between 40 and 60%. The main management activities carried out in each plot were formation pruning, shade regulation and phytosanitary pruning. For the sampling, the plots were delimited and divided into 10x10m quadrants, making a total of 50 quadrants per plot. Four trees were randomly selected from each quadrant, for a total of 200 trees. Each plant was marked and georeferenced using a differential global positioning system (Trimble SPS361) to locate and sample the same plants during the study. In each plant, samplings were performed by stratum (lower, middle and upper), taking four branches from each of them (one for each cardinal point). Three random leaves

La Geoestadística es un conjunto de herramientas y técnicas que sirven para analizar y predecir valores de una variable que se muestra distribuida en el espacio o en el tiempo de una forma continua; utilizando esta herramienta para el estudio de problemas fitosanitarios. Todo trabajo geoestadístico tiene tres etapas; 1. Análisis exploratorio de los datos. Se estudian los datos muestrales sin tener en cuenta su distribución geográfica. 2. Análisis estructural. Estudio de la continuidad espacial de la variable. 3. Predicciones. Estimaciones de la variable en los puntos no muestrales (Moral, 2004). El objetivo del estudio fue recolectar datos que determinaron la distribución espacial y densidad poblacional de *M. citricolor*, en cultivos de café en el Estado de México y así comprender el proceso epidemiológico de la enfermedad.

La investigación se llevó a cabo en el municipio de Amatepec, ubicado en el extremo sur de la porción occidental del Estado de México. Se seleccionaron seis parcelas de café arábico (Typica y Caturra) con una edad de 10 a 20 años, un área promedio de 5000 m²; el porcentaje de sombra de las parcelas fue en un rango de 40-60%. Las principales actividades de manejo desarrolladas en cada parcela fueron: poda de formación, regulación de sombra y podas fitosanitarias. Para el muestreo las parcelas fueron delimitadas y divididas en cuadrantes de 10x10m obteniendo un total de 50 cuadrantes por parcela, de los cuales se tomaron cuatro árboles al azar, para tener un total de 200 árboles. Cada planta fue marcada y georreferenciada mediante un sistema de posicionamiento global diferencial (DGPS), modelo Trimble SPS361; para ubicar y muestrear las mismas plantas durante la investigación. En cada planta los muestreos se realizaron por estrato (bajo, medio y alto) y de cada uno de ellos se seleccionaron cuatro ramas (una por cada punto cardinal); de cada rama se evaluaron tres hojas al azar. La incidencia de ojo de gallo se determinó con

from each branch were evaluated. The incidence of rooster's eye was determined based on the number of leaves that presented symptoms of the disease, compared to the total number of leaves on each branch. The evaluations were carried out every 14 days from September 2020 to February 2021.

The kurtosis and the coefficient of variation of the obtained data were evaluated to verify their normality. Once the database was integrated, a geostatistical analysis was carried out. It began by obtaining the experimental semivariogram of the incidence of the disease found during the study. The experimental semivariograms, which were computed using the Variowin 2.2 software (Springer Verlag, NY) (Maldonado *et al.*, 2017), were adjusted to spherical, Gaussian, exponential, pure nugget effect, logarithmic, monomic and hole-effect theoretical models. The plateau, range and nugget effect parameters of these models were modified manually to mathematically validate the adjusted models using validation statistics such as Mean Estimation Errors (MEE), Mean Square Error (ECM) and Dimensionless Mean Square Error (MCE) (Rivera-Martínez *et al.*, 2017).

The experimental values of the semivariograms were calculated using the following expression (Journel and Huijbregts 1978; Isaaks and Srivastava 1989):

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

Where: $\gamma^*(h)$ is the experimental value of the semivariogram for the distance interval h ; $N(h)$ is the number of pairs of sampled points separated by the distance interval h ; $z(x_i)$ is the value of the variable of interest at the sample point x_i ; $z(x_i+h)$ is the value of the variable of interest at the sample point x_i+h .

base al número de hojas que presentaron síntomas de la enfermedad, con respecto al total de hojas en cada rama; las evaluaciones se realizaron cada 14 días de septiembre 2020 a febrero 2021.

A los datos adquiridos se les aplicó los parámetros estadísticos Curtosis y el coeficiente de variación para verificar su normalidad, se detectó normalidad en ellos. Una vez integrada la base de datos, se realizó un análisis geoestadístico, se inició con la obtención del semivariograma experimental a partir de la incidencia recabada en la investigación con el programa Variowin 2.2 (Software for spatial data analysis en 2D. Springer Verlag, NY) (Maldonado *et al.*, 2017). Los semivariogramas experimentales se ajustaron a modelos teóricos, los cuales son esféricos, gaussianos, exponenciales, de efecto pepita puro, logarítmicos, monómicos y de efecto agujero, donde los parámetros de meseta, rango y efecto pepita se modifican manualmente hasta obtener estadísticos de validación que sean adecuados y permitan aprobar matemáticamente los modelos ajustados, tales como la Media de los Errores de Estimación (MEE), Error Cuadrático Medio (ECM) y Error Cuadrático Medio Adimensional (ECMA) (Rivera-Martínez *et al.*, 2017).

El valor experimental del semivariograma fue calculado con la siguiente expresión (Journel y Huijbregts 1978; Isaaks y Srivastava 1989):

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

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

The maps were elaborated by interpolating values through ordinary Kriging, an interpolation technique that allows for the unbiased estimation of non-sampled points. Density maps were then prepared with the Surfer 16.0 software (Surface Mapping System). This software was also used to determine the infected surface in the maps to establish where the disease was actually present within the study plots (Rivera-Martínez *et al.*, 2017). The incidence of rooster's eye was associated with climatic conditions such as temperature, relative humidity and dew point, which were determined using a climatic sensor and data logger HOBO ProV2.

Seventy-two semivariograms were calculated in the present study. They showed that the disease rooster's eye had an aggregated spatial distribution that fitted Gaussian and spherical models in most plots, except for plots 1 and 3, for which the semivariograms of February and November fitted an exponential model (Table 1). Martínez *et al.* (2021) described spherical models, which indicate that the populations are present in greater quantity in certain areas of the plot compared to the rest of the sampled points, and that the aggregation centers are random. A Gaussian model indicates that the aggregation behavior occurs continuously within the plots, which means that the fungus disperses to nearby individuals and not to those that are further away. The adjusted parameters that allowed validating the models were the range, which is the degree of correlation between the sampled data; starts at 11,517 ending at 19.84 for the 6 plots. In all models, the nugget effect was equal to zero, which according to Twizeyimana *et al.* (2008) indicates a high level of aggregation of the incidence of the disease, and also that the sample size used in the study was sufficient and the sampling error minimal. In all the samples, there was a high spatial dependence between the

La elaboración de mapas se realizó al utilizar la interpolación de valores a través del kriging ordinario que es una técnica de interpolación que permite la estimación no sesgada de puntos no muestreados. Una vez obtenido el kriging se elaboraron los mapas de densidad con el programa Surfer 16.0 (SurfaceMappingSystem). Finalmente se determinó la superficie infectada para conocer en donde realmente existía la presencia de la enfermedad dentro de las parcelas de estudio, a través de los mapas elaborados, al emplear el programa Surfer 16.0 (SurfaceMappingSystem) (Rivera-Martínez *et al.*, 2017). Se relacionó la incidencia de ojo de gallo con las condiciones climáticas, temperatura, humedad relativa y punto de rocío; obtenidas de sensores climáticos datta loggers HOBO ProV2.

En la investigación se realizaron 72 semivariogramas, los cuales muestran que la enfermedad ojo de gallo presentó una distribución espacial en forma agregada, adecuándose a modelos de tipo gaussiano y esférico en la mayoría de las parcelas; excepto para las parcelas 1 y 3, en los meses de febrero y noviembre correspondientemente, presentaron un modelo de tipo exponencial (Cuadro 1). Martínez *et al.* (2021) describieron modelos de tipo esférico los cuales indica que las poblaciones se presentan en mayor cantidad en ciertas zonas de la parcela respecto al resto de puntos considerados en el muestreo y que los centros de agregación son aleatorios; el modelo gaussiano es indicativo de que el comportamiento de agregación se da de forma continua dentro de las parcelas, indica que el hongo se dispersa a individuos que se encuentren cercanos y no a aquellos más lejanos. Los parámetros ajustados que permitieron validar los modelos, fueron el rango que es el grado de correlación entre los datos muestreados; inicia en 11.517 hasta 19.84 para las seis parcelas. El efecto pepita para todos los modelos, es igual a cero, que de acuerdo con Twizeyimana *et al.* (2008), puede ser explicado

Table 1. Parameters of the semivariogram of the incidence per plot of *Mycena citricolor* between September 2020 and February 2021 in the municipality of Amatepec, State of Mexico.**Cuadro 1. Parámetros del semivariograma de los muestreos por parcela de *Mycena citricolor* de septiembre 2020 a febrero 2021 del municipio de Amatepec, Edo. de México.**

Muestreo	Media	Varianza	Modelo	Pepita	Meseta	Rango	Pepita/ Meseta	Dependencia Espacial
Parcela 1								
Sep-1 ^z	4.10	15.33	Gaussiano	0	12.64	11.52	0	Alta
Sep-2	4.22	14.41	Esférico	0	10.95	17.92	0	Alta
Oct-1	4.38	14.17	Gaussiano	0	11.99	11.52	0	Alta
Oct-2	4.19	12.97	Gaussiano	0	10.66	10.88	0	Alta
Nov-1	4.08	13.59	Gaussiano	0	11.06	15.36	0	Alta
Nov-2	4.06	12.19	Esférico	0	11.05	14.08	0	Alta
Dic-1	3.77	11.10	Esférico	0	9.12	17.28	0	Alta
Dic-2	3.68	10.12	Esférico	0	8.47	16.64	0	Alta
Ene-1	3.54	9.88	Esférico	0	9.20	19.84	0	Alta
Ene-2	3.83	9.09	Gaussiano	0	8.46	12.8	0	Alta
Feb-1	3.63	8.70	Exponencial	0	8.44	9.60	0	Alta
Feb-2	3.48	7.38	Gaussiano	0	7.10	13.44	0	Alta
Parcela 2								
Sep-1	8.45	34.69	Esférico	0	27.99	16.64	0	Alta
Sept-2	8.43	32.86	Esférico	0	27.39	16.00	0	Alta
Oct-1	8.80	30.07	Esférico	0	25.80	10.88	0	Alta
Oct-2	9.02	33.48	Esférico	0	27.54	16.00	0	Alta
Nov-1	8.56	29.43	Esférico	0	23.51	18.07	0	Alta
Nov-2	8.37	27.97	Esférico	0	23.54	15.36	0	Alta
Dic-1	8.02	23.75	Esférico	0	20.16	14.72	0	Alta
Dic-2	7.79	21.33	Esférico	0	17.60	17.28	0	Alta
Ene-1	7.48	17.64	Esférico	0	15.12	14.72	0	Alta
Ene-2	7.17	14.11	Esférico	0	11.85	17.28	0	Alta
Feb-1	6.95	11.61	Esférico	0	10.08	9.60	0	Alta
Feb-2	6.64	9.75	Esférico	0	8.53	16.00	0	Alta
Parcela 3								
Sep-1	8.72	53.19	Esférico	0	45.29	17.92	0	Alta
Sept-2	8.97	51.49	Esférico	0	44.72	14.72	0	Alta
Oct-1	8.94	48.87	Esférico	0	43.61	14.72	0	Alta
Oct-2	8.83	46.09	Gaussiano	0	37.72	11.52	0	Alta
Nov-1	8.67	44.13	Esférico	0	36.96	15.36	0	Alta
Nov-2	8.42	40.10	Exponencial	0	38.40	10.88	0	Alta
Dic-1	8.24	36.90	Esférico	0	31.82	15.36	0	Alta
Dic-2	8.06	33.92	Gaussiano	0	29.92	10.88	0	Alta
Ene-1	7.61	29.68	Esférico	0	24.90	14.72	0	Alta
Ene-2	7.23	25.32	Esférico	0	21.84	9.60	0	Alta
Feb-1	6.89	21.69	Esférico	0	17.60	10.88	0	Alta
Feb-2	6.57	18.19	Esférico	0	14.63	10.24	0	Alta
Parcela 4								
Sep-1	9.77	51.70	Esférico	0	44.72	16.38	0	Alta
Sept-2	9.55	45.65	Esférico	0	39.10	9.45	0	Alta
Oct-1	9.42	42.79	Esférico	0	37.41	15.75	0	Alta
Oct-2	9.27	39.47	Esférico	0	33.85	14.49	0	Alta
Nov-1	9.02	35.61	Esférico	0	30.60	10.71	0	Alta

Table 1. Continues.
Cuadro 1. Continúa.

Muestreo	Media	Varianza	Modelo	Pepita	Meseta	Rango	Pepita/ Meseta	Dependencia Espacial
Nov-2	8.78	31.50	Esférico	0	26.56	9.43	0	Alta
Dic-1	8.50	27.92	Gaussiano	0	24.08	8.19	0	Alta
Dic-2	8.37	26.02	Gaussiano	0	21.58	8.19	0	Alta
Ene-1	8.14	23.09	Esférico	0	20.15	9.45	0	Alta
Ene-2	8.02	21.26	Esférico	0	18.70	10.71	0	Alta
Feb-1	7.90	20.20	Esférico	0	17.43	10.08	0	Alta
Feb-2	7.63	17.76	Esférico	0	16.20	15.12	0	Alta
Parcela 5								
Sep-1	10.95	48.13	Esférico	0	41.76	14.08	0	Alta
Sept-2	10.80	44.57	Gaussiano	0	39.15	10.88	0	Alta
Oct-1	10.54	40.93	Esférico	0	34.12	14.72	0	Alta
Oct-2	10.24	37.19	Esférico	0	33.44	10.24	0	Alta
Nov-1	10.05	34.04	Esférico	0	28.90	14.18	0	Alta
Nov-2	9.76	30.58	Esférico	0	25.04	14.72	0	Alta
Dic-1	9.35	27.25	Esférico	0	22.96	10.88	0	Alta
Dic-2	9.20	26.86	Esférico	0	22.68	8.96	0	Alta
Ene-1	8.96	23.86	Esférico	0	20.40	10.24	0	Alta
Ene-2	8.71	21.19	Esférico	0	18.26	9.60	0	Alta
Feb-1	8.33	18.021	Esférico	0	15.48	8.96	0	Alta
Feb-2	8.03	15.62	Gaussiano	0	13.44	10.88	0	Alta
Parcela 6								
Sep-1	11.79	49.90	Gaussiano	0	41.11	10.88	0	Alta
Sept-2	11.39	45.10	Gaussiano	0	39.60	10.88	0	Alta
Oct-1	11.10	41.39	Gaussiano	0	34.44	10.88	0	Alta
Oct-2	10.95	38.59	Gaussiano	0	33.54	10.88	0	Alta
Nov-1	10.62	35.29	Esférico	0	31.65	14.09	0	Alta
Nov-2	10.68	34.09	Esférico	0	28.22	14.72	0	Alta
Dic-1	10.44	31.58	Esférico	0	28.16	13.44	0	Alta
Dic-2	10.04	27.67	Esférico	0	24.36	14.72	0	Alta
Ene-1	9.57	23.55	Esférico	0	21.36	10.88	0	Alta
Ene-2	9.28	20.72	Esférico	0	19.32	13.78	0	Alta
Feb-1	9.01	18.33	Esférico	0	17.10	14.08	0	Alta
Feb-2	8.80	17.51	Esférico	0	16.38	14.08	0	Alta

^z1) First sampling, 2) Second sampling. / ^z1) Primer muestreo, 2) Segundo muestreo.

data, which reflects that the data were associated with each other in a highly significant way (Rossi *et al.*, 1992). The data obtained showed that the aggregation of the incidence of rooster's eye is strongly stable (Maldonado *et al.*, 2017).

como un alto nivel de agregación de la incidencia de la enfermedad, también es un indicativo que el tamaño muestral utilizado en el estudio es suficiente y el error muestral es el mínimo. En todos los muestreos, existe una dependencia espacial alta

In the present study, maps were generated through ordinary kriging to estimate the percentages of infected surface and the values associated with non-sampled points. The 72 maps of the infected surface show the presence of *M. citricolor* in different coffee plots of the municipality of Amatepec (Figure 1). They show that the rooster's eye disease was distributed in central aggregation points, which were constant in all the samplings, indicating that the disease was latently but persistently present in the plots, awaiting the appropriate environmental conditions to spread. In the months of September, October, November and December, the points of aggregation of eye of the rooster were more pronounced but decreased from the month of January. This is due to the decrease of humidity and dew point temperature in the plots during these months (Figure 2). Cardenas *et al.* (2017) pointed out that the semivariograms and the maps generated through Kriging allow to identify foci of infection. They suggest that Geostatistics can explain the spatial arrangement of crop diseases and thus help develop accurate and comprehensive management strategies.

A key element of precision agriculture is the determination of the areas in need of management. For this, it is important to know which areas are infected and the percentage they represent of the total surface (Ramírez and Porcayo, 2009). In the present study, the percentage of infection for the six plots (Table 2) ranged between 64% and 85%. The months from September to December showed higher incidence of infection due to the change in climatic conditions (Figure 2) such as temperature, which averages 20 °C during these months. Campos (2010) mentioned that rooster's eye thrives under relatively cool temperature conditions between 17 and 22 °C, compared to the temperatures required by other fungi that attack coffee plants. Relative humidity was 88% in September, 91% in October,

entre los datos, que nos refleja que los datos están asociados entre sí de una manera altamente significativa (Rossi *et al.*, 1992), con los datos obtenidos se observa que las agregaciones presentadas por ojo de gallo son fuertemente estables (Maldonado *et al.*, 2017).

En este trabajo se generaron mapas a través del kriging ordinario, para estimar los porcentajes de superficie infectada y los valores asociados a puntos no muestreados. Los 72 mapas obtenidos de la superficie infectada muestran la presencia de *M. citricolor* en las diferentes parcelas del municipio de Amatepec (Figura 1); mostró que ojo de gallo está distribuida en puntos centrales de agregación, los cuales se conservaron durante todos los muestreos, mostrando que la enfermedad está localizada en las parcelas de manera constante y latente que espera las condiciones ambientales adecuadas para incrementar. En los meses de septiembre, octubre, noviembre y diciembre se observa que los puntos de agregación de ojo de gallo son más pronunciados y disminuyeron a partir del mes de enero; esto se debió a que la humedad y el punto de rocío presente en las parcelas se reducen en estos meses (Figura 2). Cárdenas *et al.* (2017), señalan que los semivariogramas y los mapas generados a través del kriging permiten identificar focos de infección de las enfermedades, y, a su vez, sugiere que la Geostatística es una herramienta que puede explicar la disposición espacial que siguen las enfermedades de los cultivos, y de esta manera poder ayudar a tomar decisiones acertadas y oportunas, que ayudan a originar estrategias de manejo integral.

Una de las bases de la agricultura de precisión es determinar las áreas con necesidad de manejo. Para ello es importante conocer las áreas infectadas y el porcentaje que representan del total de la superficie (Ramírez y Porcayo, 2009). El porcentaje de infección para las seis parcelas (Cuadro 2) oscila entre 64% de infección como mínima y el

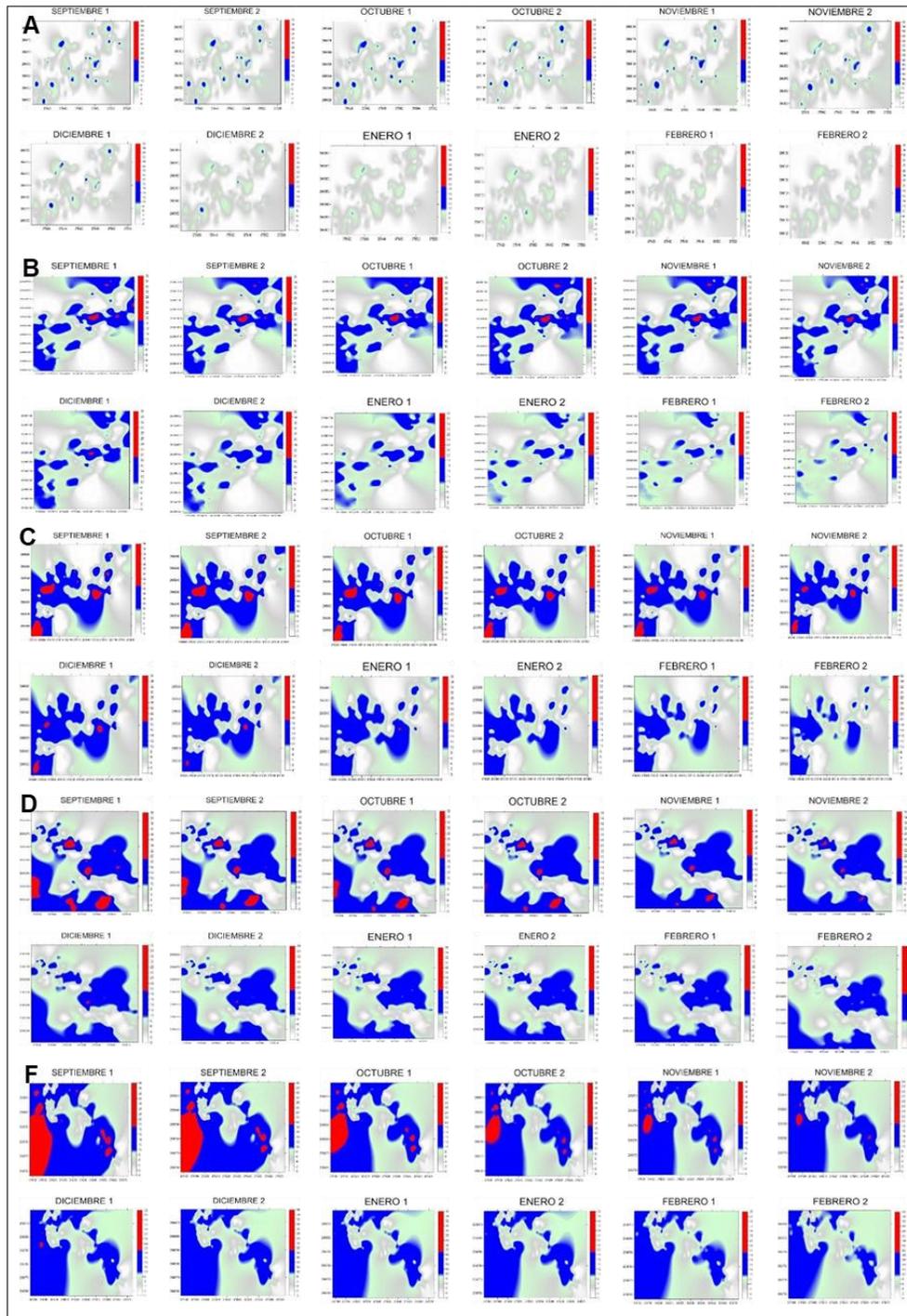


Figure 1. Maps of rooster's eye infection in coffee plantations in the municipality of Amatepec, State of Mexico. (A) plot 1,

(B) plot 2, (C) plot 3, (D) plot 4, (E) plot 5 and (F) plot 6.

Figura 1. Mapas de infección de ojo de gallo en cafetales del municipio de Amatepec, Edo. de México. (A) parcela 1, (B) parcela 2, (C) Parcela 3, (D) parcela 4, (E) parcela 5 y (F) parcela 6.

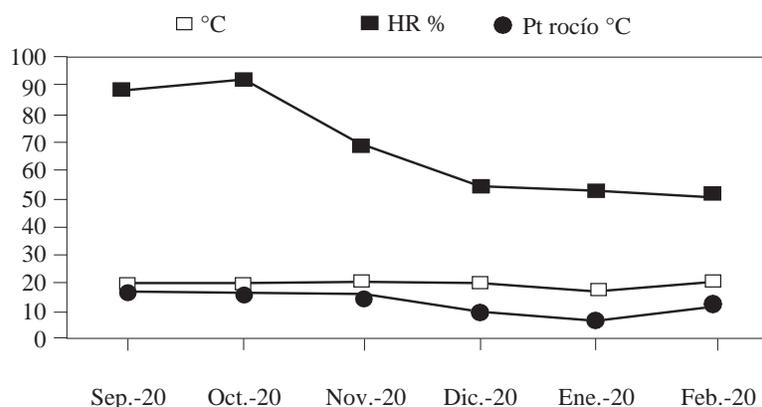


Figure 2. Climatic conditions (Temperature °C, Relative Humidity RH % and Dew Point °C) during the evaluation months, from September 2020 to February 2021 in the municipality of Amatepec, State of Mexico.

Figura 2. Condiciones climáticas (Temperatura °C, Humedad relativa HR % y Punto de Rocío Pt Rocío °C) de los meses de evaluación, septiembre 2020 a febrero 2021 en el municipio de Amatepec, Edo. De México.

70% in November and 55% in December, with dew point temperatures of 10.9, 18.6 and 13.9 °C. Granados (2015) mentioned that the development of the epidemic depends on the seasonal fluctuation of rainfall and relative humidity. It is particularly favored by humidity values above 80%. For this reason, the months of September and October have a greater incidence of the disease. Once the rains start, the number of diseased leaves and the number of lesions increase rapidly. The incidence of the disease does not decrease in January and February because the temperature and the dew point remain within suitable ranges. It is worth remembering that a strong dew allows the disease to continue its development, even in a dry period (Waller *et al.*, 2007). The percentage of shade is another of the important parameters since no pruning is carried out in some plots. Rivillas and Castro (2011) mention that coffee cultivation must have a rational distribution of shade, so that it does not affect the availability of light for coffee plants or intercept solar radiation. Shade should not affect the photosynthetic processes of the plant

85% como máxima. Se observa que los meses de septiembre a diciembre tiene mayor incidencia de infección, esto debido a las diferentes condiciones climáticas presentes en el municipio (Figura 2); como fue la temperatura que presentó una media de 20 °C. Campos (2010) menciona, que el ojo de gallo prospera bajo condiciones de temperatura relativamente frescas comprendidas entre 17 – 22 °C, en comparación con la requerida por otros hongos que atacan plantas de café. Por su lado la humedad relativa mostró valores de 88% para septiembre, 91% para octubre, noviembre con 70% y diciembre 55%; finalmente se percibió un punto de rocío 10.9, 18.6 y 13.9 °C. Granados (2015) mencionan que el desarrollo de la epidemia depende de la fluctuación estacional de la lluvia y la humedad relativa, sobre todo de que la humedad se mantenga superior al 80%; por esta razón los meses de septiembre y octubre tienen mayor presencia de infección de la enfermedad. Una vez que las lluvias inician, el número de hojas enfermas y el número de lesiones aumentan rápidamente. Para enero y febrero el porcentaje de la incidencia no disminuyó, esto debido

Table 2. Surface infected with *Mycena citricolor* from September 2020 to February 2021 in the the municipality of Amatepec, State of Mexico.
Cuadro 2. Superficie infectada de *Mycena citricolor* de septiembre del 2020 a febrero del 2021; del municipio de Amatepec, Edo. de México.

A)			B)			C)		
Muestreo	Superficie infectada %	Superficie no infectada %	Muestreo	Superficie infectada %	Superficie no infectada %	Muestreo	Superficie infectada %	Superficie no infectada %
Sep-1	68	32	Sep-1	74	26	Sep-1	76	24
Sept-2	69	31	Sept-2	75	25	Sept-2	77	23
Oct-1	70	30	Oct-1	75	25	Oct-1	77	23
Oct-2	70	30	Oct-2	75	25	Oct-2	77	23
Nov-1	71	29	Nov-1	76	24	Nov-1	78	22
Nov-2	72	28	Nov-2	76	24	Nov-2	78	22
Dic-1	67	33	Dic-1	75	25	Dic-1	78	22
Dic-2	66	34	Dic-2	74	26	Dic-2	76	24
Ene-1	66	34	Ene-1	74	26	Ene-1	75	25
Ene-2	65	35	Ene-2	73	27	Ene-2	75	25
Feb-1	65	35	Feb-1	72	28	Feb-1	74	26
Feb-2	64	36	Feb-2	72	28	Feb-2	73	27

D)			E)			F)		
Muestreo	Superficie infectada %	Superficie no infectada %	Muestreo	Superficie infectada %	Superficie no infectada %	Muestreo	Superficie infectada %	Superficie no infectada %
Sep-1	77	23	Sep-1	84	16	Sep-1	75	25
Sept-2	77	23	Sept-2	84	16	Sept-2	76	24
Oct-1	77	23	Oct-1	84	16	Oct-1	76	24
Oct-2	78	22	Oct-2	85	15	Oct-2	76	24
Nov-1	78	22	Nov-1	85	15	Nov-1	76	24
Nov-2	78	21	Nov-2	85	15	Nov-2	77	23
Dic-1	77	23	Dic-1	83	17	Dic-1	75	25
Dic-2	77	23	Dic-2	83	17	Dic-2	74	26
Ene-1	75	25	Ene-1	82	18	Ene-1	74	26
Ene-2	75	25	Ene-2	82	18	Ene-2	74	26
Feb-1	75	25	Feb-1	81	19	Feb-1	73	27
Feb-2	74	26	Feb-2	80	20	Feb-2	72	28

or increase the humidity of the crop. But shade modifies the microclimate and increases the number of ecological niches in coffee plantations, which favors the establishment and development of the rooster's eye disease. By reducing the speed of the wind, shading elements can lead to an increase in the relative humidity of the air. The fact that some shading plants are alternate hosts of the pathogen

a que la temperatura y el punto de rocío continúan entre los rangos permitidos; ya que un fuerte rocío permite que la enfermedad continúe su desarrollo, aun en período seco (Waller *et al.*, 2007). El nivel de sombreado es otro de los parámetros importantes, debido a que en algunas parcelas no se realiza ningún tipo de podas; Rivillas y Castro (2011) mencionan que el cultivo de café debe tener

(Granados, 2015) could explain why the infection surface was larger in some of the plots (4, 5 and 6) evaluated in the present study. Another factor that can help explain the incidence of the disease is the altitude (geographical factor) of the municipality under study, which is 1800 meters above sea level. According to Condori (2021), there is a direct relationship between altitude and incidence of this disease, that is, the incidence is higher in high areas and lower in low areas. Finally, the cultivation of different coffee varieties is an important factor in the incidence of the disease, since some varieties are more vulnerable to attack by rooster's eye (Santacreo, 2001).

In conclusion, the rooster's eye disease in coffee (*C. arabica*) showed a spatial distribution that fitted Gaussian and spherical models. This explains the spatial behavior of *M. citricolor*, which was distributed in aggregates, with some specific aggregation points that did not change in the months sampled, even though they partially decreased due to the changes in climatic conditions. Geostatistics has proven to be one of most effective methods to analyze the spatial distribution of crop diseases, which in turn facilitates making appropriate, pertinent and timely decisions on integrated management.

ACKNOWLEDGMENTS

To the National Council of Science and Technology for the scholarship granted to carry out my Postgraduate studies. To the coffee producers of the municipality of Amatepec for their willingness to collaborate to carry out the present investigation. Special thanks to my parents Adalberto Pino and Audelia Miranda.

CITED LITERATURE

Avelino J, Toledo J y Medina B. 1995. Desarrollo del ojo de gallo (*Mycena citricolor*) en una finca del norte de Guatemala y evaluación de los daños provocados por esta enfermedad.

una distribución racional del sombrío, de manera que este no afecte la disponibilidad de luz para las plantas de café ni intercepte la radiación solar, sin afectar los procesos fotosintéticos de la planta, ni aumentar la humedad del cultivo. La sombra modifica el microclima e incrementa los nichos ecológicos en los cafetales, lo que favorece el establecimiento y desarrollo del ojo de gallo, así también, al disminuir la velocidad del viento, promueve mayor humedad relativa del aire y también el hecho de que algunas especies de sombra son huéspedes alternos del patógeno (Granados, 2015); esto podría explicar por qué en las parcelas (4, 5 y 6) del presente trabajo, la superficie de infección es mayor. Otro factor que podría aclarar la incidencia de la enfermedad es la altitud (factor geográfico) con la que cuenta el municipio, que es de 1800 msnm, que de acuerdo a Condori (2021) cita que existe una relación directa entre altitud e incidencia de esta enfermedad, es decir en zonas altas la incidencia es mayor y en zonas bajas la incidencia es menor. Por último, el uso de variedades de café es una causa importante en la incidencia de la enfermedad, ya que existen variedades más vulnerables al ataque por ojo de gallo (Santacreo, 2001).

En conclusión, la enfermedad ojo de gallo en café (*C. arabica*) presentó una distribución espacial que se ajustó a modelos gaussiano y esférico; que permite explicar un comportamiento espacial en agregados de *M. citricolor*, con algunos puntos de agregación específicos en las parcelas que no se mueven en los meses muestreados, aun que disminuyen parcialmente debido a las condiciones climáticas que se presentan en las áreas muestreadas. La geoestadística ha demostrado ser uno de los métodos utilizados en el sector agrícola para analizar de manera efectiva la distribución espacial de las enfermedades de los cultivos, lo que a su vez facilita la toma de decisiones adecuadas, pertinentes y oportunas sobre el manejo integrado.

- XVI Simposio de Caficultura Latinoamericana. Managua, Nicaragua. 25- 29 de octubre 1993.
- Campo AO. 2010. Manejo integrado del Ojo de gallo *Mycena citricolor*. El cafetal: La revista del caficultor. 31 p
- Cárdenas PNJ, Darghan CAE, Sosa RMD y Rodríguez A. 2017. Análisis espacial de la incidencia de enfermedades en diferentes genotipos de cacao (*Theobroma cacao* L.) en El Yopal (Casanare), Colombia. Acta Biológica Colombiana 22: 209-220. <https://doi.org/10.15446/abc.v22n2.61161>
- CENICAFE. 2011. Ojo de gallo o gotera del cafeto *Omphalia flavida*. Centro Nacional de Investigación de Café (CENICAFE). Chinchiná, Caldas, Colombia.
- Condori CP. 2021. Incidencia de daño de enfermedades asociadas al cultivo del cafeto (*Coffea arabica* L.) en los valles de tambopata y alto Inambari. Universidad Nacional Del Altiplano Facultad de Ciencias Agrarias Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica.
- Gómez-Campo K, Rueda M y García-Valencia C. 2010. Distribución espacial, abundancia y relación con características del hábitat del caracol pala eustrombus gigas (linnaeus) (mollusca: Strombidae) en el archipiélago nuestra señora del rosario, caribe colombiano. Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras 39(1): 137-159. <https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.2010.39.1.146>
- Granados-Montero MDM, Avelino J, Arauz-Cavallini F, Castro-Tanzi S y Ureña N. 2020. Hojarasca e inóculo de *Mycena citricolor* sobre la epidemia de ojo de gallo. Agronomía Mesoamericana 77-94. <https://doi.org/10.15517/am.v31i1.36614>
- Granados-Montero M. 2015. Estudio de la epidemiología y alternativas de manejo agroecológico del ojo de gallo (*Mycena citricolor*) en cafeto bajo sistemas agroforestales en Costa Rica. 256.
- Isaaks E and Srivastava M. 1988. Spatial continuity measures for probabilistic and deterministic geostatistics. Mathematical Geology 20(4): 313-341. <https://doi.org/10.1007/BF00892982>
- Journel A and Huijbregts CJ. 1978. *Mining geostatistics*. London, United Kingdom: Academic Press.
- Maldonado FI, Ramírez JF, Lara AV, Acosta DA, Rivera R y Rodríguez TA. 2017. Mapeo de la distribución espacial de trips (Insecta: Thysanoptera) en parcelas comerciales de aguacate Var. Hass en Coatepec Harinas, Estado de México. Ecosistemas 26(2): 52-60. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2017.26-2.06>
- Martínez-Martínez N, Ramírez-Dávila JF, Lara-Vázquez F y Figueroa-Figueroa DK. 2021. Distribución espacial de muérdago enano en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca. Colombia Forestal 24(2): 65-81.
- Moral García F. 2004. Aplicación de la geoestadística en las ciencias ambientales: Ecosistemas 13(1). <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/582>
- Ramírez-Dávila J y Porcayo-Camargo E. 2009. Comportamiento espacial de las larvas del mosquito verde *Jacobiasca lybica* en un viñedo de secano en Andalucía, España. CIENCIA Ergo-Sum 16(2): 164-170.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca otorgada para realizar los estudios de Posgrado. A los productores de café del municipio de Amatepec por su disposición y colaboración para poder realizar la investigación. Dedicado especialmente a mis padres Adalberto Pino y Audelia Miranda

~~~~~ Fin de la versión en Español ~~~~~

- Rivera-Martínez R, Acosta-Guadarrama AD, Ramírez-Dávila JF, Figueroa-Figueroa DK, Maldonado-Zamora FI y Lara-Díaz AV. 2017. Distribución espacial de las poblaciones de adultos de *Bactericera cockerelli* Sulc. 1 en el cultivo de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). Southwestern Entomologist 42(4): 1057-1068.
- Rivillas C y Castro Á. 2011. Ojo de gallo o gotera del cafeto. Cenicafe 24. [www.cenicafe.org/es/publications/bot037.pdf](http://www.cenicafe.org/es/publications/bot037.pdf)
- Rossi, R., J. Mulla, G. Journel, and H. Franz. 1992. Geostatistical tools for modeling and interpreting ecological spatial dependence. Ecol. Monographs 62: 277-314.
- Santacreo R. 2001. Variedades y mejoramiento genético del café. In Manual de caficultura. 3ed. IHCAFE. Tegucigalpa M.D.C., Honduras. p. 23-40. SENASICA. 2014. Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. 49: 3-8 (consultado marzo 2021, Ojo de gallo *Mycena citricolor* Berkeley & Curtis).
- SENASICA. 2017. Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. (consultado junio 2020).
- SENASICA. 2018. Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. <https://www.gob.mx/senasica>. (consultado junio 2021)
- SIAP. 2020. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. <https://www.gob.mx/fnd/articulos/mexico-y-el-cafe-organico?idiom=es>. (consultado marzo 2021)
- SIAP. 2021. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/667940/Escenario\\_cafe\\_ago21](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/667940/Escenario_cafe_ago21). (consultado marzo 2021)
- Twizemimana M, Ojiambo PS, Sonder k, Ikotun, T, Hartman GL and Bandyopadhyay R. 2008. Pathogenic variation of *Phakopsora pachyrhizi* infecting soybean in Nigeria. Phytopathology 99: 353-361. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-99-4-0353>.
- Waller JM, Bigger M and Hillocks RJ. 2007. Coffee Pests, Diseases and Their Management. Cabi International Series.434 p.

## 7.2 Convocatoria para la integración del libro: Café Mexiquense

**UAEM**  
La Universidad Autónoma del Estado de México

A través del  
Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales y del Cuerpo Académico  
de Producción de Cultivos Básicos y Hortícolas de la  
Facultad de Ciencias Agrícolas

**CONVOCAN**  
Al envío de capítulos para la integración del Libro:  
**Café Mexiquense**  
Conformación territorial y dimensiones productivas  
en el corredor cafetero del sur del Estado de México

**Objetivo**  
Integrar un libro colectivo con perspectiva multi, inter y transdisciplinaria de divulgación del conocimiento sobre aspectos de producción, distribución, beneficio, consumo y procesos socioterritoriales de la cadena de valor del café mexiquense.  
Se espera la participación de investigadores(as), alumnos(as) de posgrado, extensionistas, empresas, funcionarios públicos interesados en publicar un capítulo de libro en las siguientes líneas temáticas:

- Agronomía
- Economía
- Procesos de beneficio del café
- Consumo y consumidores
- Producción sustentable y ambiente
- Desarrollo local y políticas públicas
- Agroindustria, tecnología e innovación

**Requisitos**  
Anexar una breve ficha curricular de los autores/as, la cual deberá tener una extensión máxima de media cuartilla.  
Título en español con extensión máxima de 20 palabras sin sacrificio de claridad. Margen a doble espacio, con tipografía Arial de 12 puntos, márgenes de tres centímetros por lado, en hojas tamaño carta. Cada colaboración será sometida a revisión de pares y del programa IThenticate.

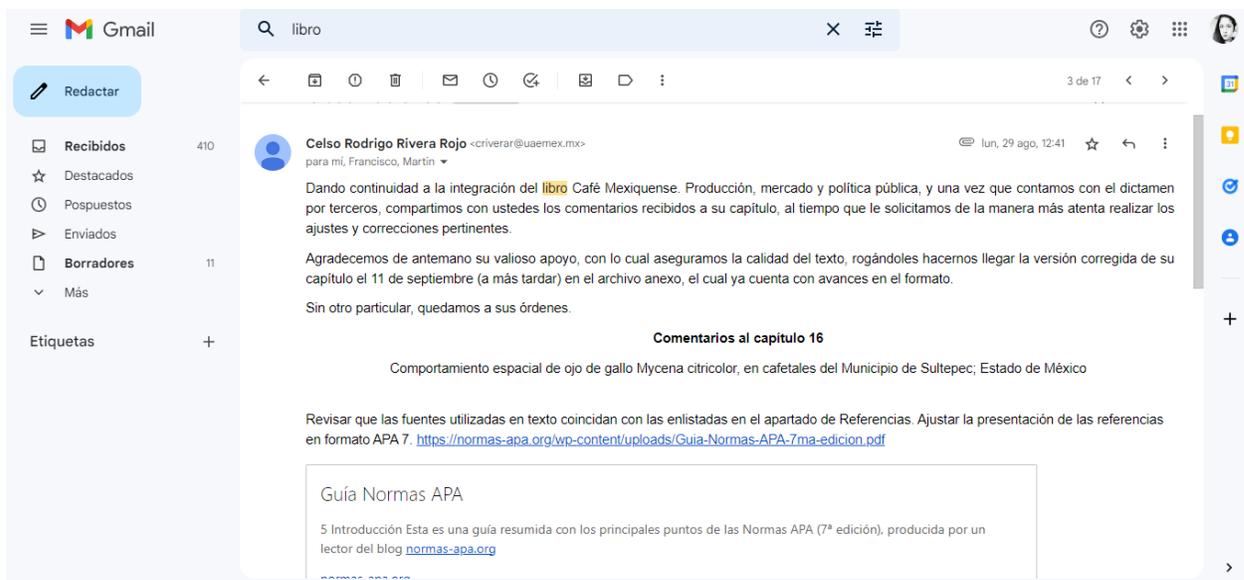
**El documento**  
El documento deberá contar con una extensión de entre 20 y 30 cuartillas incluyendo resumen (250 palabras máximo), de tres a cinco palabras clave, introducción, cuerpo, conclusiones y bibliografía.  
Entregar el respaldo electrónico correspondiente al correo: [Caf\\_edomex\\_invest@outlook.com](mailto:Caf_edomex_invest@outlook.com) en formato Microsoft Word (2004-2007, terminación .doc).  
Si el texto incluye tablas o gráficas, deberán entregarse también en archivos por separado, en su versión original.  
Si la obra incluye ilustraciones o fotografías, éstas deberán estar digitalizadas en formato JPG en resolución de 300 dpi.  
No incluir imágenes descargadas de internet o tomadas de obras impresas cuyo titular de los derechos no se tenga la autorización expresa.  
Si la obra incluye gráficas, cada una de éstas deberá incorporarse en el respaldo electrónico, en formato Excel, con la mención de la fuente de procedencia.  
Si la obra incluye cuadros, éstos deberán aparecer como tablas insertadas en el documento Word y no como imágenes escaneadas y pegadas. Igualmente, deberán mencionar la fuente de procedencia.  
Las notas al pie de página deberán formarse con sangría francesa y tener secuencia numérica: del mismo modo, deberán ubicarse en la página a que correspondan, o bien incluirse al final de cada capítulo.  
Las fuentes consultadas se ordenarán alfabéticamente al final del texto de la siguiente manera:  
En el caso de libros:  
Apellidos, Nombre (coord.) (año), Título de la obra / Subtítulo (separado del título por una diagonal), núm. de edición, Editorial-Institución, Ciudad, total de pp.  
En el caso de artículos:  
Apellidos, Nombre (año), "Título del artículo" en Nombre Apellidos (coord. / comp.), Título de la obra / Con su respectivo subtítulo o, en su caso, Título de la Revista o Periódico (obsérvese la diferencia en el uso de altas y bajas para los libros y las Publicaciones Periódicas), núm. de edición, fecha o periodo, Editorial / Coeditorial, Ciudad, pp. X-XX.  
En el caso de sitios de internet:  
"Título del artículo o sección" en Título del sitio donde se encuentra el artículo o sección, sitio web <http://goo.gl/5t4Di> [consultado el día de mes de año].  
Observación: desactivar las ligas electrónicas y de preferencia, auxiliarse de un acortador de direcciones, por ejemplo: <http://bitly.com> o <http://to.me>.  
Uniformar las citas textuales o transcripciones: cuando éstas sean de menos de cuatro líneas se colocarán entre comillas (") dentro del párrafo del texto principal; si son de cuatro o más líneas, se colocarán en párrafos a bando derecho y con un punto tipográfico menor al del cuerpo del texto.

**Coordenadores:**  
Francisco Herrera Tapia  
Martín Rubí Arriaga  
Celso Rodrigo Rivera Rojo  
Universidad Autónoma del Estado de México

**Fechas:**  
**Fechas de envío:**  
Del 21 de diciembre de 2021 al 10 de marzo de 2022  
**Fechas de dictamen:**  
Marzo-mayo de 2022  
**Proceso de edición:**  
Junio-noviembre de 2022  
**Fecha de publicación:**  
A partir de diciembre de 2022

**Contacto para envío de las contribuciones**  
[caf\\_edomex\\_invest@outlook.com](mailto:caf_edomex_invest@outlook.com)

El capítulo "Comportamiento espacial de ojo de gallo *Mycena citricolor*, en cafetales del Municipio de Sultepec; Estado de México", es un escrito para la integración del libro "Café Mexiquense. Producción, mercado y política pública".



## 7.2.1 Escrito original enviado al panel de encargados del libro.

### **Comportamiento espacial de ojo de gallo *Mycena citricolor*, en cafetales del Municipio de Sultepec; Estado de México**

**Esther Pino Miranda\*** estudiante de maestría en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, **José Francisco Ramírez Dávila\***, **Rodolfo Serrato Cuevas\***, **Jaime Mejía Carranza\*** Profesores e investigadores de la Facultad de Ciencias Agrícolas UAEMex., **Alejandra Barrera Rojas\*** estudiante de maestría en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales. Facultad de Ciencias Agrícolas, UAEM. Cerrillo Piedras Blancas s/n km 15 Carr. Toluca - Ixtlahuaca, entronque al Cerrillo, C.P. 50200; Toluca, Estado de México.

Autor de correspondencia: [jframirez@uaemex.mx](mailto:jframirez@uaemex.mx)

**INTRODUCCIÓN.** El café es una de las bebidas más populares del mundo, se dice que el café fue descubierto en Etiopía y llegó a México a finales del siglo XVIII. El café durante muchos años fue considerado una bebida prohibida debido a su color, y el sabor tan fuerte que lo caracteriza, fue hasta que se supo de los beneficios del café que fue aceptado como bebida de consumo (SADER, 2015).

México es considerado como uno de los principales países productores de café orgánico del mundo, destinando 3.24% del total de la superficie cultivada de este producto, exporta 28.000 toneladas, además de tener 15 estados productores de café; al sur del país, Chiapas es el principal estado productor, aporta aproximadamente 41 % del volumen nacional, seguido por Veracruz 24% y Puebla 15.3%. El país cuenta con un enorme potencial en la producción de café. De hecho, puede afirmarse que las condiciones ecológicas que se registran en las diferentes zonas productoras, le dan al país una vocación natural para el cultivo del aromático (SIAP, 2020). En el último par de años, el café mexiquense ha tenido un gran repunte, tanto en su producción como en su demanda. Actualmente, se registran cerca de 600 productores de café en la entidad, una superficie de alrededor de 531 hectáreas cultivadas Siendo los municipios de: San Simón de Guerrero, Tejupilco, Temascaltepec, Tlatlaya, Sultepec, Amatepec y Tepetlixpa, donde más se produce puesto que son lugares con las características necesarias para una producción orgánica (SIAP, 2021).

A pesar de la relevancia del café, en México los productores generalmente enfrentan una serie de problemas que afectan directamente sus condiciones de vida, la productividad y la calidad del café que producen. Debido a la diversidad de condiciones de cultivo del café, existen problemas de plagas y enfermedades que afectan de manera diferente a los productores, según cada estado, región o municipio de que se trate (Ejecutivo, 2015). Una de las dificultades fitosanitarias de los cafetos es provocada por la enfermedad comúnmente conocida como Ojo de gallo, ocasionada por el hongo *Mycena citricolor*, observándose en plantaciones localizadas en rangos altitudinales entre los 900 a 1700 metros sobre el nivel del mar, condiciones de alta humedad relativa y temperaturas entre 20-22 °C, favorecen un acelerado incremento de la enfermedad; esta inicia paralelamente a las lluvias. El hongo sobrevive en lesiones que se observan sobre las hojas maduras, esporádicamente en frutos enfermos que quedan en la planta, dichas lesiones son de formato circular de color gris ceniza, de aspecto seco y aproximadamente de medio centímetro de diámetro (Anacafé, 2017). El mecanismo exacto del desarrollo de la infección de *Mycena citricolor* no está claro, sin embargo, se considera que la

gema libera hacia la lámina foliar ácido oxálico que cambia el pH e induce la producción de enzimas que degradan las paredes celulares. Una vez establecido el hongo dentro de la planta, posiblemente utiliza el metabolismo de la misma para alimentarse, degradando la energía metabólica contenida en los carbohidratos de reserva, como sucede con otro tipo de hongos. Estudios preliminares de Vargas señalan que se requiere dos días desde la llegada de la gema a la lámina foliar hasta el desarrollo visual de la lesión, posteriormente entre 8 y 11 días para la formación de nuevas gemas con una temperatura diurna de 21.5°C y una nocturna de 18°C con 90% de humedad relativa y luminosidad de 760 lux (SENASICA, 2014).

Se tienen pocos datos de las pérdidas causadas por esta enfermedad. En Puerto Rico se estimaron pérdidas del 75% en algunas áreas. Posteriormente, en Costa Rica se estimó que, de las 110,000 hectáreas de café sembradas, entre 10 y 15% están afectadas por ojo de gallo, lo que representó pérdidas por 10 millones de dólares a la caficultura nacional. En Guatemala, se reporta una incidencia de 49%, las pérdidas primarias (primer año de aparición de la enfermedad) (SAGARPA, 2014).

En México, algunos cafetales se encuentran infectados con *Mycena citricolor*, con una incidencia del 30%. Las precipitaciones altas se asocian con la aparición del ojo de gallo, principalmente entre marzo y mayo. La enfermedad es monitoreada desde 2017 por el Programa de Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria del Estado de México (SENASICA, 2017).

La geoestadística se refiere al conjunto de técnicas estadísticas utilizadas para el estudio de variables numéricas distribuidas en el espacio. Para Journel y Huijbregts (1978), es simplemente la aplicación de la teoría de funciones aleatorias al reconocimiento y estimación de fenómenos naturales. La geoestadística se ha convertido en una herramienta útil para explicar la variación de propiedades en el espacio y su uso se ha generalizado recientemente donde se analizan hechos geográficos, debido a la posibilidad de conocer, entre otros, el rango de influencia de la propiedad, estimar su valor en sitios donde no existe información y, por último, calcular el error de la estimación efectuada (González, 2007). El estudio tuvo como

objetivo recolectar datos que permitieron comprender la distribución espacial y las densidades poblacionales de *Mycena citricolor*, en cultivos de café del Municipio de Sultepec; Estado de México.

**MATERIAL Y MÉTODO.** El estudio se realizó en el municipio de Sultepec, siendo uno de los principales productores de café ubicado al sur del Estado de México. El muestreo se conformó por 6 parcelas con un área de 5000m<sup>2</sup>, que contenían cafetos de las variedades Typica y Caturra, un sombreado que varió entre el 30 y 60% de la superficie total, en la mayoría de las parcelas el manejo de podas tanto en árboles de sombra como en los cafetos no se llevó a cabo, el tipo de producción de todas las parcelas fue convencional. Para la toma de muestras, las parcelas se dividieron en cuadrantes de diez por diez metros, obteniendo un total de cincuenta cuadrantes, de los cuales se seleccionaron cuatro árboles al azar, dando un total de 200 árboles, los cuales fueron marcados y georreferenciado con el Sistema de Posicionamiento Global Diferencial (DGPS) modelo Trimble SPS361, para ubicar y muestrear las mismas plantas durante el levantamiento de datos. Para el muestreo de la enfermedad Ojo de gallo se seleccionó una rama por punto base y de cada rama se tomaron tres hojas, esto se hizo en los estratos inferior, medio y superior de la planta, se muestrearon 12 hojas por estrato, para un total de 36 hojas por cafeto. Posteriormente, se indicó el número de hojas que presentaron la enfermedad y los datos recopilados se ingresaron en una base de datos. Este proceso se realizó cada 14 días desde septiembre del 2020 hasta febrero del 2021.

**Estadística clásica.** En la investigación se utilizaron los dos métodos que generalmente establecen la distribución espacial de los individuos, binomial negativa y Poisson e índices de dispersión (de Dispersión y de Green). El modelo binomial negativo negativos son probablemente las distribuciones más utilizadas para modelar fenómenos de agrupamiento, es decir, poblaciones infecciosas o agrupadas (Espinoza *et al*; 2019). Con los resultados obtenidos se obtuvo el tipo de distribución que presenta Ojo de gallo dentro de las parcelas. Posteriormente, los resultados obtenidos mediante estos métodos estadísticos clásicos se compararon con los obtenidos mediante estadística espacial.

**Análisis Geoestadísticos.** El análisis geoestadístico se conformó de los siguientes pasos: a) estimación de semivariograma; b) estimación de los parámetros de semivariograma; y c) estimación de la distribución espacial utilizando puntos a través de kriging (Esquivel y Jasso, 2014).

**Estimación del semivariograma.** Se llevó a cabo con los datos recopilados en los sitios de muestreo del Municipio. El valor experimental del semivariograma se calculó según la siguiente fórmula:(Isaaks y Srivastava, 1988).

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

Donde:  $\gamma^*(h)$  es el valor experimental del semivariograma para el intervalo de distancia  $h$ .  $N(h)$  es el número de pares de puntos muestrales separados por el intervalo de distancia  $h$ ;  $z(x_i)$  es el valor de la variable de interés en el punto muestreo  $x_i$ , y  $z(x_i + h)$  es el valor de la variable de interés en el punto muestral  $x_i + h$  (Esquivel y Jasso, 2014). Estimación del Semivariograma experimental de cada uno de los muestreos, se empleó el programa Variowin 2.2 (software para análisis de datos espaciales en 2D. Spring Verlag, Nueva York; USA.). El semivariograma experimental se adecuó a algún semivariograma teórico. Los modelos teóricos comúnmente usados para adecuar los semivariogramas experimentales son: esférico, exponencial, gaussiano, logarítmico, efecto pepita puro, efecto agujero y el monómico (Rivera *et al*; 2017).

**Validación del modelo teórico.** En este punto se estimaron las diferencias entre valores experimentales y estimados con los estadísticos de validación cruzada (Hevesi *et al.*, 1992; Isaaks y Srivastava, 1989). Los parámetros a validar fueron (efecto pepita, meseta y rango) se modificaron con el procedimiento de ensayo y error hasta obtener estadísticos de validación cruzada adecuados.

**Nivel de dependencia espacial.** Se calculó con el fin de determinar la fuerza de la relación entre los datos obtenidos en los muestreos. El valor se consigue al dividir el efecto pepita entre la meseta, expresado en porcentaje: menor a 25% es alta, entre 26 y 75% es moderada y superior al 76% bajo (Lara *et al*; 2018).

**Elaboración de mapas.** Se realizó mediante la interpolación de valores a través del “krigeado” 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 parcela muestreada utilizando el programa Surfer 16.0.(Surface Mapping System, Golden Software Inc. 809, 14th Street. Golden, Colorado 80401-1866. USA).

**Superficie infectada.** Para lograr esto, se utilizó el programa Surfer16.0. (Surface Mapping System, Golden Software Inc. 809, 14th Street. Golden, Colorado 80401-1866. USA). donde se obtuvo el porcentaje real y la superficie en la cual se encuentra la enfermedad dentro de los mapas elaborados.

**Ahorro económico.** Esta parte del ahorro económico se logró conociendo la superficie infecta por el hongo, realizando cálculos numéricos donde se elaboraron tablas donde se muestra la proporción de aplicaciones de agroquímicos en virtud al porcentaje real de infección. Asimismo, se realizó una estimación para lograr ahorros ecológicos al reducir el uso de químicos.

**RESULTADOS Y DISCUSIÓN:** A los datos obtenidos en los diferentes muestreos se les aplico métodos estadísticos clásicos y geoestadísticos para determinar el tipo de comportamiento espacial que presenta *Mycena citricolor* dentro de cada una de las parcelas monitoreadas. Los resultados obtenidos por cada método se discuten en una sección específica.

**Estadística clásica.** El cuadro 1 muestra el tipo de distribución espacial que presenta ojo de gallo en cada una de las parcelas muestreadas dentro del municipio de Sultepec; en el caso del apartado del índice de dispersión se observan valores superiores a uno en la mayoría de los muestreos realizados, de igual forma existen cifras menores a uno (coloreados en rojo), Ramírez y Figueroa (2013) indicaron en su estudio que se presenta una distribución agregada cuando se obtienen valores mayores a uno, pero al presentar valores inferiores indica una distribución espacial aleatoria. Para el índice de Green en las parcelas mostro valores mayores a cero (agregados) y valores igual a cero (aleatoriedad), los autores Malhado y Petreire

(2004) señalaron que este es el índice discreto más adecuado, sin embargo, tiene una desventaja, que no cuenta con varianza, lo que impide el cálculo de límites de significancia, y por lo tanto no es factible la representación de puntos agregados.

Con los modelos de distribución de Poisson (aleatorio) y Binomial negativa (agregados), se obtuvieron algunos resultados (coloreados en rojo) significativos (S) para ambos modelos indicando que se presentan ambas distribuciones para el mismo muestreo y en algunos otros no se ajustó (NA) para ninguno de los modelos. En los resultados coloreados en negro fueron no significativos (NS) para Poisson, pero significativos (S) para Binomial negativa indicando una distribución agregada en aquellos muestreos. Silva *et al.*, (2016) indica que el modelo binomial negativo es probablemente la distribución más utilizada para modelar fenómenos de agrupamiento (es decir, poblaciones infecciosas o agrupadas). En el último índice  $k$  se observan valores que van desde 0.46 a 41.07, de acuerdo a Ramírez y Figueroa (2013) mencionan que el factor  $k$  es un indicador de agregación débil cuando los valores son elevados.

La estadística clásica muestra limitaciones debido a que algunos de los datos obtenidos no son claros y en algunos casos los mismos muestreos presentan ambos tipos de distribuciones (aleatoria y agrupada) o no se ajustan a ningún tipo de distribución (Espinoza *et al*; 2019).

**Cuadro 1.** Tablas de los índices de dispersión y distribuciones estadísticas de *Mycena citricolor*, de las 6 parcelas del municipio de Sultepec.

| FECHA  | ÍNDICE DE DISPERSIÓN | ÍNDICE DE GREEN | POISSON | BINOMIAL NEGATIVA | $k$  |
|--------|----------------------|-----------------|---------|-------------------|------|
| SEP-1  | 0.54ns               | 0.52            | NS      | S                 | 7.25 |
| SEPT-2 | 2.64s                | 0               | NA      | NA                | -    |
| OCT-1  | 1.79s                | 0.15            | NS      | S                 | 1.06 |
| OCT-2  | 1.50s                | 0.68            | NS      | S                 | 2.87 |
| NOV-1  | 2.33s                | 0               | NS      | S                 | 1.35 |
| NOV-2  | 0.79ns               | 0.53            | NS      | S                 | 4.70 |
| DIC-1  | 1.94s                | 0               | NS      | S                 | 8.39 |
| DIC-2  | 2.07s                | 0.93            | NS      | S                 | 3.06 |
| ENE-1  | 1.28s                | 0.61            | NS      | S                 | 8.44 |
| ENE-2  | 1.16s                | 0.23            | NA      | NA                | -    |

| FECHA  | ÍNDICE DE DISPERSIÓN | ÍNDICE DE GREEN | POISSON | BINOMIAL NEGATIVA | $k$   |
|--------|----------------------|-----------------|---------|-------------------|-------|
| SEP-1  | 1.62s                | 0.31            | NS      | S                 | 3.24  |
| SEPT-2 | 1.94s                | 0               | NA      | NA                | -     |
| OCT-1  | 1.26s                | 0.95            | NS      | S                 | 6.65  |
| OCT-2  | 1.09s                | 0.63            | NS      | S                 | 2.90  |
| NOV-1  | 1.53s                | 0               | S       | S                 | 33.61 |
| NOV-2  | 2.75s                | 0.32            | S       | S                 | 41.07 |
| DIC-1  | 0.83ns               | 0.64            | NS      | S                 | 8.12  |
| DIC-2  | 1.48s                | 0.82            | NS      | S                 | 10.77 |
| ENE-1  | 0.65ns               | 0.80            | NA      | NA                | -     |
| ENE-2  | 2.39s                | 0.47            | NS      | S                 | 6.40  |
| FEB-1  | 1.76s                | 0.24            | NS      | S                 | 3.17  |

|       |        |      |    |    |      |
|-------|--------|------|----|----|------|
| FEB-1 | 1.71s  | 0.48 | NA | NA | -    |
| FEB-2 | 0.37ns | 0.66 | NS | S  | 6.14 |

A)

S=Significativa; NS= No Significativa; nivel de significación al 5%; NA= No Ajustada

C)

| FECHA | ÍNDICE DE DISPERSIÓN | ÍNDICE DE GREEN | POISSON | BINOMIAL NEGATIVA | k     |
|-------|----------------------|-----------------|---------|-------------------|-------|
| SEP-1 | 1.66s                | 0.21            | NS      | S                 | 4.05  |
| SEP-2 | 2.79s                | 0.64            | NS      | S                 | 1.11  |
| OCT-1 | 0.67s                | 0.76            | S       | S                 | 29.57 |
| OCT-2 | 2.14s                | 0.44            | NS      | S                 | 3.74  |
| NOV-1 | 2.73s                | 0.19            | NS      | S                 | 2.03  |
| NOV-2 | 0.22s                | 0               | NS      | S                 | 8.47  |
| DIC-1 | 1.44s                | 0.94            | S       | S                 | 38.17 |
| DIC-2 | 1.82s                | 0.52            | NS      | S                 | 6.18  |
| ENE-1 | 2.79s                | 0               | NS      | S                 | 10.31 |
| ENE-2 | 2.33s                | 0.61            | NS      | S                 | 2.55  |
| FEB-1 | 1.69s                | 0.18            | NS      | S                 | 3.84  |
| FEB-2 | 0.58s                | 0.85            | NS      | S                 | 7.26  |

S=Significativa; NS= No Significativa; nivel de significación al 5%; NA= No Ajustada

E)

| FECHA | ÍNDICE DE DISPERSIÓN | ÍNDICE DE GREEN | POISSON | BINOMIAL NEGATIVA | k     |
|-------|----------------------|-----------------|---------|-------------------|-------|
| SEP-1 | 1.58s                | 0.84            | S       | S                 | 28.51 |
| SEP-2 | 1.82s                | 0.21            | NS      | S                 | 10.05 |
| OCT-1 | 1.90s                | 0.36            | S       | S                 | 38.58 |
| OCT-2 | 2.44s                | 0.49            | NS      | S                 | 7.23  |
| NOV-1 | 0.66ns               | 0.77            | NS      | S                 | 4.11  |
| NOV-2 | 1.27s                | 0               | NS      | S                 | 2.87  |
| DIC-1 | 2.13s                | 0.35            | NS      | S                 | 1.43  |
| DIC-2 | 0.79ns               | 0.72            | NA      | NA                | -     |
| ENE-1 | 2.78s                | 0.96            | NS      | S                 | 2.07  |
| ENE-2 | 1.59s                | 0               | NS      | S                 | 1.76  |
| FEB-1 | 2.52s                | 0.75            | NS      | S                 | 0.58  |
| FEB-2 | 0.25ns               | 0.52            | NS      | S                 | 1.33  |

S=Significativa; NS= No Significativa; nivel de significación al 5%; NA= No Ajustada

|       |       |      |    |   |      |
|-------|-------|------|----|---|------|
| FEB-2 | 2.97s | 0.15 | NS | S | 9.03 |
|-------|-------|------|----|---|------|

B)

S=Significativa; NS= No Significativa; nivel de significación al 5%; NA= No Ajustada

D)

| FECHA | ÍNDICE DE DISPERSIÓN | ÍNDICE DE GREEN | POISSON | BINOMIAL NEGATIVA | k     |
|-------|----------------------|-----------------|---------|-------------------|-------|
| SEP-1 | 2.34s                | 0.92            | S       | S                 | 40.16 |
| SEP-2 | 2.16s                | 0.35            | NS      | S                 | 5.45  |
| OCT-1 | 2.11s                | 0               | NS      | S                 | 1.26  |
| OCT-2 | 1.68s                | 0.49            | NS      | S                 | 6.89  |
| NOV-1 | 1.41s                | 0.12            | NS      | S                 | 2.41  |
| NOV-2 | 1.77s                | 0               | NS      | S                 | 5.02  |
| DIC-1 | 2.68s                | 0               | NA      | NA                | -     |
| DIC-2 | 0.53s                | 0.37            | NS      | S                 | 7.14  |
| ENE-1 | 1.80s                | 0.59            | NS      | S                 | 8.15  |
| ENE-2 | 1.57s                | 0               | NA      | NA                | -     |
| FEB-1 | 0.49s                | 0.25            | NS      | S                 | 3.13  |
| FEB-2 | 1.84s                | 0.40            | NS      | S                 | 1.07  |

S=Significativa; NS= No Significativa; nivel de significación al 5%; NA= No Ajustada

F)

| FECHA | ÍNDICE DE DISPERSIÓN | ÍNDICE DE GREEN | POISSON | BINOMIAL NEGATIVA | k     |
|-------|----------------------|-----------------|---------|-------------------|-------|
| SEP-1 | 1.25s                | 0               | NS      | S                 | 2.19  |
| SEP-2 | 1.79s                | 0.51            | NS      | S                 | 0.46  |
| OCT-1 | 1.34s                | 0.88            | NA      | NA                | -     |
| OCT-2 | 0.67ns               | 0               | NS      | S                 | 1.76  |
| NOV-1 | 2.78s                | 0.62            | NA      | NA                | -     |
| NOV-2 | 0.52ns               | 0.57            | NS      | S                 | 3.44  |
| DIC-1 | 2.91s                | 0.21            | NS      | S                 | 6.01  |
| DIC-2 | 2.55s                | 0.94            | NS      | S                 | 5.42  |
| ENE-1 | 0.31ns               | 0.68            | NS      | S                 | 2.85  |
| ENE-2 | 1.30s                | 0.73            | NS      | S                 | 1.08  |
| FEB-1 | 2.11s                | 0.65            | S       | S                 | 28.32 |
| FEB-2 | 1.44s                | 0.81            | NS      | S                 | 0.87  |

S=Significativa; NS= No Significativa; nivel de significación al 5%; NA= No Ajustada

(A) parcela 1, (B) parcela 2, (C) Parcela 3, (D) parcela 4, (E) parcela 5 y (F) parcela 6.

**Estadística espacial.** Se realizaron 72 modelos de semivariogramas que abarcaron cada uno de los muestreos realizados de septiembre 2020 a febrero 2021. En el cuadro 2 se muestran las seis parcelas de estudio, se observa que para la parcela 1 la mayoría de los muestreos se ajustó a un modelo esférico excepto para los muestreos de Septiembre 1 y Noviembre 2 que se adaptaron al modelo gaussiano; para el caso de la parcela 2 solo el muestreo de Febrero 2 presento un modelo

gaussiano y para la otra totalidad fue esférico; en la parcela 3 gran parte de los muestreos se adecuaron al tipo esférico, solo Noviembre 2 y Diciembre 2 fueron gaussianos; la parcela 4 en Noviembre 2 y Diciembre 1 presentaron ajustes gaussianos y la otra parte presentaron modelos esféricos; por último la totalidad de los muestreos de las parcelas 5 y 6 se adaptaron a modelos esféricos. Ramírez *et al;* (2011) explican que los modelos esféricos y gaussianos muestran que la enfermedad se propaga desde una fuente primaria de inóculo, que se representa espacialmente en un patrón agregado. Los agregados obtenidos indican áreas dentro de la parcela donde la enfermedad provocada por *Mycena citricolor* se manifiesta con mayor intensidad en comparación con el resto de los puntos muestreados. Tapia *et al;* (2020) mencionan en su estudio de antracnosis en cultivo de aguacate, que los modelos de tipo gaussiano permiten explicar la variabilidad y la capacidad de diseminación de las enfermedades, es decir, que la aparición de la enfermedad en un árbol llevó a la infección de los árboles aledaños. En cuanto a los parámetros de ajuste que permiten la validación del modelo, es conveniente mencionar la importancia del rango, ya que explica el grado de correlación entre los datos muestreados, el efecto pepita que simboliza el origen del semivariograma, y la meseta es el mayor punto de intersección entre los datos; el grado de dependencia espacial se obtiene dividiendo el efecto pepita por la meseta, y el resultado es representado en porcentaje (Tapia *et al;* 2020). El efecto pepita para cada uno de los muestreos fue de cero, que, de acuerdo a Venegas *et al;* (2021) indica que la escala de muestreo utilizada fue la correcta y el error de muestreo fue de 0. El rango oscilo entre los 8.19 como mínimo y 19.2 como máximo. Finalmente, la dependencia espacial de todas las muestras dentro de la parcela de estudio es alta, lo que indica que ojo de gallo tiene una fuerte dependencia espacial; se considera que una variable tiene una fuerte correlación espacial si su valor es menor al 25%; si los valores se encuentran entre 25% y 75% se considera que la variable tiene correlación espacial moderada, en caso contrario la variable tiene correlación espacial débil (Espinoza *et al;* 2019).

**Cuadro 2.** Tablas de los Parámetros del semivariograma de los muestreos por parcela de *Mycena citricolor* de septiembre 2020 a febrero 2021 del municipio de Sultepec

| MUESTREO        | MEDIA | VARIANZA      | MODELO    | PEPITA | MESETA  | RANGO  | PEPITA/MESETA | DEPENDENCIA ESPACIAL |
|-----------------|-------|---------------|-----------|--------|---------|--------|---------------|----------------------|
| <b>Sultepec</b> |       |               |           |        |         |        |               |                      |
| Parcela 1       |       |               |           |        |         |        |               |                      |
| SEP-1           | 10.72 | 43.2980904523 | Gaussiano | 0      | 34.16   | 10.24  | 0             | Alta                 |
| SEP- 2          | 10.25 | 37.0125628141 | Esférico  | 0      | 34.04   | 13.44  | 0             | Alta                 |
| OCT-1           | 9.635 | 32.293241206  | Esférico  | 0      | 29.37   | 12.8   | 0             | Alta                 |
| OCT-2           | 9.36  | 29.2868341709 | Esférico  | 0      | 27      | 12.8   | 0             | Alta                 |
| NOV-1           | 8.845 | 25.1869095477 | Esférico  | 0      | 22.2803 | 13.44  | 0             | Alta                 |
| NOV- 2          | 8.56  | 22.9009045226 | Gaussiano | 0      | 20.9292 | 10.24  | 0             | Alta                 |
| DIC-1           | 8.02  | 19.4066331658 | Esférico  | 0      | 17.6    | 14.912 | 0             | Alta                 |
| DIC-2           | 7.885 | 18.1123366834 | Esférico  | 0      | 16.6472 | 12.8   | 0             | Alta                 |
| ENE-1           | 7.42  | 16.3654271357 | Esférico  | 0      | 17.6    | 12.8   | 0             | Alta                 |
| ENE-2           | 7.3   | 15.1859296482 | Esférico  | 0      | 13.92   | 13.44  | 0             | Alta                 |
| FEB-1           | 6.92  | 12.7473366834 | Esférico  | 0      | 11.7    | 14.08  | 0             | Alta                 |
| FEB-2           | 6.715 | 11.3203768844 | Esférico  | 0      | 10.56   | 12.6   | 0             | Alta                 |
| Parcela 2       |       |               |           |        |         |        |               |                      |
| SEP-1           | 4.94  | 25.0215075377 | Esférico  | 0      | 24      | 13.666 | 0             | Alta                 |
| SEPT-2          | 4.89  | 23.947638191  | Esférico  | 0      | 22.08   | 13.664 | 0             | Alta                 |
| OCT-1           | 4.695 | 20.8160552764 | Esférico  | 0      | 19.1583 | 13.23  | 0             | Alta                 |
| OCT-2           | 4.64  | 19.5883417085 | Esférico  | 0      | 17.8    | 13.86  | 0             | Alta                 |
| NOV-1           | 4.45  | 17.1532663317 | Esférico  | 0      | 15.84   | 15.071 | 0             | Alta                 |
| NOV-2           | 4.335 | 15.7113316583 | Esférico  | 0      | 14.4    | 13.326 | 0             | Alta                 |
| DIC-1           | 4.215 | 14.3304271357 | Esférico  | 0      | 13.65   | 10.71  | 0             | Alta                 |
| DIC-2           | 4.15  | 13.5954773869 | Esférico  | 0      | 13.02   | 10.613 | 0             | Alta                 |
| ENE-1           | 4.02  | 12.2508542714 | Esférico  | 0      | 12.09   | 10.951 | 0             | Alta                 |
| ENE-2           | 3.975 | 11.8737437186 | Esférico  | 0      | 11.64   | 13.666 | 0             | Alta                 |
| FEB-1           | 3.785 | 10.4409798995 | Esférico  | 0      | 9.504   | 9.6411 | 0             | Alta                 |
| FEB-2           | 3.74  | 10.1833165829 | Gaussiano | 0      | 9.6     | 8.19   | 0             | Alta                 |

| Parcela 3 |        |               |           |   |         |        |   |      |
|-----------|--------|---------------|-----------|---|---------|--------|---|------|
| SEP-1     | 11.325 | 48.9038944724 | Esférico  | 0 | 43.12   | 14.08  | 0 | Alta |
| SEPT-2    | 11.14  | 45.0054271357 | Esférico  | 0 | 40.5    | 14.72  | 0 | Alta |
| OCT-1     | 10.71  | 40.1265326633 | Esférico  | 0 | 38      | 13.981 | 0 | Alta |
| OCT-2     | 10.49  | 36.1808040201 | Esférico  | 0 | 34.2    | 13.44  | 0 | Alta |
| NOV-1     | 9.905  | 29.7044974874 | Esférico  | 0 | 27      | 10.88  | 0 | Alta |
| NOV-2     | 9.62   | 25.6940703518 | Gaussiano | 0 | 24.44   | 10.24  | 0 | Alta |
| DIC-1     | 9.145  | 21.732638191  | Esférico  | 0 | 19.14   | 14.72  | 0 | Alta |
| DIC-2     | 8.89   | 18.9526633166 | Gaussiano | 0 | 16.72   | 10.877 | 0 | Alta |
| ENE-1     | 8.15   | 13.4748743719 | Esférico  | 0 | 12.18   | 14.08  | 0 | Alta |
| ENE-2     | 7.6    | 9.00502512563 | Esférico  | 0 | 12.18   | 14.08  | 0 | Alta |
| FEB-1     | 7.285  | 7.36057788945 | Esférico  | 0 | 6.586   | 14.030 | 0 | Alta |
| FEB-2     | 7.12   | 6.5583919598  | Esférico  | 0 | 5.87378 | 14.08  | 0 | Alta |
| Parcela 4 |        |               |           |   |         |        |   |      |
| SEP-1     | 5.515  | 25.0248994975 | Esférico  | 0 | 22.25   | 14.08  | 0 | Alta |
| SEPT-2    | 5.545  | 21.4753517588 | Esférico  | 0 | 18.48   | 15.36  | 0 | Alta |
| OCT-1     | 5.285  | 18.8279145729 | Esférico  | 0 | 17.2317 | 13.44  | 0 | Alta |
| OCT-2     | 5.14   | 17.3471356784 | Esférico  | 0 | 15.12   | 12.8   | 0 | Alta |
| NOV-1     | 4.855  | 14.8180653266 | Esférico  | 0 | 13.35   | 14.72  | 0 | Alta |
| NOV-2     | 4.74   | 13.8516582915 | Gaussiano | 0 | 13.02   | 14.72  | 0 | Alta |
| DIC-1     | 4.54   | 12.279798995  | Gaussiano | 0 | 11.31   | 14.72  | 0 | Alta |
| DIC-2     | 4.41   | 11.2883417085 | Esférico  | 0 | 10.44   | 14.72  | 0 | Alta |
| ENE-1     | 4.17   | 10.0011055276 | Esférico  | 0 | 9.2     | 12.8   | 0 | Alta |
| ENE-2     | 4.06   | 9.22251256281 | Esférico  | 0 | 9.016   | 13.44  | 0 | Alta |
| FEB-1     | 3.825  | 8.08479899497 | Esférico  | 0 | 8.019   | 10.24  | 0 | Alta |
| FEB-2     | 3.655  | 7.21203517588 | Esférico  | 0 | 7.056   | 9.4528 | 0 | Alta |
| Parcela 5 |        |               |           |   |         |        |   |      |
| SEP-1     | 10.275 | 32.1702261307 | Esférico  | 0 | 30.69   | 13.44  | 0 | Alta |
| SEPT-2    | 10.01  | 29.236080402  | Esférico  | 0 | 27.6    | 12.8   | 0 | Alta |
| OCT-1     | 9.44   | 25.1421105528 | Esférico  | 0 | 23.8403 | 12.8   | 0 | Alta |
| OCT-2     | 9.125  | 22.5420854271 | Esférico  | 0 | 16.2414 | 14.08  | 0 | Alta |
| NOV-1     | 8.555  | 19.2029899497 | Esférico  | 0 | 18.0307 | 14.08  | 0 | Alta |
| NOV-2     | 8.28   | 17.0870351759 | Esférico  | 0 | 16.2    | 14.72  | 0 | Alta |

|           |       |               |          |   |         |       |   |      |
|-----------|-------|---------------|----------|---|---------|-------|---|------|
| DIC-1     | 7.775 | 14.3662060302 | Esférico | 0 | 13.5    | 14.08 | 0 | Alta |
| DIC-2     | 7.55  | 12.8819095477 | Esférico | 0 | 12.22   | 13.44 | 0 | Alta |
| ENE-1     | 7.08  | 10.9583919598 | Esférico | 0 | 10.2894 | 12.8  | 0 | Alta |
| ENE-2     | 6.855 | 9.73263819095 | Esférico | 0 | 9.07338 | 13.44 | 0 | Alta |
| FEB-1     | 6.515 | 8.51233668342 | Esférico | 0 | 7.69227 | 10.24 | 0 | Alta |
| FEB-2     | 6.33  | 7.95085427136 | Esférico | 0 | 7.69227 | 10.24 | 0 | Alta |
| Parcela 6 |       |               |          |   |         |       |   |      |
| SEP-1     | 9.87  | 36.6664321608 | Esférico | 0 | 34.78   | 12.16 | 0 | Alta |
| SEPT-2    | 9.825 | 31.300879397  | Esférico | 0 | 29.5136 | 12.8  | 0 | Alta |
| OCT-1     | 9.15  | 29.243718593  | Esférico | 0 | 27.115  | 12.8  | 0 | Alta |
| OCT-2     | 8.925 | 26.8737437186 | Esférico | 0 | 25.11   | 12.16 | 0 | Alta |
| NOV-1     | 8.4   | 23.0653266332 | Esférico | 0 | 21.39   | 11.52 | 0 | Alta |
| NOV-2     | 8.21  | 21.0310552764 | Esférico | 0 | 19.95   | 12.16 | 0 | Alta |
| DIC-1     | 7.63  | 17.6815075377 | Esférico | 0 | 16.34   | 13.44 | 0 | Alta |
| DIC-2     | 7.35  | 15.4547738693 | Esférico | 0 | 14.72   | 13.44 | 0 | Alta |
| ENE-1     | 6.955 | 12.9376633166 | Esférico | 0 | 12.22   | 12.8  | 0 | Alta |
| ENE-2     | 6.585 | 11.2389698492 | Esférico | 0 | 10.68   | 13.44 | 0 | Alta |
| FEB-1     | 6.235 | 9.61786432161 | Esférico | 0 | 8.97984 | 12.16 | 0 | Alta |
| FEB-2     | 6.075 | 8.70288944724 | Esférico | 0 | 8.31198 | 19.2  | 0 | Alta |

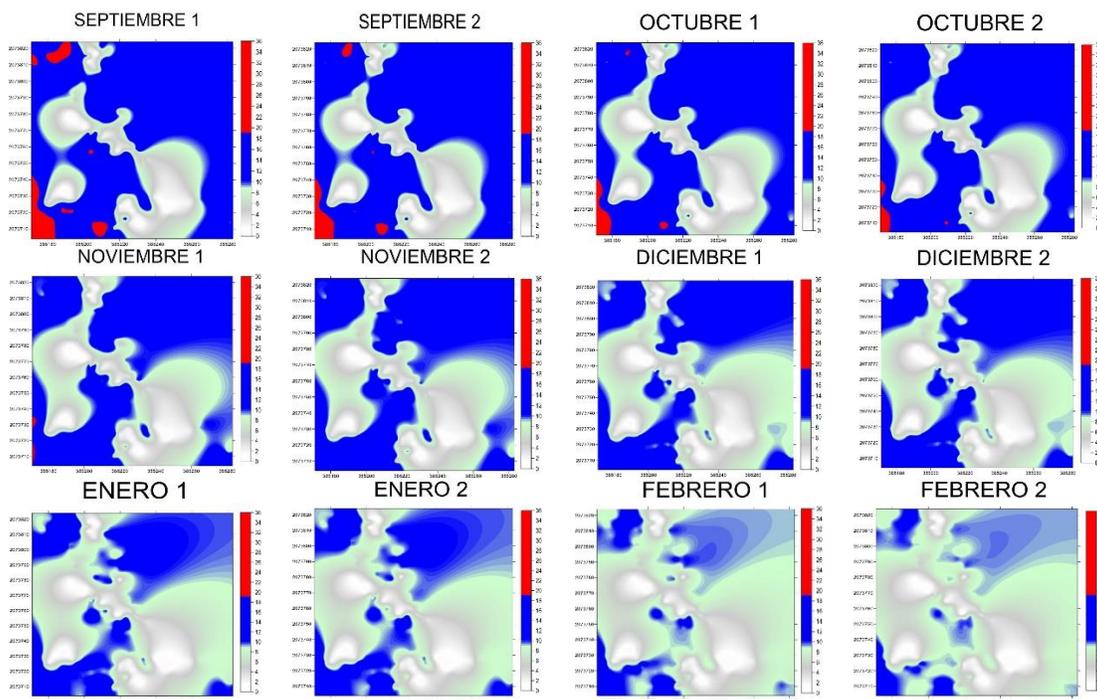
-1) Primer muestreo, -2) Segundo muestreo

**Mapas de densidad.** Los 72 mapas obtenidos de la superficie infectada se generaron a través del Krigeado, para estimar los porcentajes de superficie infectada y los valores asociados a puntos no muestreados. En los mapas obtenidos se puede observar la superficie infectada por *Mycena citricolor* en las distintas parcelas estudiadas (Fig.1); señalando que la población de ojo de gallo está repartida en puntos céntricos de agregación, los cuales se conservaron en el tiempo que perduraron los muestreos, señalando que la enfermedad se encuentra en la zona de forma persistente y que está latente esperando las condiciones climáticas apropiadas para multiplicarse (Carvajal 1939, Ramírez 1994, Avelino *et al.*, 1999). En las parcelas el color rojo y azul indica mayor presencia de la enfermedad en los cafetos y el blanco señala la ausencia, mostrando que no existe una infección del cien por ciento de ojo de gallo dentro del cultivo. Los puntos de agregación se

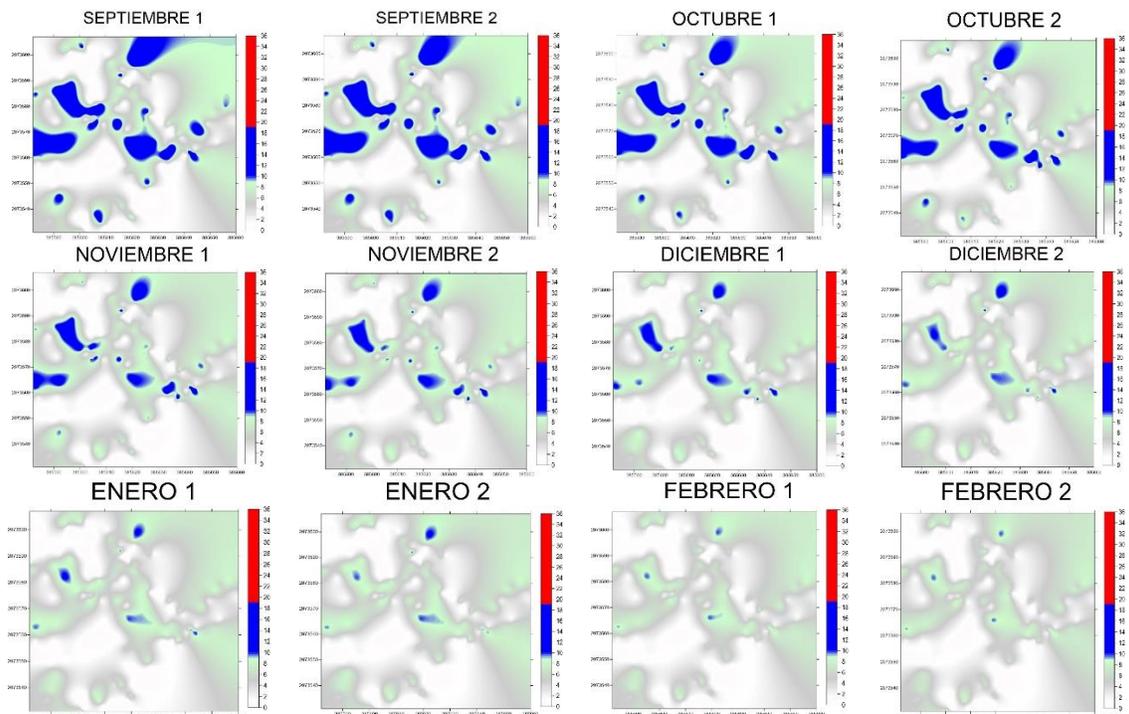
observan con mayor vista en los meses de septiembre, octubre, noviembre y diciembre, disminuyendo en los siguientes meses debido al inicio de la temporada de sequias en el municipio. Tapia *et al;* (2020) menciona que los parches de infección presentes en los mapas, son los principales focos de infección de donde surge la enfermedad y desde donde se distribuye a toda la zona muestreada. Ramírez y Porcayo (2010), Tapia *et al;* (2020); concluyen en cada uno de sus estudios respectivamente sobre distribución espacial, que los mapas geoestadísticos obtenidos muestran ser adecuados y eficientes para el estudio del comportamiento espacial.

**Figura 1.** Mapas de infección de ojo de gallo en cafetales del municipio de Sultepec. (A) parcela 1, (B) parcela 2, (C) P arcela 3, (D) parcela 4, (E) parcela 5 y (F) parcela 6.

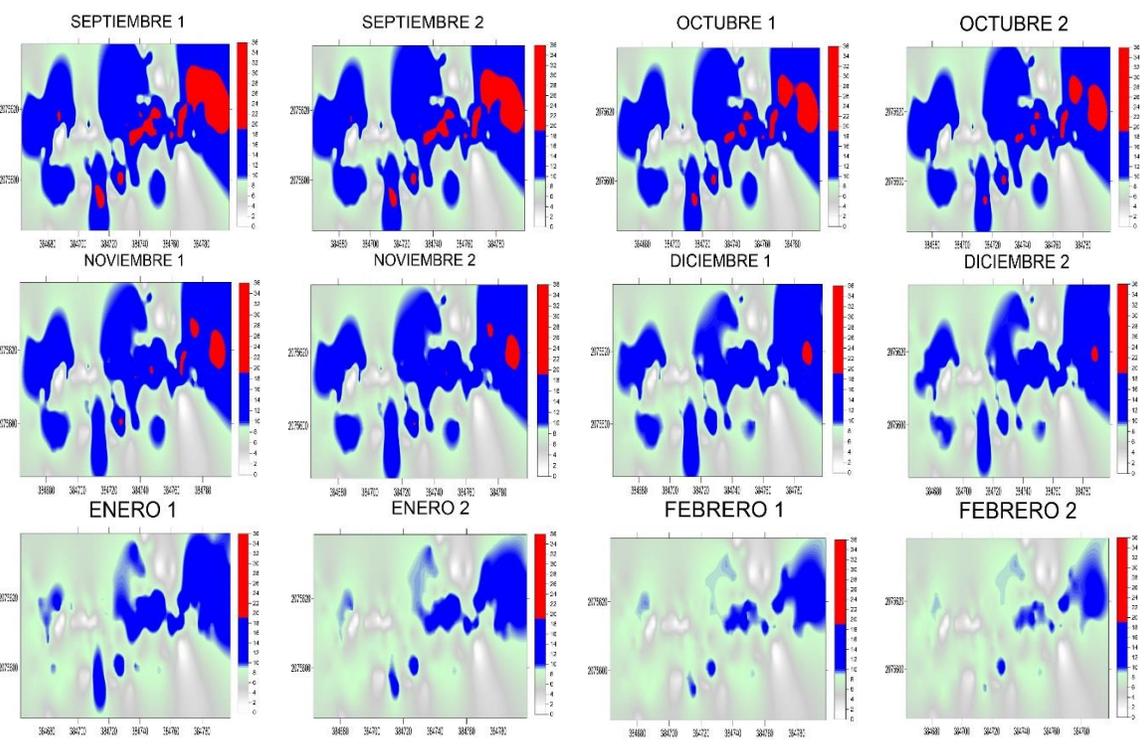
A)



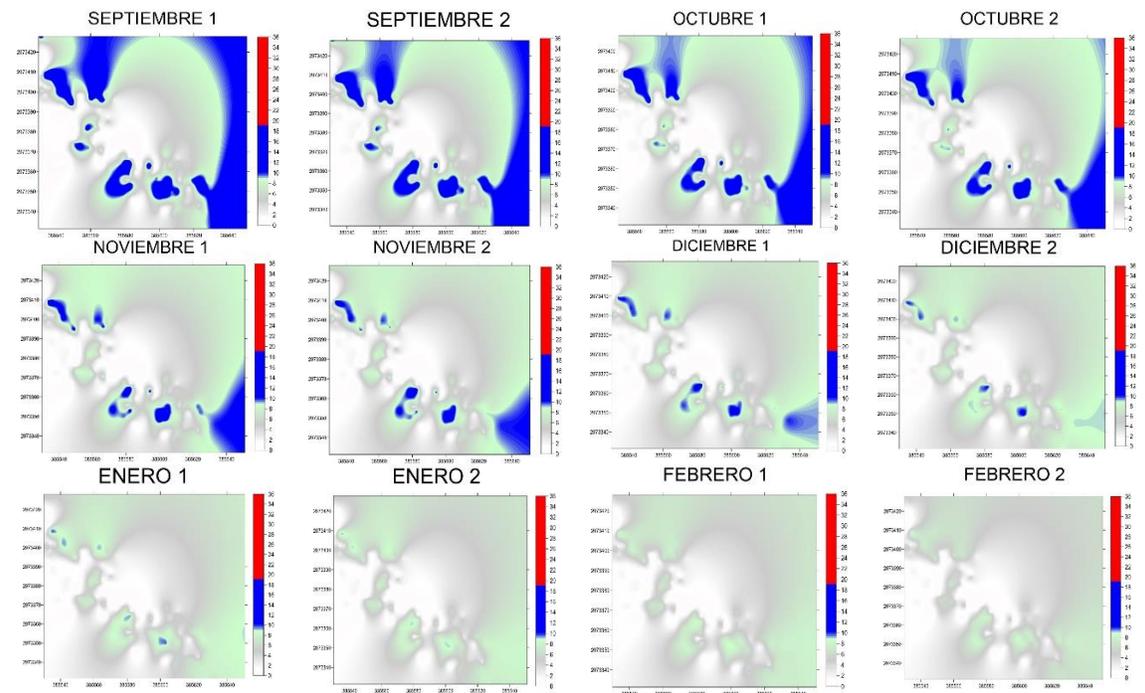
B)



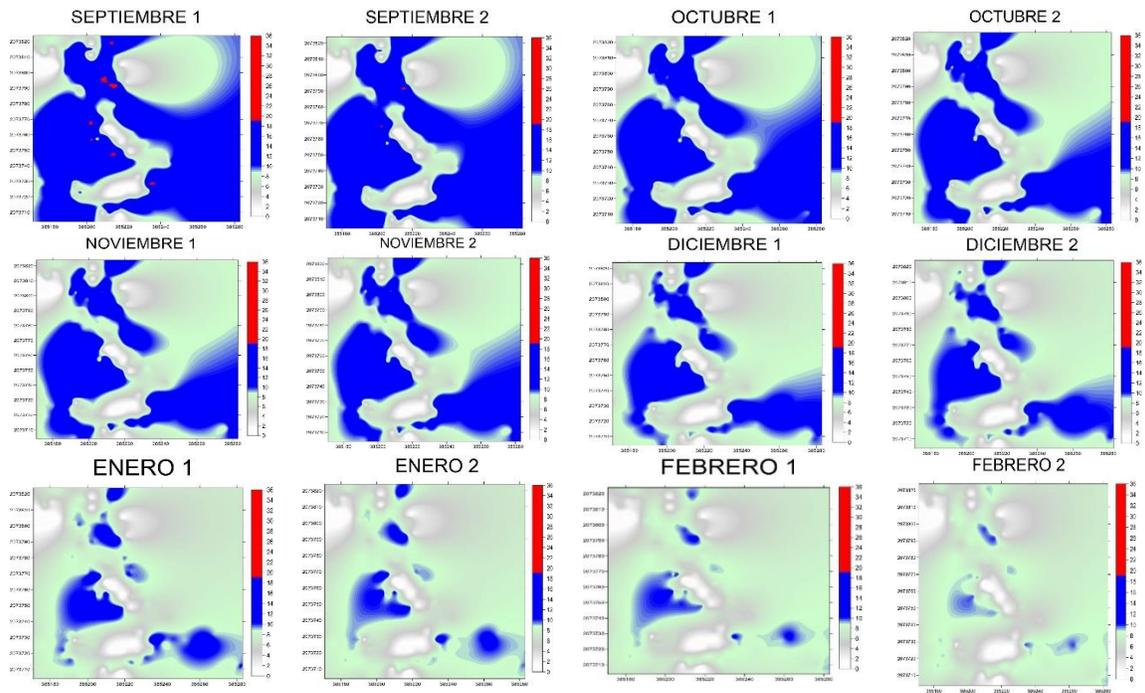
C)



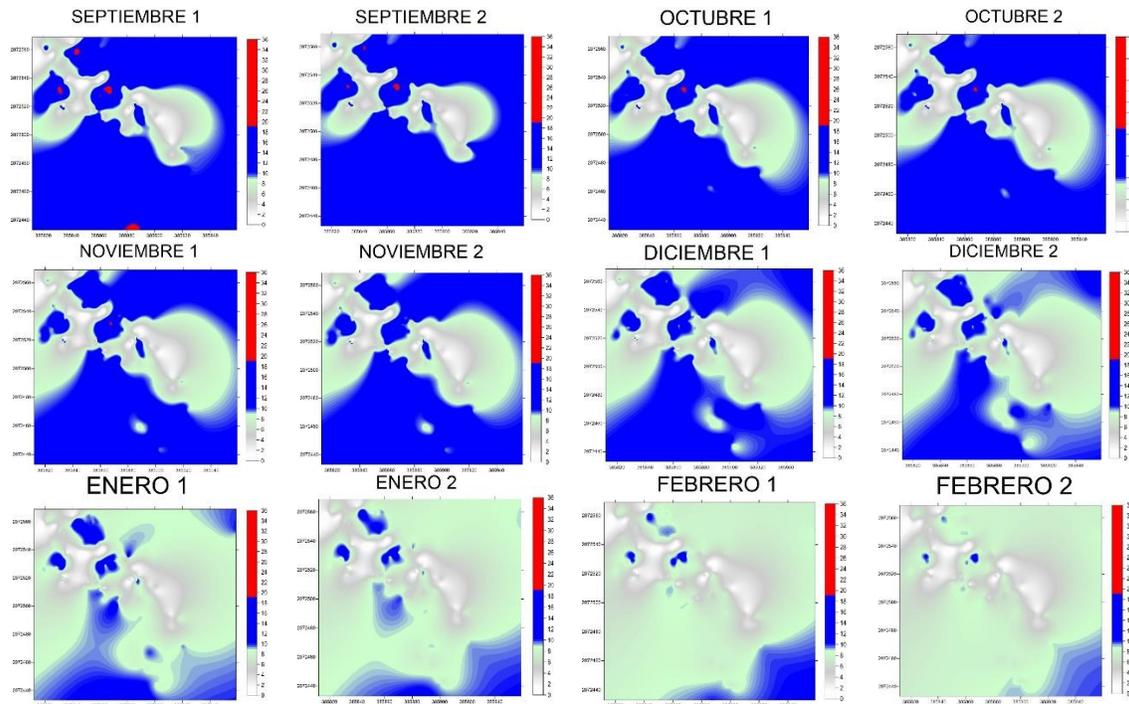
D)



E)



F)



**Superficie infectada.** El porcentaje de la infección para las parcelas de Sultepec inicio con un 86 % y disminuyo a 62% Cuadro. 3 durante el tiempo que duro el estudio. Afirmando que los meses de septiembre a diciembre cuentan con el porcentaje más alto de ojo de gallo, esto debido a que en estos meses la temperatura oscilo en los 20 °C, la humedad relativa se presentó en valores de 56%, 57%, 73 % y 65%. y por último se observó un rocío de 11, 15 y 13 F (Fig.2). Rivillas y Castro (2011) mencionan en el manual emitido por Cenicafé que la enfermedad se propaga a partir de las estructuras reproductivas del hongo, que pueden dispersarse principalmente por acción del agua y el viento. Su formación depende de la presencia de luz, con la máxima producción de cabecitas y pigmento amarillo de las mismas (Wang y Avelino, 1999). Para el caso de los meses de enero y febrero se observaron valores en la temperatura entre 20 y 22 °C, una humedad relativa un poco variable de 60 y 57% y un punto de rocío de, 11 y 12 °F. Se observa que la humedad es más baja en estos dos meses indicando el inicio de la temporada de sequias en la zona, provocando una disminución en los puntos de agregación de la enfermedad en cada una de las parcelas. Granados (2020) cita que el desarrollo de la enfermedad depende de la temperatura, humedad relativa y rocío; estudios en

Costa Rica concluyen que la máxima infección se presenta entre setiembre y octubre, que son los meses de mayor precipitación, empieza a reducir en diciembre y los niveles más bajos se dan entre febrero y mayo, que es la época más seca del año.

Una de las bases de la agricultura de precisión es identificar las áreas que necesitan ser gestionadas. Para esto, es importante conocer el área infectada y el porcentaje que representan del total de la superficie (Ramírez y Porcayo, 2009). Del mismo modo es fundamental el monitoreo de las condiciones climáticas de importancia para la enfermedad y así tener una mejor predicción del aumento de la misma.

**Cuadro 3.** Tablas de la superficie infectada de *Mycena citricolor* por parcela de septiembre del 2020 a febrero del 2021; del municipio de Temascaltepec

A)

| MUESTREO | SUPERFICIE INFECTADA % | SUPERFICIE NO INFECTADA % |
|----------|------------------------|---------------------------|
| SEP-1    | 79                     | 21                        |
| SEP-2    | 79                     | 21                        |
| OCT-1    | 79                     | 21                        |
| OCT-2    | 80                     | 20                        |
| NOV-1    | 81                     | 19                        |
| NOV-2    | 78                     | 22                        |
| DIC-1    | 78                     | 22                        |
| DIC-2    | 77                     | 23                        |
| ENE-1    | 77                     | 23                        |
| ENE-2    | 77                     | 23                        |
| FEB-1    | 76                     | 24                        |
| FEB-2    | 76                     | 24                        |

B)

| MUESTREO | SUPERFICIE INFECTADA % | SUPERFICIE NO INFECTADA % |
|----------|------------------------|---------------------------|
| SEP-1    | 64                     | 36                        |
| SEP-2    | 64                     | 36                        |
| OCT-1    | 65                     | 35                        |
| OCT-2    | 65                     | 35                        |
| NOV-1    | 65                     | 35                        |
| NOV-2    | 66                     | 34                        |
| DIC-1    | 66                     | 34                        |
| DIC-2    | 66                     | 34                        |
| ENE-1    | 64                     | 36                        |
| ENE-2    | 63                     | 37                        |
| FEB-1    | 63                     | 37                        |
| FEB-2    | 62                     | 38                        |

C)

| MUESTREO | SUPERFICIE INFECTADA % | SUPERFICIE NO INFECTADA % |
|----------|------------------------|---------------------------|
| SEP-1    | 85                     | 15                        |
| SEP-2    | 85                     | 15                        |
| OCT-1    | 85                     | 15                        |
| OCT-2    | 86                     | 14                        |
| NOV-1    | 86                     | 14                        |
| NOV-2    | 86                     | 14                        |
| DIC-1    | 86                     | 14                        |
| DIC-2    | 84                     | 16                        |
| ENE-1    | 84                     | 16                        |
| ENE-2    | 84                     | 16                        |
| FEB-1    | 84                     | 16                        |
| FEB-2    | 83                     | 17                        |

D)

| MUESTREO | SUPERFICIE INFECTADA % | SUPERFICIE NO INFECTADA % |
|----------|------------------------|---------------------------|
| SEP-1    | 77                     | 23                        |
| SEP-2    | 77                     | 23                        |
| OCT-1    | 77                     | 23                        |
| OCT-2    | 78                     | 22                        |
| NOV-1    | 78                     | 22                        |
| NOV-2    | 79                     | 21                        |
| DIC-1    | 77                     | 23                        |
| DIC-2    | 76                     | 24                        |
| ENE-1    | 76                     | 24                        |
| ENE-2    | 76                     | 24                        |
| FEB-1    | 75                     | 25                        |
| FEB-2    | 75                     | 25                        |

E)

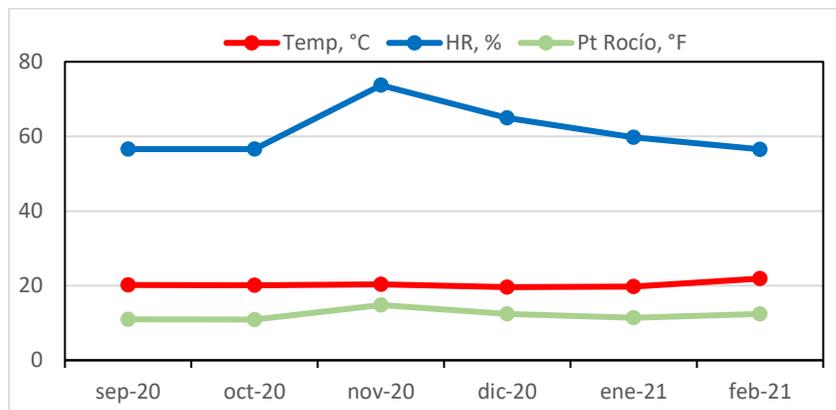
| MUESTREO | SUPERFICIE INFECTADA % | SUPERFICIE NO INFECTADA % |
|----------|------------------------|---------------------------|
| SEP-1    | 82                     | 18                        |
| SEP-2    | 83                     | 17                        |
| OCT-1    | 83                     | 17                        |
| OCT-2    | 83                     | 17                        |
| NOV-1    | 84                     | 16                        |
| NOV-2    | 84                     | 16                        |
| DIC-1    | 82                     | 18                        |
| DIC-2    | 81                     | 19                        |
| ENE-1    | 81                     | 19                        |
| ENE-2    | 81                     | 19                        |
| FEB-1    | 81                     | 19                        |
| FEB-2    | 80                     | 20                        |

F)

| MUESTREO | SUPERFICIE INFECTADA % | SUPERFICIE NO INFECTADA % |
|----------|------------------------|---------------------------|
| SEP-1    | 81                     | 19                        |
| SEP-2    | 81                     | 19                        |
| OCT-1    | 80                     | 20                        |
| OCT-2    | 80                     | 20                        |
| NOV-1    | 80                     | 20                        |
| NOV-2    | 80                     | 20                        |
| DIC-1    | 80                     | 20                        |
| DIC-2    | 79                     | 21                        |
| ENE-1    | 79                     | 21                        |
| ENE-2    | 79                     | 22                        |
| FEB-1    | 78                     | 22                        |
| FEB-2    | 78                     | 22                        |

-1) Primer muestreo, -2) Segundo muestreo. (A) parcela 1, (B) parcela 2, (C) Parcela 3, (D) parcela 4, (E) parcela 5 y (F) parcela 6.

**Figura 2.** Gráfico de las condiciones climáticas (Temperatura °C, Humedad relativa HR % y Punto de Rocío Pt Rocío °F) de los meses de septiembre 2020 a febrero 2021 del municipio de Sultepec.



**Ahorro económico y ambiental.** La presencia de los agroquímicos contribuyó con la historia de la humanidad, permitiendo la producción de alimentos que satisface en gran parte la enorme demanda de una creciente población mundial. Actualmente el uso indiscriminado y el manejo inadecuado de estos productos están causando efectos irremediables al agro ecosistema, prácticas como el aumento en el número de aplicaciones, la elevación de las dosis y la preparación mezclando distintos tipos

de plaguicidas, no hace sino agravar más los problemas, creando la resistencia de los insectos, hongos y malezas, muerte a los insectos y microorganismos benéficos, propiciando el surgimiento de nuevas plagas o el resurgimiento de las ya establecidas, además, de originar una espiral creciente de contaminación (Quispe, 2017).

La producción cafetalera ha atravesado por diferentes periodos de precios bajos, provocados por las oscilaciones de los precios internacionales que son a su vez los que imponen la pauta en los mercados internacionales (Ortega y Ramírez, 2013). Actualmente, los agricultores siguen prácticas normales de aplicación, los agroquímicos que utilizan en las plantas de café son los fungicidas sistémicos y de contacto ciproconazol con actividad preventiva, curativa, erradicadora e inhibitoria, los agroquímicos que utilizan pueden proteger mejor contra la invasión de *Mycena citricolor*, se aplican una vez en la estación seca y aumentan de tres a cuatro veces en la estación lluviosa. En el (cuadro 4) se observan las cifras obtenidas del ahorro en pesos y en fungicidas para cada una de las parcelas, la parcela numero 2 fue la que obtuvo mayor ahorro (950\$) en peso como en fungicida (0.39L), esto se debió a que fue una de las parcelas con menor presencia de ojo de gallo; la parcela 5 tiene menor ahorro económico y gasto en agroquímico, sin embargo, es importante destacar que estos cálculos se realizaron en parcelas de 5000 m<sup>2</sup>, sin embargo existen productores que suelen tener parcelas mucho más grandes o más de una parcela, provocando un ahorro mayor al mencionado en las tablas. Estudios en Estados Unidos, Stafford y Miller (2003) han evaluado ahorros de productos que varían entre 7 y 69%, con la aplicación variable de herbicidas, dependiendo de la distribución de las malezas dentro del campo de cultivo de cereales (Ramírez y Porcayo, 2009). Chaves y Araya (2014) en su trabajo Distribución espacial del amachamiento del frijol (*aphelenchoides besseyi christie*) en campo, mencionan que al conocer que la enfermedad se presenta en forma agregada, su combate químico se puede llevar a cabo en forma dirigida y en etapas tempranas del cultivo; implicando menor cantidad de producto al aplicar y menor costo económico.

Desde el punto de vista fitosanitario es importante conocer con exactitud las áreas reales infectadas por *Mycena citricolor* dentro de las parcelas para poder realizar aplicaciones dirigidas de forma precisa las diferentes medidas de control generando beneficios económicos al realizar las aplicaciones de fungicidas en puntos muy concretos de los cultivos.

**Cuadro 4.** Tablas de ahorro económico para cada una de las parcelas muestreadas en el municipio de Amatepec.

| SULTEPEC     |         |                               |           |                 |                           |           |                        |
|--------------|---------|-------------------------------|-----------|-----------------|---------------------------|-----------|------------------------|
| Mes          | Parcela | Costo en agricultura pesos/ha |           | Ahorro Pesos/ha | Fungicida aplicado (l/ha) |           | Ahorro fungicida kg/ha |
|              |         | Convencional                  | precisión |                 | convencional              | Precisión |                        |
| Sep.         | 1       | 1250                          | 987.5     | 262.5           | 0.5                       | 0.4       | 0.1                    |
| Oct.         |         | 1250                          | 987.5     | 262.5           | 0.5                       | 0.4       | 0.1                    |
| Nov.         |         | 1250                          | 987.5     | 262.5           | 0.5                       | 0.4       | 0.1                    |
| <b>Total</b> |         | 3750                          | 2962.5    | 787.5           | 1.5                       | 1.12      | 0.3                    |

| SULTEPEC     |         |                               |           |                 |                           |           |                        |
|--------------|---------|-------------------------------|-----------|-----------------|---------------------------|-----------|------------------------|
| Mes          | Parcela | Costo en agricultura pesos/ha |           | Ahorro Pesos/ha | Fungicida aplicado (l/ha) |           | Ahorro fungicida kg/ha |
|              |         | Convencional                  | precisión |                 | convencional              | Precisión |                        |
| Sep.         | 2       | 1250                          | 925       | 325             | 0.5                       | 0.37      | 0.13                   |
| Oct.         |         | 1250                          | 937.50    | 312.5           | 0.5                       | 0.37      | 0.13                   |
| Nov.         |         | 1250                          | 937.5     | 312.5           | 0.5                       | 0.37      | 0.13                   |
| <b>Total</b> |         | 3750                          | 2800      | 950             | 1.5                       | 1.11      | 0.39                   |

| SULTEPEC |  |                               |        |                           |  |
|----------|--|-------------------------------|--------|---------------------------|--|
|          |  | Costo en agricultura pesos/ha | Ahorro | Fungicida aplicado (l/ha) |  |
|          |  |                               |        |                           |  |

| Mes   | Parcela | Convencional | precisión | Pesos/ha | convencional | Precisión | Ahorro fungicida kg/ha |
|-------|---------|--------------|-----------|----------|--------------|-----------|------------------------|
|       | 3       |              |           |          |              |           |                        |
| Sep.  |         | 1250         | 1062.5    | 187.5    | 0.5          | 0.4       | 0.1                    |
| Oct.  |         | 1250         | 1062.5    | 187.5    | 0.5          | 0.4       | 0.1                    |
| Nov.  |         | 1250         | 1062.5    | 187.5    | 0.5          | 0.4       | 0.1                    |
| Total |         | 3750         | 3187.5    | 562.5    | 1.5          | 1.12      | 0.3                    |

| SULTEPEC |         |                               |           |                 |                           |           |                        |
|----------|---------|-------------------------------|-----------|-----------------|---------------------------|-----------|------------------------|
| Mes      | Parcela | Costo en agricultura pesos/ha |           | Ahorro Pesos/ha | Fungicida aplicado (l/ha) |           | Ahorro fungicida kg/ha |
|          |         | Convencional                  | precisión |                 | convencional              | Precisión |                        |
|          | 4       |                               |           |                 |                           |           |                        |
| Sep.     |         | 1250                          | 962.5     | 987.5           | 0.5                       | 0.38      | 0.12                   |
| Oct.     |         | 1250                          | 962.5     | 987.5           | 0.5                       | 0.38      | 0.12                   |
| Nov.     |         | 1250                          | 962.5     | 287.5           | 0.5                       | 0.38      | 0.12                   |
| Total    |         | 3750                          | 2887.5    | 862.5           | 1.5                       | 1.14      | 0.36                   |

| SULTEPEC |         |                               |           |                 |                           |           |                        |
|----------|---------|-------------------------------|-----------|-----------------|---------------------------|-----------|------------------------|
| Mes      | Parcela | Costo en agricultura pesos/ha |           | Ahorro Pesos/ha | Fungicida aplicado (l/ha) |           | Ahorro fungicida kg/ha |
|          |         | Convencional                  | precisión |                 | convencional              | Precisión |                        |
|          | 5       |                               |           |                 |                           |           |                        |
| Sep.     |         | 1250                          | 1025      | 225             | 0.5                       | 0.4       | 0.1                    |
| Oct.     |         | 1250                          | 1037.5    | 212.5           | 0.5                       | 0.4       | 0.1                    |
| Nov.     |         | 1250                          | 1037.5    | 212.5           | 0.5                       | 0.4       | 0.1                    |
| Total    |         | 3750                          | 3100      | 650             | 1.5                       | 1.2       | 0.3                    |

| SULTEPEC |  |  |  |  |  |  |  |
|----------|--|--|--|--|--|--|--|
|          |  |  |  |  |  |  |  |

| Mes   | Parcela | Costo en agricultura pesos/ha |           | Ahorro Pesos/ha | Fungicida aplicado (l/ha) |           | Ahorro fungicida kg/ha |
|-------|---------|-------------------------------|-----------|-----------------|---------------------------|-----------|------------------------|
|       |         | Convencional                  | precisión |                 | convencional              | Precisión |                        |
| Sep.  | 6       | 1250                          | 1012.5    | 237.5           | 0.5                       | 0.4       | 0.1                    |
| Oct.  |         | 1250                          | 1012.5    | 237.5           | 0.5                       | 0.4       | 0.1                    |
| Nov.  |         | 1250                          | 1000      | 250             | 0.5                       | 0.4       | 0.1                    |
| Total |         | 3750                          | 3025      | 725             | 1.5                       | 1.2       | 0.3                    |

En la actualidad la importancia de realizar buenas prácticas agrícolas, tiene como objetivo ofrecer al mercado productos de calidad e inocuos, elaborados con un mínimo de impacto ambiental y en condiciones justas para los trabajadores. De acuerdo con las normas internacionales, las buenas prácticas agrícolas se orientan, sobre todo, al control de los peligros microbianos, químicos y físicos que podrían surgir en cualquier etapa de la producción primaria (Moran, 2020). La aplicación de las Geotecnologías en estudios de comportamiento de plagas y enfermedades nos ayuda a conocer alteraciones ocasionadas por los diversos problemas y su posición espacial dentro de las parcelas, este tipo de estudios contribuyen a realizar métodos de control dirigidos, dando como consecuencia ahorros en agroquímicos, económicos y ambientales. Por lo anterior, en el caso de los cafetales es importante la aplicación de estas tecnologías que impulsen una transformación hacia el camino de una producción sustentable, amigable con el ambiente y económicamente rentable para los productores.

## **CONCLUSIÓN.**

Los métodos estadísticos clásicos (distribución estadística, índice de dispersión, Índice de Green, Binomial Negativa y Poisson) no son una buena opción para determinar el tipo de distribución, debido a que se obtuvieron algunos resultados con inconsistencias. Por otro lado, la Geoestadística permitió modelizar la estructura espacial de *M. citricolor*, con los modelos esférico y gaussiano; indicando una distribución de la enfermedad en agregados. Se utilizó el Krigado ordinario

para realizar los mapas de densidad, encontrando algunos puntos de intensificación específicos en las parcelas. Todo lo anterior con el fin de conocer con exactitud el área de la superficie infectada debido a su importancia para realizar un control dirigido a los cultivos y así poder reducir gastos económicos y ambientales.

## REFERENCIAS.

- Anacafé. (2017). Asociación Nacional del Café. <https://www.anacafe.org/>
- Avelino, J; Muller, R; Eskes, A; Santacreo, R; Holguín, F. (1999). La roya anaranjada del cafeto: mito y realidad. In Bertrand, B; Rapidel, B. eds. Desafíos de la caficultura en Centroamérica. IICA, San José, Costa Rica. p. 193-242.
- Carvajal F. (1939). Ojo de gallo (*Omphalia flavida*). Revista del Instituto de Defensa del Café de Costa Rica. Tomo 7. No.52. p. 535-549.
- Chaves Barrantes, N. F., y Araya Fernández, C. M. (2014). Distribución espacial del amachamiento del frijol (*Aphelenchoides besseyi* Christie) en campo. *Agronomía Mesoamericana*, 25(1), 13-21.
- Ejecutivo, R. (2015). *Estudio de necesidades de innovación productiva para los cafecultores del estado de Tabasco*.
- Espinoza Zúñiga, P., Ramírez Dávila, J. F., Cibrián Tovar, D., Villanueva Morales, A., Cibrián Llanderal, V. D., Figueroa Figueroa, D. K., y Rivera Martínez, R. (2019). Modelación de la distribución espacial del muérdago (*Santalales: Loranthaceae*) en las áreas verdes de la delegación Tlalpan, México. *Bosque (Valdivia)*, 40(1), 17–28. <https://doi.org/10.4067/s0717-92002019000100017>
- Esquivel, V., y Jasso, Y. (2014). Distribución espacial y mapeo de gusano soldado en seis localidades del Estado de México, en el año 2011\* Spatial distribution and mapping of armyworm in six localities in the State of Mexico, in 2011. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5, 923–935
- González, J., Guerra, F., Gómez, H. (2007). Geoenseñanza. *Geoenseñanza*, 12(1), 81–90.

- Granados Montero, M. D. M., Avelino, J., Arauz Cavallini, F., Castro Tanzi, S., y Ureña, N. (2020). Hojarasca e inóculo de *Mycena citricolor* sobre la epidemia de ojo de gallo. *Agronomía Mesoamericana*, 77–94. <https://doi.org/10.15517/am.v31i1.36614>
- Hevesi, J. A.; Istok, J. D.; Flint, A. L. (1992). Precipitation estimation in mountainous terrain using multivariate geostatistics. Part. I. Structural analysis. *Journal of Applied Meteorology* 31 (7): 661-676. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1992\)0312.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1992)0312.0.CO;2)
- Issaks, E. H.; Srivastava, R. M. (1988). Spatial continuity measures for probabilistic and deterministic geostatistics. *Mathematical Geology* 20 (4): 313-341. <https://doi.org/10.1007/BF00892982>
- Lara Vázquez, F., Ramírez-Dávila, J. F., Rubí-Arriaga, M., Morales Rosales, E. J., Figueroa Figueroa, D. K., Acosta Guadarrama, A. D., & Rivera Martínez, R. (2018). Distribución Espacial de Araña Roja *Oligonychus punicae* Hirst1 en el Cultivo del Aguacate, en dos Municipios del Estado de México. *Southwestern Entomologist*, 43(3), 743-759.
- Malhado CM, M Petreire. (2004). Behaviour of dispersion indices in pattern detection of a population of angico, *Anadenanthera peregrina* (Leguminosae). *Brazilian Journal of Biology* 64(2): 243-249
- Moran, M. (2020). *Importancia de la Agricultura Limpia para la producción de alimentos inocuos*.
- Ortega Hernández, Alejandro, y Ramírez Valverde, Benito (2013). crisis de la cafeticultura y migración en el contexto de pobreza y marginación. el caso de los productores indígenas de huehuetla, Puebla. *Ra Ximhai*, 9 (1),173-186.[fecha de Consulta 18 de Septiembre de 2022]. ISSN: 1665-0441. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46127074014>
- Ramírez JF, VM Solares, DK Figueroa, JR Sanchez. (2013). Com- portamiento espacial de trips (Insecta: Thysanoptera), en Plantaciones comerciales de aguacate (*Persea Americana* Mill.) en Zitácuaro, Michoacán, México. *Acta*

Zoologica Mexicana 29(3): 545-562.

Ramírez JF, VM Solares, DK Figueroa, Sanchez JR. (2011). Estabilidad espacio teemporal 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

Ramírez Dávila, J., y Porcayo Camargo, E. (2009). Comportamiento espacial de las larvas del mosquito verde *Jacobiasca lybica*, en un viñedo de secano en Andalucía, España. *CIENCIA Ergo-Sum*, 16(2), 164–170.

Ramírez JF, Porcayo E. (2010). Estudio comparativo de la distribución espacial del muérdago enano (*Arceuthobium sp.*) en la ladera norte del Parque Nacional Nevado de Toluca, México. *Bosque* 31(1): 28-38. DOI: <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002010000100004>

Rivera Martínez, R., Acosta Guadarrama, A. D., Ramírez Dávila, J. F., Figueroa Figueroa, D. K., Maldonado Zamora, F. I., y Lara Díaz, A. V. (2017). Distribución Espacial de las Poblaciones de Adultos de *Bactericera cockerelli* Sulc. 1 en el Cultivo de Tomate de Cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Southwestern Entomologist*, 42(4), 1057-1068.

Rivillas, C., y Castro, Á. (2011). Ojo de gallo o gotera del cafeto. *Cenicafe*, 24. [www.cenicafe.org/es/publications/bot037.pdf](http://www.cenicafe.org/es/publications/bot037.pdf)

SAGARPA. (2014). Secretaría de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación. <http://www.agricultura.gob.mx/catalogos/sagarpa-2014> (consultado marzo 2022)

SADER. (2015). Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. <http://www.agricultura.gob.mx/sader/datos-2015> (consultado marzo 2022)

SENASICA. (2014). Ojo de gallo *Mycena citricolor* (Berkeley y Curtis). *Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria*, 49, 3–8. (consultado marzo 2022)

SENASICA. (2017). *PT\_VECC\_EDO\_MEX\_2017\_.pdf* (p. 7). (consultado marzo 2022)

- SIAP. 2020. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. <https://www.gob.mx/fnd/articulos/mexico-y-elcafe-organico?idiom=es>. (consultado marzo 2021)
- SIAP. 2021. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/667940/Escenario\\_cafe\\_ago\\_21](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/667940/Escenario_cafe_ago_21). (consultado marzo 2021)
- Silva AS, TA Mota, NY Pineyro, MG Fernandes, FF Pereira. (2016). Distribución espacial de *Vatiga spp.* (Hemiptera: *Tingidae*) en el cultivo de yuca. *Acta Biológica Colombiana* 21(1):195-200. DOI: [10.15446/abc.v21n1.46762](https://doi.org/10.15446/abc.v21n1.46762)
- Stafford, J. y P. Miller (2003). "Spatially Selective Application of Herbicides to Cereal Crops", *Computers Electronics Agric.* 9.
- Quispe, R. (2017). Manejo de agroquímicos en cultivos de cacao, café y coca en el distrito de Sivia, 550 msnm. Huanta, Ayacucho. *Universidad Nacional de San Martín*, 1,100. [http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/2418/TP\\_AGRO\\_0066\\_2\\_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/2418/TP_AGRO_0066_2_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Tapia Rodríguez, A., Ramírez Dávila, J. F., Salgado Siclán, M. L., Castañeda Vildózola, Á., Maldonado Zamora, F. I., y Lara Díaz, A. V. (2020). Spatial distribution of anthracnose (*Colletotrichum gloeosporioides* Penz) in avocado in the State of Mexico, Mexico / Distribución espacial de antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides* Penz) en aguacate en el Estado de México, México. *Revista Argentina de Microbiología*, 52(1), 72–81. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ram.2019.07.004>
- Vanegas-Carrillo, R., Ramírez-Dávila, J. F., y Rivera-Martínez, R. (2021). Spatial distribution of the mexican fruit fly complex (*Anastrepha spp.*) (diptera: *Tephritidae*) in Michoacán, Mexico. *Revista Colombiana de Entomología*, 47(1). DOI: <https://doi.org/10.25100/socolen.v47i1.7715>.

Wang, A., y Avelino, J. (1999). El ojo de gallo del cafeto (*Mycena citricolor*).  
Desafíos de La Caficultura En Centroamerica, 243–260.

## 7.3 Otros resultados

### 7.3.1 Datos adquiridos de las parcelas del municipio de Temascaltepec, Estado de México.

**Cuadro 1.** Índices de dispersión y distribuciones estadísticas del *Mycena citricolor* en el cultivo de café para el municipio de Temascaltepec. A) Parcela 1, B) Parcela 2. C) Parcela 3, D) Parcela 4, E) Parcela 5, F) Parcela 6.

A)

| FECHA | ÍNDICE DE DISPERSIÓN | ÍNDICE DE GREEN | POISSON | BINOMIAL NEGATIVA | k    |
|-------|----------------------|-----------------|---------|-------------------|------|
| SEP1  | 1.16s                | 0.45            | NA      | NA                | -    |
| SEP 2 | 1.47s                | 0.97            | NS      | S                 | 4.05 |
| OCT 1 | 1.82s                | 0               | NS      | S                 | 1.27 |
| OCT 2 | 1.33s                | 0.31            | NS      | S                 | 2.94 |
| NOV 1 | 0.59ns               | 0.58            | NA      | NA                | -    |
| NOV 2 | 1.93s                | 0.36            | NS      | S                 | 0.77 |
| DIC1  | 1.22s                | 0.44            | NS      | S                 | 4.17 |
| DIC 2 | 0.32ns               | 0               | NS      | S                 | 2.06 |
| ENE   | 1.63s                | 0.72            | NA      | NA                | -    |
| ENE2  | 1.74s                | 0               | NS      | S                 | 4.32 |
| FEB1  | 1.26s                | 0.83            | NS      | S                 | 7.18 |
| FEBR2 | 1.55s                | 0.31            | NS      | S                 | 2.54 |

S=Significativa; NS= No Significativa; nivel de significación al 5%; NA= No Ajustada

C)

| FECHA  | ÍNDICE DE DISPERSIÓN | ÍNDICE DE GREEN | POISSON | BINOMIAL NEGATIVA | k    |
|--------|----------------------|-----------------|---------|-------------------|------|
| SEPT 1 | 1.57s                | 0.45            | NS      | S                 | 1.36 |
| SEPT2  | 1.81s                | 0               | NS      | S                 | 7.14 |
| OCT 1  | 0.45ns               | 0.69            | NS      | S                 | 0.69 |
| OCT 2  | 2.35s                | 0.21            | NA      | NA                | -    |
| NOV 1  | 3.06s                | 0.46            | NS      | S                 | 9.25 |
| NOV 2  | 2.90s                | 0               | NS      | S                 | 3.61 |
| DIC 1  | 3.25s                | 0.93            | NS      | S                 | 2.77 |
| DIC 2  | 1.43s                | 0.32            | NS      | S                 | 7.05 |
| ENE 1  | 2.67s                | 0.45            | NS      | S                 | 1.43 |
| ENE 2  | 0.29ns               | 0.88            | NS      | S                 | 0.84 |
| FEB 1  | 1.96s                | 0.16            | NS      | S                 | 1.56 |
| FEB 2  | 3.32s                | 0.58            | NA      | NA                | -    |

S=Significativa; NS= No Significativa; nivel de significación al 5%; NA= No Ajustada

D)

| FECHA  | ÍNDICE DE DISPERSIÓN | ÍNDICE DE GREEN | POISSON | BINOMIAL NEGATIVA | k     |
|--------|----------------------|-----------------|---------|-------------------|-------|
| SEPT 1 | 1.59s                | 0.66            | NS      | S                 | 5.39  |
| SEPT 2 | 2.45s                | 0.23            | NS      | S                 | 1.92  |
| OCT 1  | 1.98s                | 0.58            | NS      | S                 | 3.66  |
| OCT 2  | 3.03s                | 0.71            | NS      | S                 | 4.72  |
| NOV 1  | 0.67ns               | 0.44            | NS      | S                 | 0.79  |
| NOV 2  | 2.74s                | 0.50            | NS      | S                 | 2.88  |
| DIC 1  | 1.29s                | 0               | NS      | S                 | 2.81  |
| DIC 2  | 2.77s                | 0.27            | S       | S                 | 37.54 |
| ENE 1  | 3.18s                | 0               | NS      | S                 | 1.43  |
| ENE 2  | 0.38s                | 0.79            | NA      | NA                | -     |
| FEB 1  | 1.57s                | 0.94            | NS      | S                 | 9.72  |
| FEB 2  | 1.33s                | 0.42            | NS      | S                 | 8.21  |

S=Significativa; NS= No Significativa; nivel de significación al 5%; NA= No Ajustada

B)

| FECHA  | ÍNDICE DE DISPERSIÓN | ÍNDICE DE GREEN | POISSON | BINOMIAL NEGATIVA | k    |
|--------|----------------------|-----------------|---------|-------------------|------|
| SEP 1  | 0.75s                | 0.51            | NS      | S                 | 0.94 |
| SEPT 2 | 2.34s                | 0.44            | NS      | S                 | 1.62 |
| OCT 1  | 2.57s                | 0.69            | NS      | S                 | 3.06 |
| OCT 2  | 2.16s                | 0               | NA      | NA                | -    |
| NOV 1  | 2.90s                | 0.32            | NS      | S                 | 2.14 |
| NOV 2  | 0.55s                | 0.56            | NS      | S                 | 0.83 |
| DIC 1  | 2.42s                | 0.82            | NS      | S                 | 5.67 |
| DIC 2  | 2.57s                | 0.22            | NS      | S                 | 7.29 |
| ENE 1  | 1.39s                | 0.85            | S       | S                 | 3.01 |
| ENE 2  | 0.91s                | 0.15            | NS      | S                 | 8.42 |
| FEB 1  | 1.67s                | 0               | NS      | S                 | 2.95 |
| FEB 2  | 2.01s                | 0.57            | NS      | S                 | 6.33 |

S=Significativa; NS= No Significativa; nivel de significación al 5%; NA= No Ajustada

D)

| FECHA  | ÍNDICE DE DISPERSIÓN | ÍNDICE DE GREEN | POISSON | BINOMIAL NEGATIVA | k     |
|--------|----------------------|-----------------|---------|-------------------|-------|
| SEP 1  | 3.22s                | 0.77            | S       | S                 | 44.19 |
| SEPT 2 | 1.87s                | 0               | NS      | S                 | 1.83  |
| OCT 1  | 1.54s                | 0.36            | NS      | S                 | 5.16  |
| OCT 2  | 2.06s                | 0.21            | NS      | S                 | 4.02  |
| NOV 1  | 1.49s                | 0.98            | NS      | S                 | 9.33  |
| NOV 2  | 3.22s                | 0.58            | NS      | S                 | 0.79  |
| DIC 1  | 0.67s                | 0.35            | NS      | S                 | 0.53  |
| DIC 2  | 1.93s                | 0.17            | NS      | S                 | 2.38  |
| ENE 1  | 0.45s                | 0.68            | NS      | S                 | 1.31  |
| ENE 2  | 3.16s                | 0.41            | S       | S                 | 37.05 |
| FEB 1  | 2.64s                | 0.55            | S       | S                 | 29.52 |
| FEB 2  | 0.89s                | 0               | NS      | S                 | 4.07  |

S=Significativa; NS= No Significativa; nivel de significación al 5%; NA= No Ajustada

E)

| FECHA  | ÍNDICE DE DISPERSIÓN | ÍNDICE DE GREEN | POISSON | BINOMIAL NEGATIVA | k    |
|--------|----------------------|-----------------|---------|-------------------|------|
| SEPT 1 | 2.24s                | 0.62            | NS      | S                 | 3.67 |
| SEPT 2 | 3.19s                | 0.84            | NA      | NA                | -    |
| OCT 1  | 1.65s                | 0               | NS      | S                 | 8.21 |
| OCT 2  | 1.35s                | 0.72            | S       | S                 | 6.53 |
| NOV 1  | 1.78s                | 0               | NS      | S                 | 3.44 |
| NOV 2  | 0.69s                | 0.93            | NA      | NA                | -    |
| DIC 1  | 3.44s                | 0.56            | NS      | S                 | 0.72 |
| DIC 2  | 0.44s                | 0               | NS      | S                 | 1.78 |
| ENE 1  | 2.85s                | 0.42            | NS      | S                 | 8.16 |
| ENE 2  | 0.32s                | 0.33            | NS      | S                 | 3.26 |
| FEB 1  | 1.73s                | 0.75            | NS      | S                 | 2.05 |
| FEB 2  | 1.66s                | 0.68            | NS      | S                 | 1.88 |

S=Significativa; NS= No Significativa; nivel de significación al 5%; NA= No Ajustada

**Cuadro 2.** Tablas de los Parámetros del semivariograma de los muestreos por parcela de *Mycena citricolor* de septiembre 2020 a febrero 2021 del municipio de Temascaltepec.

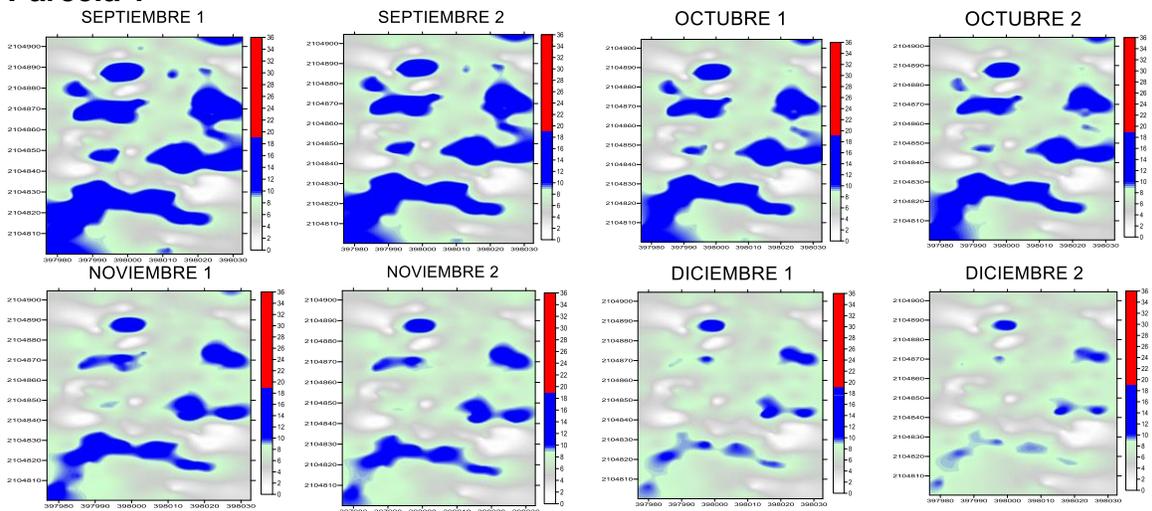
| PARCELA 1 |       |               |           |        |         |        |               |                      |
|-----------|-------|---------------|-----------|--------|---------|--------|---------------|----------------------|
| MUESTREO  | MEDIA | VARIANZA      | MODELO    | PEPITA | MESETA  | RANGO  | PEPITA/MESETA | DEPENDENCIA ESPACIAL |
| SEP 1     | 8.17  | 17.8001005025 | Esférico  | 0      | 15.84   | 15.36  | 0             | Alta                 |
| SEP 2     | 8.02  | 16.0699497487 | Esférico  | 0      | 14.4    | 14.72  | 0             | Alta                 |
| OCT 1     | 7.67  | 13.6091457286 | Esférico  | 0      | 12.32   | 14.72  | 0             | Alta                 |
| OCT 2     | 7.505 | 12.2813819095 | Esférico  | 0      | 10.92   | 15.36  | 0             | Alta                 |
| NOV 1     | 7.105 | 10.1346482412 | Esférico  | 0      | 9.5106  | 15.36  | 0             | Alta                 |
| NOV 2     | 6.965 | 9.03896984925 | Esférico  | 0      | 8.5638  | 13.44  | 0             | Alta                 |
| DIC 1     | 6.66  | 7.6024120603  | Esférico  | 0      | 6.916   | 14.08  | 0             | Alta                 |
| DIC 2     | 6.565 | 6.98067839196 | Esférico  | 0      | 6.44    | 14.08  | 0             | Alta                 |
| ENE 1     | 6.445 | 6.36881909548 | Esférico  | 0      | 6.144   | 13.489 | 0             | Alta                 |
| ENE 2     | 6.425 | 6.22550251256 | Esférico  | 0      | 5.952   | 13.292 | 0             | Alta                 |
| FEB 1     | 6.23  | 5.67547738693 | Esférico  | 0      | 5.415   | 14.08  | 0             | Alta                 |
| FEB 2     | 6.085 | 5.21384422111 | Esférico  | 0      | 4.89597 | 13.44  | 0             | Alta                 |
| PARCELA 2 |       |               |           |        |         |        |               |                      |
| SEP 1     | 7.25  | 16.6005025126 | Esférico  | 0      | 13.6    | 14.77  | 0             | Alta                 |
| SEP 2     | 7.065 | 15.1264070352 | Esférico  | 0      | 13.6    | 14.72  | 0             | Alta                 |
| OCT 1     | 3.15  | 8.57035175879 | Esférico  | 0      | 10.8    | 14.276 | 0             | Alta                 |
| OCT 2     | 6.335 | 11.0580653266 | Gaussiano | 0      | 10.44   | 10.632 | 0             | Alta                 |
| NOV 1     | 6.27  | 10.5598994975 | Esférico  | 0      | 10.34   | 13.390 | 0             | Alta                 |
| NOV 2     | 6.13  | 9.81216080402 | Esférico  | 0      | 9.8     | 12.258 | 0             | Alta                 |
| DIC 1     | 5.93  | 9.10060301508 | Esférico  | 0      | 9.009   | 12.8   | 0             | Alta                 |
| DIC 2     | 5.785 | 8.6922361809  | Esférico  | 0      | 8.613   | 12.8   | 0             | Alta                 |
| ENE 1     | 5.7   | 8.40201005025 | Esférico  | 0      | 8.064   | 13.44  | 0             | Alta                 |
| ENE 2     | 5.585 | 8.11334170854 | Esférico  | 0      | 7.938   | 12.996 | 0             | Alta                 |
| FEB 1     | 5.43  | 7.99507537688 | Esférico  | 0      | 7.68    | 12.307 | 0             | Alta                 |
| FEB 2     | 5.32  | 7.88703517588 | Esférico  | 0      | 7.3506  | 13.44  | 0             | Alta                 |
| PARCELA 3 |       |               |           |        |         |        |               |                      |
| SEP 1     | 7.62  | 33.0106532663 | Esférico  | 0      | 28.71   | 15.36  | 0             | Alta                 |
| SEP2      | 7.445 | 30.469321608  | Esférico  | 0      | 26.97   | 15.458 | 0             | Alta                 |
| OCT 1     | 7.12  | 26.9101507538 | Esférico  | 0      | 24.03   | 16     | 0             | Alta                 |
| OCT2      | 6.94  | 24.5089447236 | Esférico  | 0      | 22.75   | 14.72  | 0             | Alta                 |
| NOV 1     | 6.565 | 21.1414824121 | Esférico  | 0      | 19.0894 | 15.36  | 0             | Alta                 |
| NOV 2     | 6.415 | 19.4399748744 | Esférico  | 0      | 17.6153 | 14.72  | 0             | Alta                 |
| DIC 1     | 6.105 | 16.7376633166 | Esférico  | 0      | 15.64   | 13.932 | 0             | Alta                 |
| DIC 2     | 5.995 | 15.613040201  | Esférico  | 0      | 14.56   | 12.454 | 0             | Alta                 |
| ENE 1     | 5.81  | 14.1948743719 | Esférico  | 0      | 13.35   | 10.88  | 0             | Alta                 |
| ENE 2     | 5.725 | 13.4566582915 | Esférico  | 0      | 12.88   | 11.52  | 0             | Alta                 |
| FEB 1     | 5.6   | 12.5326633166 | Esférico  | 0      | 12.22   | 10.24  | 0             | Alta                 |
| FEB2      | 5.495 | 12.0502261307 | Esférico  | 0      | 11.88   | 10.24  | 0             | Alta                 |
| PARCELA 4 |       |               |           |        |         |        |               |                      |
| SEP 1     | 8.94  | 42.0667336683 | Esférico  | 0      | 34.0186 | 9.6    | 0             | Alta                 |
| SEP 2     | 8.63  | 37.4302512563 | Esférico  | 0      | 32.9435 | 10.24  | 0             | Alta                 |
| OCT 1     | 8.175 | 32.6576633166 | Esférico  | 0      | 28.5582 | 10.24  | 0             | Alta                 |
| OCT 2     | 7.92  | 29.6920603015 | Esférico  | 0      | 25.892  | 9.6    | 0             | Alta                 |
| NOV 1     | 7.485 | 25.7183668342 | Esférico  | 0      | 21.6597 | 10.24  | 0             | Alta                 |
| NOV 2     | 7.26  | 23.1782914573 | Esférico  | 0      | 20.1048 | 10.683 | 0             | Alta                 |
| DIC 1     | 6.875 | 19.9792713568 | Esférico  | 0      | 17.6    | 9.3546 | 0             | Alta                 |
| DIC 2     | 6.505 | 17.1457035176 | Esférico  | 0      | 15.12   | 9.6    | 0             | Alta                 |
| ENE 1     | 6.215 | 15.0138442211 | Esférico  | 0      | 13.5    | 10.139 | 0             | Alta                 |
| ENE 2     | 6.095 | 13.9356532663 | Esférico  | 0      | 12.74   | 9.5018 | 0             | Alta                 |

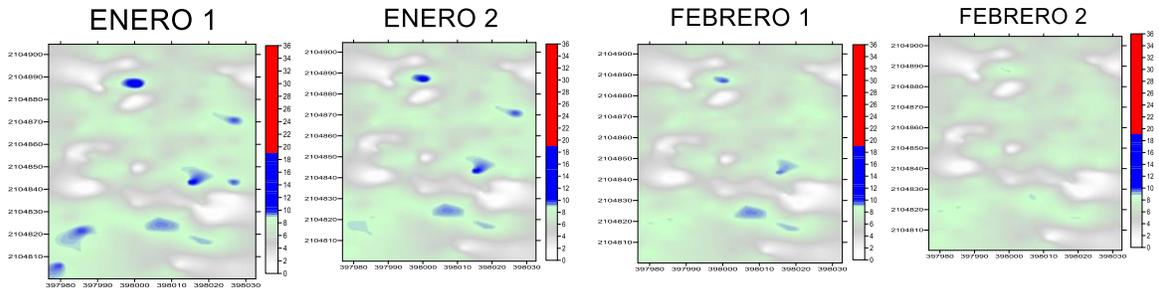
|                  |       |               |           |   |          |        |   |      |
|------------------|-------|---------------|-----------|---|----------|--------|---|------|
| FEB 1            | 5.935 | 12.6640954774 | Esférico  | 0 | 12.48    | 9.6    | 0 | Alta |
| FEB 2            | 5.73  | 11.7458291457 | Esférico  | 0 | 11.5384  | 10.043 | 0 | Alta |
| <b>PARCELA 5</b> |       |               |           |   |          |        |   |      |
| SEPT 1           | 8.74  | 35.6104522613 | Esférico  | 0 | 30.2388  | 16.377 | 0 | Alta |
| SEPT2            | 8.425 | 32.0646984925 | Esférico  | 0 | 28.8     | 15.75  | 0 | Alta |
| OCT 1            | 8.055 | 27.8311306533 | Esférico  | 0 | 24.6615  | 15.75  | 0 | Alta |
| OCT 2            | 7.8   | 24.4221105528 | Esférico  | 0 | 20.635   | 16.38  | 0 | Alta |
| NOV 1            | 7.46  | 20.9431155779 | Esférico  | 0 | 18.69    | 16.38  | 0 | Alta |
| NOV 2            | 7.385 | 19.9766582915 | Esférico  | 0 | 17.2     | 15.75  | 0 | Alta |
| DIC 1            | 7.01  | 16.8240201005 | Esférico  | 0 | 14.28    | 15.12  | 0 | Alta |
| DIC 2            | 6.8   | 14.6934673367 | Esférico  | 0 | 13.05    | 15.12  | 0 | Alta |
| ENE 1            | 6.47  | 12.3810050251 | Esférico  | 0 | 10.92    | 17.01  | 0 | Alta |
| ENE 2            | 6.25  | 10.5          | Esférico  | 0 | 9.46     | 16.38  | 0 | Alta |
| FEB 1            | 5.955 | 8.81706030151 | Esférico  | 0 | 8.096    | 15.12  | 0 | Alta |
| FEB 2            | 5.815 | 7.96057788945 | Esférico  | 0 | 7.77227  | 13.86  | 0 | Alta |
| <b>PARCELA 6</b> |       |               |           |   |          |        |   |      |
| SEPT 1           | 8.305 | 26.0321356784 | Esférico  | 0 | 22.08791 | 15.36  | 0 | Alta |
| SEPT 2           | 8.06  | 23.6647236181 | Esférico  | 0 | 22.08    | 14.474 | 0 | Alta |
| OCT 1            | 7.595 | 20.2723366834 | Esférico  | 0 | 18.06    | 14.72  | 0 | Alta |
| OCT 2            | 7.335 | 18.2942462312 | Esférico  | 0 | 16.53    | 13.44  | 0 | Alta |
| NOV 1            | 6.97  | 16.0191959799 | Esférico  | 0 | 14.1     | 13.390 | 0 | Alta |
| NOV 2            | 6.785 | 14.9133417085 | Esférico  | 0 | 14.1     | 13.44  | 0 | Alta |
| DIC 1            | 6.565 | 13.5032914573 | Esférico  | 0 | 13.16    | 13.44  | 0 | Alta |
| DIC 2            | 6.38  | 12.447839196  | Esférico  | 0 | 11.96    | 10.88  | 0 | Alta |
| ENE 1            | 6.115 | 11.2781658291 | Esférico  | 0 | 11.04    | 11.04  | 0 | Alta |
| ENE 2            | 5.9   | 10.3718592965 | Esférico  | 0 | 10.34    | 14.129 | 0 | Alta |
| FEB 1            | 5.495 | 9.09545226131 | Gaussiano | 0 | 8.9177   | 14.472 | 0 | Alta |
| FEB 2            | 5.29  | 8.50844221106 | Esférico  | 0 | 7.905    | 14.08  | 0 | Alta |

**Figura 1.** Mapas de infección de ojo de gallo en cafetales del municipio de Temascaltepec.

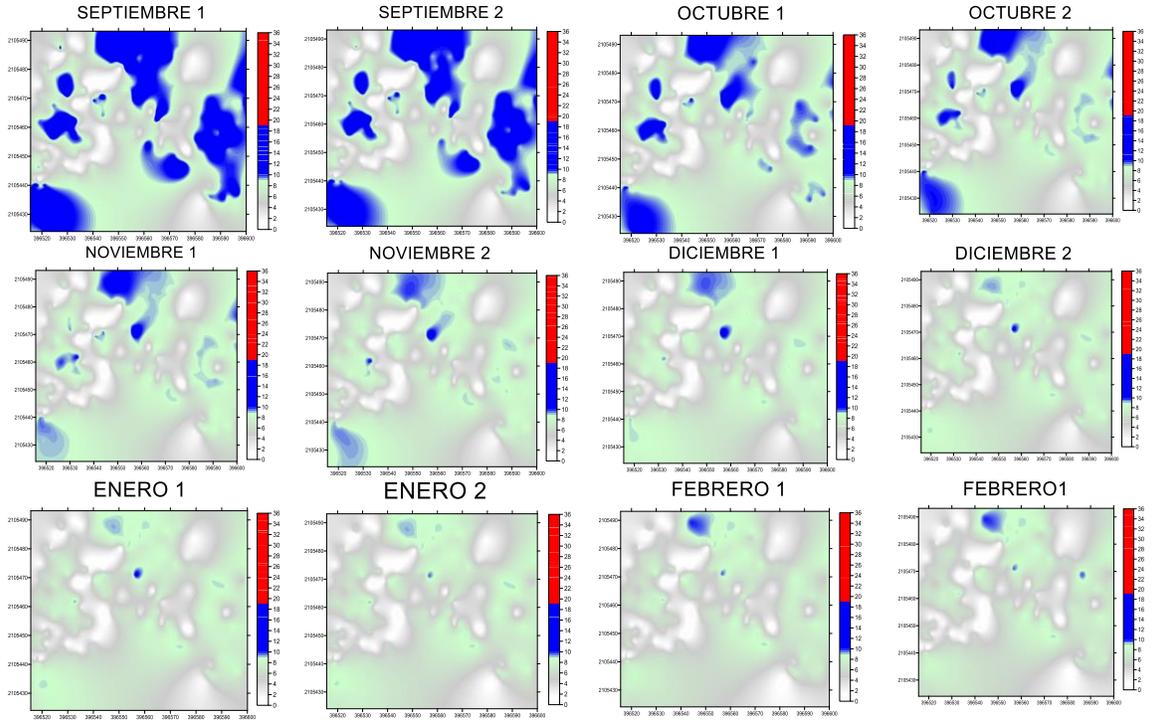
parcela.

### Parcela 1

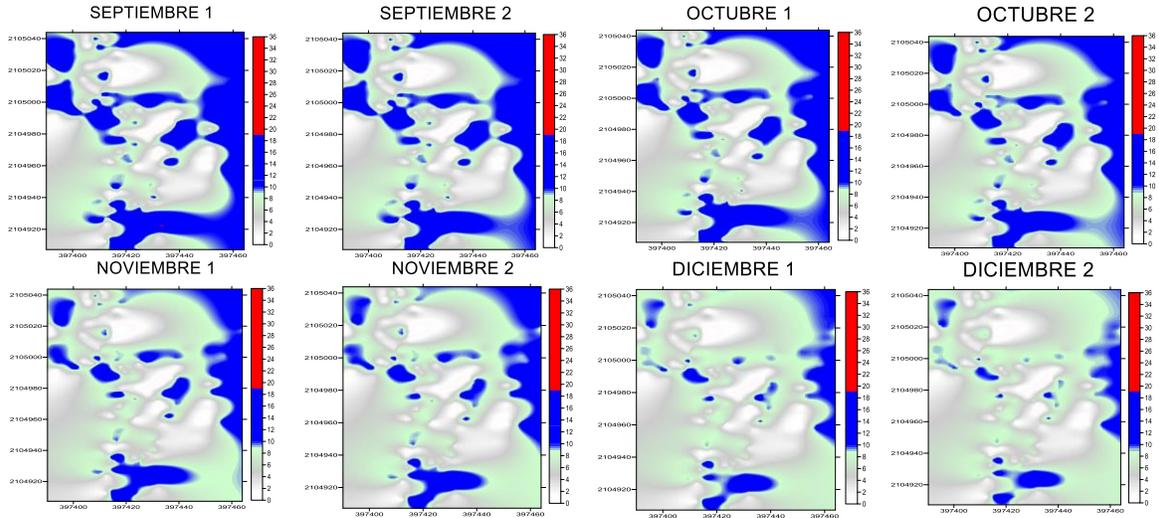


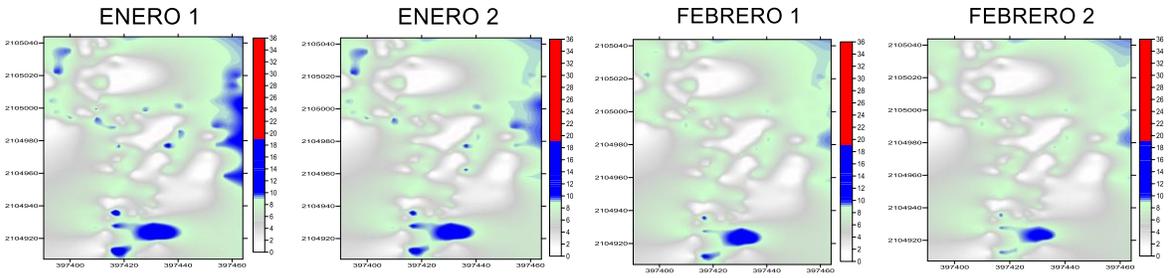


**Parcela 2**

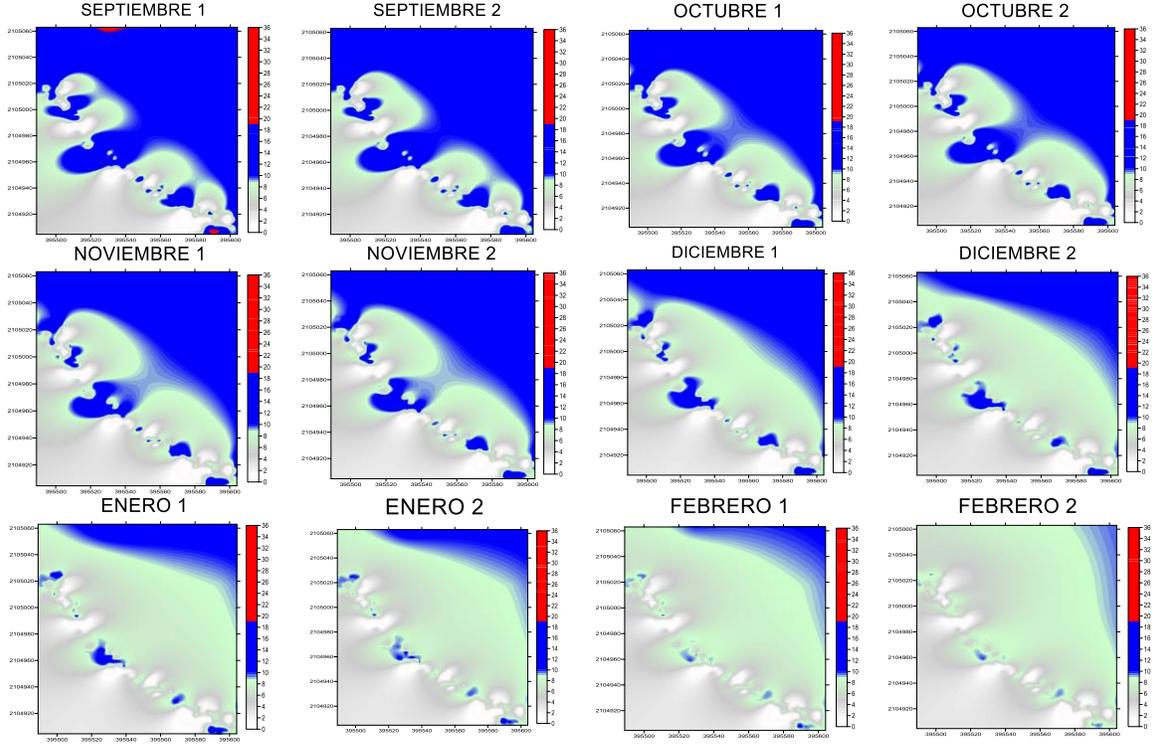


**Parcela 3**

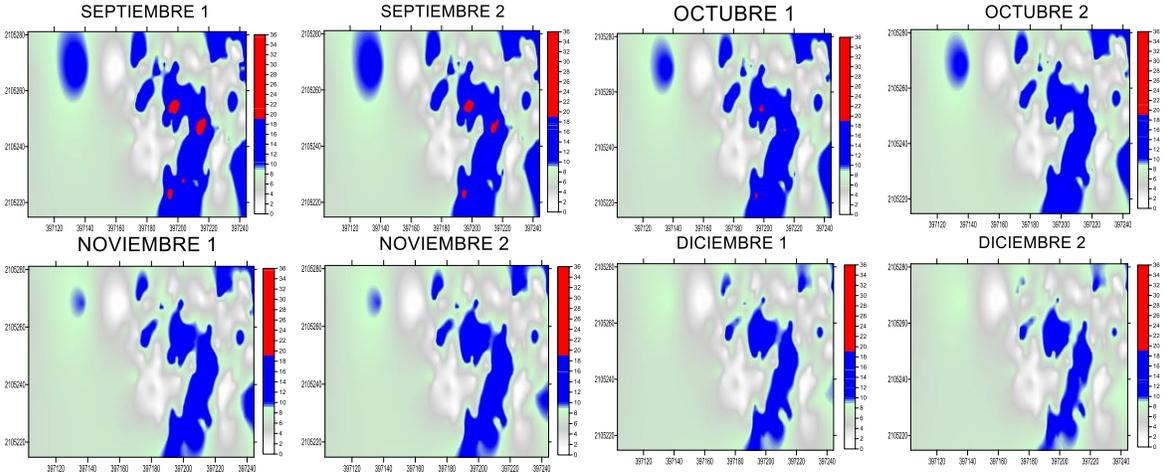


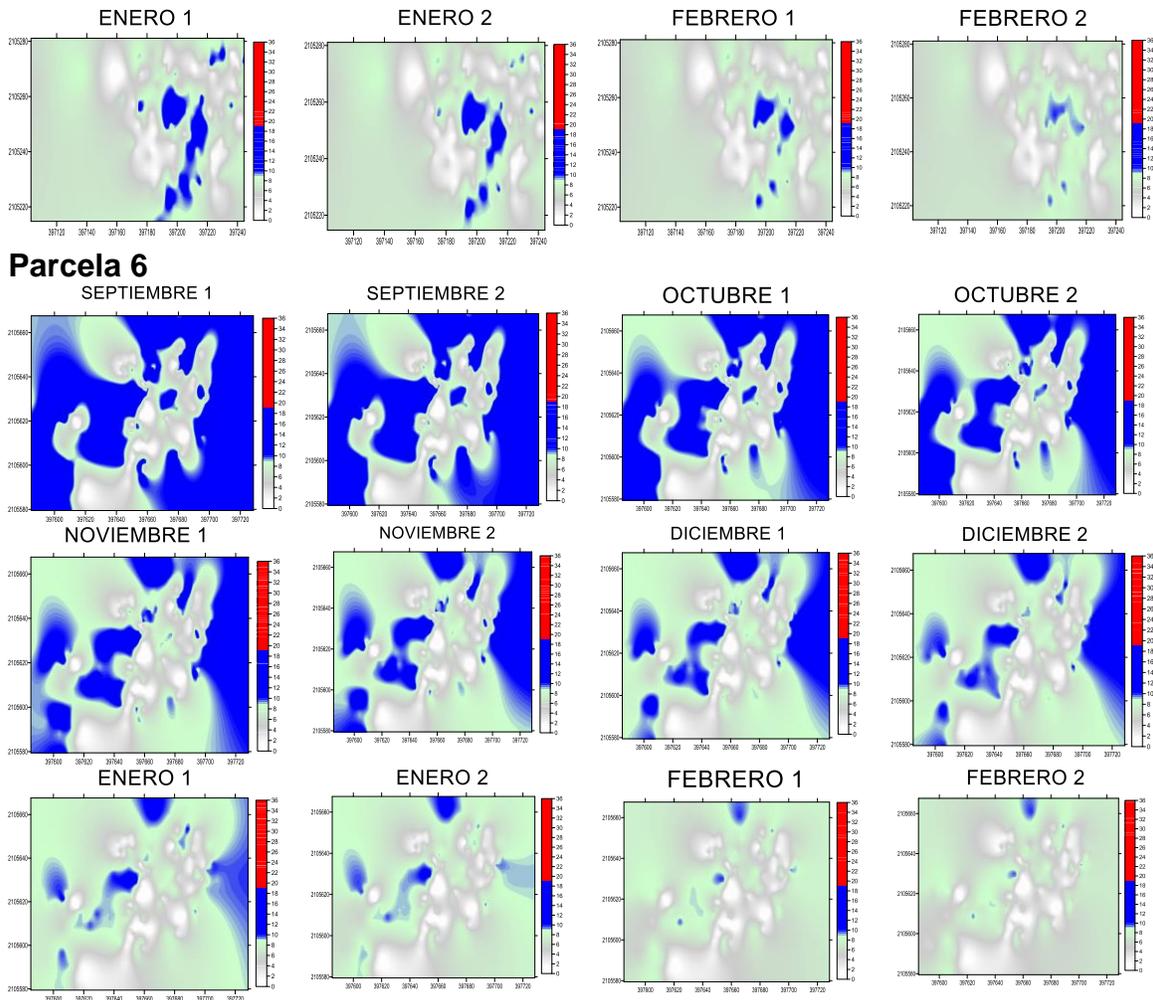


**Parcela 4**



**Parcela 5**





**Cuadro 3.** Tablas de la superficie infectada de *Mycena citricolor* por parcela de septiembre del 2020 a febrero del 2021; del municipio de Temascaltepec.

A)

| MUESTREO | SUPERFICIE INFECTADA % | SUPERFICIE NO INFECTADA % |
|----------|------------------------|---------------------------|
| SEPT 1   | 81                     | 19                        |
| SEP 2    | 82                     | 18                        |
| OCT 1    | 82                     | 18                        |
| OCT 2    | 82                     | 18                        |
| NOV 1    | 83                     | 17                        |
| NOV 2    | 83                     | 17                        |
| DIC 1    | 81                     | 19                        |
| DIC 2    | 81                     | 19                        |
| ENE 1    | 80                     | 20                        |
| ENE 2    | 79                     | 21                        |
| FEB 1    | 78                     | 22                        |
| FEB 2    | 77                     | 23                        |

B)

| MUESTREO | SUPERFICIE INFECTADA % | SUPERFICIE NO INFECTADA % |
|----------|------------------------|---------------------------|
| SEP 1    | 77                     | 23                        |
| SEP 2    | 77                     | 23                        |
| OCT 1    | 78                     | 22                        |
| OCT 2    | 78                     | 22                        |
| NOV 1    | 78                     | 22                        |
| NOV 2    | 79                     | 21                        |
| DIC 1    | 78                     | 22                        |
| DIC 2    | 77                     | 23                        |
| ENE1     | 77                     | 23                        |
| ENE2     | 76                     | 24                        |
| FEB 1    | 75                     | 25                        |
| FEB 2    | 75                     | 25                        |

C)

| MUESTREO | SUPERFICIE INFECTADA % | SUPERFICIE NO INFECTADA % |
|----------|------------------------|---------------------------|
|          |                        |                           |

D)

| MUESTREO | SUPERFICIE INFECTADA % | SUPERFICIE NO INFECTADA % |
|----------|------------------------|---------------------------|
|          |                        |                           |

|       |    |    |
|-------|----|----|
| SEP 1 | 66 | 34 |
| SEP 2 | 67 | 33 |
| OCT 1 | 68 | 32 |
| OCT 2 | 68 | 32 |
| NOV 1 | 68 | 32 |
| NOV 2 | 68 | 32 |
| DIC 1 | 67 | 33 |
| DIC 2 | 66 | 34 |
| ENE 1 | 65 | 35 |
| ENE 2 | 64 | 36 |
| FEB 1 | 63 | 37 |
| FEB 2 | 62 | 38 |

|       |    |    |
|-------|----|----|
| SEP 1 | 82 | 18 |
| SEP 2 | 83 | 17 |
| OCT 1 | 83 | 17 |
| OCT 2 | 84 | 16 |
| NOV 1 | 84 | 16 |
| NOV 2 | 84 | 16 |
| DIC 1 | 84 | 16 |
| DIC 2 | 82 | 18 |
| ENE 1 | 82 | 18 |
| ENE 2 | 81 | 19 |
| FEB 1 | 80 | 20 |
| FEB 2 | 80 | 20 |

E)

| MUESTREO | SUPERFICIE INFECTADA % | SUPERFICIE NO INFECTADA % |
|----------|------------------------|---------------------------|
| SEP 1    | 72                     | 28                        |
| SEPT 2   | 72                     | 28                        |
| OCT 1    | 72                     | 28                        |
| OCT 2    | 73                     | 27                        |
| NOV 1    | 74                     | 26                        |
| NOV 2    | 74                     | 26                        |
| DIC 1    | 73                     | 27                        |
| DIC 2    | 72                     | 28                        |
| ENE 1    | 71                     | 29                        |
| ENE 2    | 71                     | 29                        |
| FEB 1    | 70                     | 30                        |
| FEB 2    | 69                     | 31                        |

F)

| MUESTREO | SUPERFICIE INFECTADA % | SUPERFICIE NO INFECTADA % |
|----------|------------------------|---------------------------|
| SEPT 1   | 71                     | 29                        |
| SEPT 2   | 72                     | 28                        |
| OCT 1    | 73                     | 27                        |
| OCT 2    | 73                     | 27                        |
| NOV 1    | 73                     | 27                        |
| NOV 2    | 73                     | 27                        |
| DIC 1    | 71                     | 29                        |
| DIC 2    | 70                     | 30                        |
| ENE 1    | 69                     | 31                        |
| ENE 2    | 68                     | 32                        |
| FEB 1    | 68                     | 32                        |
| FEB 2    | 67                     | 33                        |

**Cuadro 4.** Tablas de ahorro económico para cada una de las parcelas muestreadas en el municipio de Amatepec.

| TEMASCALTEPEC |           |                               |           |                 |                           |           |                        |
|---------------|-----------|-------------------------------|-----------|-----------------|---------------------------|-----------|------------------------|
| Mes           | Parcela 1 | Costo en agricultura pesos/ha |           | Ahorro Pesos/ha | Fungicida aplicado (l/ha) |           | Ahorro fungicida kg/ha |
|               |           | Convencional                  | precisión |                 | convencional              | Precisión |                        |
| Sep.          |           | 1250                          | 1012.5    | 237.5           | 0.5                       | 0.4       | 0.1                    |
| Oct.          |           | 1250                          | 1025      | 225             | 0.5                       | 0.4       | 0.1                    |
| Nov.          |           | 1250                          | 1037.5    | 212.5           | 0.5                       | 0.4       | 0.1                    |
| Total         |           | 3750                          | 3075      | 675             | 1.5                       | 1.2       | 0.3                    |

| TEMASCALTEPEC |           |                               |           |                 |                           |           |                        |
|---------------|-----------|-------------------------------|-----------|-----------------|---------------------------|-----------|------------------------|
| Mes           | Parcela 2 | Costo en agricultura pesos/ha |           | Ahorro Pesos/ha | Fungicida aplicado (l/ha) |           | Ahorro fungicida kg/ha |
|               |           | Convencional                  | precisión |                 | convencional              | Precisión |                        |
| Sep.          |           | 1250                          | 962.5     | 287.5           | 0.5                       | 0.38      | 0.12                   |
| Oct.          |           | 1250                          | 975       | 275             | 0.5                       | 0.39      | 0.11                   |
| Nov.          |           | 1250                          | 975       | 275             | 0.5                       | 0.39      | 0.11                   |
| Total         |           | 3750                          | 2912.5    | 837.5           | 1.5                       | 1.16      | 0.34                   |

| TEMASCALTEPEC |           |                               |           |                 |                           |           |                        |
|---------------|-----------|-------------------------------|-----------|-----------------|---------------------------|-----------|------------------------|
| Mes           | Parcela 3 | Costo en agricultura pesos/ha |           | Ahorro Pesos/ha | Fungicida aplicado (l/ha) |           | Ahorro fungicida kg/ha |
|               |           | Convencional                  | precisión |                 | convencional              | Precisión |                        |
| Sep.          |           | 1250                          | 825       | 425             | 0.5                       | 0.33      | 0.17                   |
| Oct.          |           | 1250                          | 850       | 400             | 0.5                       | 0.34      | 0.16                   |
| Nov.          |           | 1250                          | 850       | 400             | 0.5                       | 0.34      | 0.16                   |
| Total         |           | 3750                          | 2525      | 1225            | 1.5                       | 1.01      | 0.49                   |

| TEMASCALTEPEC |           |                               |           |                 |                           |           |                        |
|---------------|-----------|-------------------------------|-----------|-----------------|---------------------------|-----------|------------------------|
| Mes           | Parcela 4 | Costo en agricultura pesos/ha |           | Ahorro Pesos/ha | Fungicida aplicado (l/ha) |           | Ahorro fungicida kg/ha |
|               |           | Convencional                  | precisión |                 | convencional              | Precisión |                        |
| Sep.          |           | 1250                          | 1025      | 225             | 0.5                       | 0.41      | 0.9                    |
| Oct.          |           | 1250                          | 1037.5    | 212.5           | 0.5                       | 0.41      | 0.9                    |
| Nov.          |           | 1250                          | 1050      | 200             | 0.5                       | 0.42      | 0.8                    |
| Total         |           | 3750                          | 3112.5    | 637.5           | 1.5                       | 1.24      | 0.42                   |

| TEMASCALTEPEC |           |                               |           |                 |                           |           |                        |
|---------------|-----------|-------------------------------|-----------|-----------------|---------------------------|-----------|------------------------|
| Mes           | Parcela 5 | Costo en agricultura pesos/ha |           | Ahorro Pesos/ha | Fungicida aplicado (l/ha) |           | Ahorro fungicida kg/ha |
|               |           | Convencional                  | precisión |                 | convencional              | Precisión |                        |
| Sep.          |           | 1250                          | 900       | 350             | 0.5                       | 0.36      | 0.14                   |
| Oct.          |           | 1250                          | 912.5     | 337.5           | 0.5                       | 0.36      | 0.14                   |
| Nov.          |           | 1250                          | 925       | 325             | 0.5                       | 0.37      | 0.13                   |
| Total         |           | 3750                          | 2737.5    | 1337.5          | 1.5                       | 1.09      | 0.41                   |

| TEMASCALTEPEC |         |                               |           |                 |                           |           |                        |
|---------------|---------|-------------------------------|-----------|-----------------|---------------------------|-----------|------------------------|
| Mes           | Parcela | Costo en agricultura pesos/ha |           | Ahorro Pesos/ha | Fungicida aplicado (l/ha) |           | Ahorro fungicida kg/ha |
|               |         | Convencional                  | precisión |                 | convencional              | Precisión |                        |

|       |   |      |        |        |     |      |      |
|-------|---|------|--------|--------|-----|------|------|
|       | 6 |      |        |        |     |      |      |
| Sep.  |   | 1250 | 887.5  | 362.5  | 0.5 | 0.35 | 0.15 |
| Oct.  |   | 1250 | 912.5  | 337.5  | 0.5 | 0.36 | 0.14 |
| Nov.  |   | 1250 | 912.5  | 337.5  | 0.5 | 0.36 | 0.14 |
| Total |   | 3750 | 2712.5 | 1037.5 | 1.5 | 1.07 | 0.78 |

A la información obtenida se le aplicó métodos estadísticos clásicos, la modelización y mapeo de *Mycena citricolor*. De igual manera se determinó el porcentaje real de infección por ojo de gallo para cada una de las parcelas muestreadas en el municipio, y con ellos se estableció el tipo de comportamiento espacial que presenta la enfermedad. Los resultados obtenidos por cada uno de los métodos aplicados, para las 6 parcelas de estudio, se debatirán por apartados específicos.

**Estadística clásica.** En el cuadro1 se observa el tipo de distribución espacial que muestra *Mycena citricolor* en las parcelas estudiadas del municipio de Temascaltepec; en este caso el índice de dispersión en la mayoría de los muestreos, se obtuvieron valores mayores a uno y de acuerdo a Espinoza, *et al.*, (2019), menciona que cuando se presenta un índice  $>1$  el hongo se comporta de forma agregada, pero al presentar valores  $< 1$  (coloreados en rojo) indican del mismo modo una distribución aleatoria, esto en comparación con los valores obtenidos en el índice de Green. Malhado y Petrere (2004) describen en su estudio que el Índice de Green es el más adecuado de los índices de dispersión, sin embargo, cuenta con dificultades al no tener una varianza, impidiendo calcular los límites de significancia, por lo que es imposible indicar los puntos de agregación. También se observa que la mayoría de los muestreos es significativa (S) para el modelo Binomial Negativo, Silva *et al.*, (2016) menciona que el modelo binomial negativo es probablemente la distribución más utilizada para modelizar fenómenos agrupados, es decir, poblaciones agregadas. De igual forma se observa que existen algunos muestreos son significativos (S) para el modelo Poisson que corresponde a una distribución aleatoria. Sin embargo, se puede examinar que en algunas tablas es significativo (S) o no ajusta (NA), para ambos modelos, indicando una distribución aleatoria y en agregados al mismo tiempo (S) o no presentando ningún tipo de comportamiento espacial de la enfermedad (NA). En el caso del último índice  $k$  se

pueden ver valores que van desde 0.53 a 44.19 como máximo y de acuerdo a Ramírez y Figueroa (2013) mencionan que el factor  $k$  es un indicador de agregación débil cuando los valores son elevados.

Las estadísticas clásicas muestran limitaciones porque algunos de los datos obtenidos no son claros, en algunos casos las muestras presentan ambas distribuciones (aleatoria y agrupada), o no se ajustan a ningún tipo de distribución.

**Estadística espacial.** Para el siguiente análisis se realizaron 72 semivariogramas solamente para el municipio de Temascaltepec, en los cuales se observa que la enfermedad ojo de gallo mostro una distribución espacial de forma agregada, obteniendo modelos ajustados de tipo esférico en la mayoría de las parcelas; a excepción de las parcelas 2 y 6 en los muestreos OCT 2 y FEB 1 respectivamente, presentaron un modelo de tipo Gaussiano (Cuadro 2). Ramírez *et al.*; (2018) menciona que el ajuste al modelo esférico indica que las agregaciones se presentaron en zonas específicas dentro de la parcela respecto al resto de puntos de muestreo y que la plaga se desplaza de un punto específico hacia otros puntos dentro de la parcela. Ribes *et al.*, (1998) observaron que el ajuste al modelo gaussiano indica que el comportamiento de la agregación de la plaga se expresa de forma continua dentro de la parcela estudiada. Para los parámetros ajustados que permiten la verificación del modelo, es conveniente mencionar la importancia del rango, porque es el que explica el grado de correlación entre los datos muestreados; el valor obtenido de este inicia en 9.6 y llega a 34.01 para las seis parcelas. El efecto pepita representa el origen del semivariograma, este parámetro tuvo valores de cero para cada uno de los modelos ajustado, que, de acuerdo a Ramírez *et al.*, (2011), el tener un valor bajo indica que la escala de muestreo utilizada fue la correcta y el error de muestreo fue mínimo, sugiriéndose que los modelos ajustados tienen un 98% de confiabilidad. la meseta es otro parámetro que indica el punto máximo donde hay una intersección entre los datos; el nivel de dependencia espacial se obtiene dividiendo el efecto pepita entre meseta, y el resultado se expresa como un porcentaje (Tapia *et al.*, 2020). Por ultimo los niveles de dependencia espacial fueron altas para todos los muestreos dentro de las parcelas

estudiadas, esto nos indicó que el ojo de gallo tiene una resistente dependencia espacial; Se considera que una variable tiene una fuerte dependencia espacial si el valor es menor que 25 % y una dependencia espacial moderada si el valor esta entre el 25 y 75 %, de lo contrario, la variable tiene una débil dependencia espacial (Espinoza *et al.*, 2019).

**Estimación de la superficie.** En esta investigación se generaron mapas a través del krigeado, para estimar los porcentajes de superficie infectada y los valores asociados a puntos no muestreados. Los 72 mapas obtenidos de la superficie infectada muestran la presencia de *Mycena citricolor* en las diferentes parcelas del municipio de Amatepec (Figura 1); mostrando que las poblaciones de ojo de gallo están distribuidas en puntos centrales de agregación, los cuales se conservaron durante todos los muestreos, indicando que la enfermedad está localizada en la región y de igual manera se encuentra constante y latente esperando las condiciones ambientales adecuadas para multiplicarse. De acuerdo a lo anterior podemos observar que, en los meses de septiembre, octubre, noviembre y diciembre los puntos de agregación de ojo de gallo son más pronunciados y disminuyeron a partir del mes de enero; esto es debido a que la temporada de sequias inicia a finales de diciembre en el municipio. Tapia *et al.*, (2020) en su trabajo Análisis Espacial de antracnosis en el cultivo de aguacate menciona que los 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. Cárdenas *et al.*, (2017) mencionan que los semivariogramas y los mapas generados a través del krigeado permiten identificar focos de infección de las enfermedades, y, a su vez, sugiere que la Geoestadística es una herramienta que puede explicar la disposición espacial que siguen las enfermedades de los cultivos, y de esta manera poder ayudar a tomar decisiones acertadas y oportunas, ayudando a generar estrategias de manejo integrales.

En el cuadro 3 se puede ver el porcentaje del área que realmente está infectada por el hongo en las parcelas de estudio. La parcela numero 4 (D) tiene el mayor porcentaje de infección por Ojo de gallo con un 82% como máximo un mínimo de

80% de infección. La parcela numero 3 (C) tienen el menor porcentaje de infección por *M. citricolor* con un 62% como mínimo y 66% como máximo. Los meses de septiembre a diciembre tiene mayor incidencia de infección, esto debido a las diferentes condiciones climáticas presentes en el municipio; como la temperatura relativamente fresca comprendidas entre 19 y 23°C, en comparación con la requerida por otros hongos que atacan plantas de café. Para enero y febrero el porcentaje de la superficie infectada no disminuye considerablemente, esto debido a que la temperatura se mantuvo en estos meses.

Los agricultores toman medidas de aplicación normal, con agroquímicos en plantas de café, que utilizan y que proporciona una mejor protección contra el ataque de *M. citricolor* es el Cyproconazol fungicida sistémico y de contacto con actividad preventiva, curativa y erradicante. Inhibidor de la C14 desmetilación en la biosíntesis de los esteroides, impide la biosíntesis del ergosterol, componente de la membrana celular de numerosos hongos. Las aplicaciones se realizan una vez en tiempo de sequías y aumenta de tres a cuatro veces en temporada de lluvia. En el cuadro 4 se observan las cifras obtenidas del ahorro en pesos y en fungicidas para cada una de las parcelas, obteniendo un ahorro económico mayor en la parcela 3 y 6, esto debido a que son las parcelas con menor incidencia de la enfermedad.

## VIII. DISCUSIÓN GENERAL

La agricultura juega un papel fundamental para la población porque es uno de los sectores que no se detiene. Satisfacer las necesidades alimentarias de un país o del mundo es una tarea que debe ser reconocida, asegurando la disponibilidad de alimentos durante la crisis que atraviesa el mundo entero.

Actualmente el café se ha convertido en una de las bebidas más consumidas a nivel mundial. De acuerdo a los datos de la secretaria de agricultura y desarrollo social, se calcula que a nivel mundial se consumen a diario 2,250 millones de tazas de café.

En México la producción de café es un generador de empleos, y divisas para el país. En los últimos años, la producción de café orgánico se ha vuelto relevante en la Actualidad, México es el segundo productor de café orgánico a nivel mundial, solamente superado por Perú. La producción de café ha disminuido en las últimas tres décadas, debido a diferentes causas, como son: la disminución en el precio internacional, la caída en el rendimiento por el agotamiento de los cafetos, los altos costos que enfrentan los productores y a plagas y enfermedades, que actualmente afecta al cultivo (CEDRSSA, 2014).

El respaldo de este trabajo responde a la necesidad de exponer las dificultades que enfrentan los agricultores todos los días, para brindarles a los consumidores los mejores productos y centrar la atención en la necesidad de buscar mecanismos que ayuden abordar los factores que afectan los cultivos, como las plagas y enfermedad, y el cambio climático.

En el apartado de la **estadística clásica**, se examinó el tipo de distribución espacial que muestra *Mycena citricolor* en cada una de las parcelas estudiadas en los diferentes municipios; esto se realizó utilizando métodos clásicos, como el índice de dispersión, Índice de Green, Binomial negativa y Poisson; mostrando valores que indican que la enfermedad se comporta de manera agregada y aleatoria en cada una de las parcelas estudiadas; mostrando que la estadística clásica tiene limitaciones debido a que algunos datos obtenidos no son claros ya que en algunos

casos los muestreos presentan dos tipos de distribución (aleatoria y agregación) al mismo tiempo o simplemente no se ajustan a ningún tipo de distribución.

Por otra parte, la **estadística espacial** no indicó que la enfermedad provocada por *Mycena citricolor* mostro una distribución espacial de forma agregada, obteniendo modelos ajustados de tipo Gaussiano y esférico en la mayoría de las parcelas; que de acuerdo a varios autores indican que al obtener este tipo de ajuste la enfermedad se disemina a partir de una fuente primaria de inóculo que se expresa, en términos espaciales, en un patrón agregado.

Para la **estimación de la superficie**, se generaron mapas a través del krigado, con el fin de estima los porcentajes de la superficie infectada y los valores asociados a puntos no muestreados. Los mapas obtenidos de la superficie infectada muestran la presencia de *Mycena citricolor* en las diferentes parcelas de, los municipios; mostrando que las poblaciones de ojo de gallo están distribuidas en puntos centrales de agregación, los cuales se conservaron durante todos los muestreos, indicando que la enfermedad está localizada en la región y de igual manera se encuentra constante y latente esperando las condiciones ambientales adecuadas para multiplicarse.

El **Ahorro económico y ambiental**, se realizó como un supuesto, debido a que los agricultores toman medidas de aplicación normal, con agroquímicos en plantas de café, actualmente se utiliza como protección contra el ataque de *M. citricolor* es el Ciproconazol fungicida sistémico y de contacto con actividad preventiva, curativa y erradicante. Las aplicaciones se realizan una vez en tiempo de sequias y aumenta de tres a cuatros veces en temporada de lluvia. El fin de conocer con exactitud la superficie infectada y los puntos de agregación de la enfermedad es realizar aplicaciones dirigidas a las áreas infectadas, provocando un gasto menos en agroquímicos y un daño menor al ambiente.

La contaminación ambiental por plaguicidas está dada fundamentalmente por aplicaciones directas en los cultivos agrícolas, lavado inadecuado de tanques contenedores, filtraciones en los depósitos de almacenamiento y residuos

descargados y dispuestos en el suelo, derrames accidentales, el uso inadecuado de los mismos por parte de la población, que frecuentemente son empleados para contener agua y 6 alimentos en los hogares ante el desconocimiento de los efectos adversos que provocan en la salud. La unión de estos factores provoca su distribución en la naturaleza. Los restos de estos plaguicidas se dispersan en el ambiente y se convierten en contaminantes para los sistemas biótico (animales y plantas principalmente) y abiótico (suelo, aire y agua) amenazando su estabilidad y representando un peligro de salud pública. Factores como sus propiedades físicas y químicas, el clima, las condiciones geomorfológicas de los suelos y las condiciones hidrogeológicas y meteorológicas de las zonas, definen la ruta que siguen los mismos en el ambiente (Del Puerto *et al.*, 2014).

De acuerdo a lo anteriormente mencionado, es de mucha ayuda conocer las áreas con presencia de la enfermedad para así poder adoptar buenas prácticas agrícolas como; elegir el agroquímico adecuado según la plaga a controlar, controles alternativos como el manejo biológico que en la actualidad ha tomado un papel muy importante en la agricultura, estudios efectuados han encontrado que el hongo *Trichoderma spp.* Inhibe la formación de cabecitas de *M. citricolor*, logrando disminuir el potencial del patógeno (Rivallas y Castro, 2011).

## IX. CONCLUSIÓN GENERAL

En esta investigación se logró determinar la distribución espacial de *Mycena citricolor* utilizando estadística clásica (Índice de Dispersión, Índice de Green, Binomial Negativa e Índice de Poisson) y Geoestadística espacial, en tres municipios productores de café en el Estado de México. Esto con el fin de comprar ambos métodos estadísticos y concluir que método es mas adecuado.

Para ubicar el patrón espacial de ojo de gallo, se elaboraron mapas de densidad para las tres zonas de estudio. Además de que se pudo estimar la superficie real por ojo de gallo.

En este trabajo se confirmó que ojo de gallo es una enfermedad que se distribuye de forma agregada en las parcelas de producción de café en el Estado de México. El patrón espacial de las enfermedades de los cultivos a lo largo del tiempo es un aspecto que debe ser considerado en cualquier manejo de cultivos.

El cultivo de café es susceptible al ataque de enfermedades como ojo de gallo. Las condiciones ambientales (humedad y temperaturas frescas) y las condiciones establecidas por los mismos productores como el factor sombra y el manejo integral juegan un papel importante en la aparición, proceso de infeccioso de la enfermedad.

Conocer con exactitud el área de la superficie infectada es de importancia para poder realizar un control dirigido a los cultivos y así poder reducir un gasto económico y ambiental con la utilización de agroquímicos. Los resultados obtenidos en este trabajo ayudaran a percatar y dimensionar el problema de la enfermedad ojo de gallo presente en los cafetales del estado de México para ayudar con propuestas y programas de manejo integrado a este problema fitosanitario.

## X. REFERENCIAS

- Asociación Nacional del Café Anacafé. (2017). Asociación Nacional del Café. <https://www.anacafe.org>
- Asociación Nacional del Café (Anacafé). Marzo 2019. Manual Técnico para la Producción de Café Robusta. Guatemala.
- Arcila, J. (2007). Factores que determinan la productividad del cafetal. Sistemas de producción de café en Colombia, Chinchiná, Cenicafé.
- Barquero M. 2011. Algunas consideraciones sobre el ojo de gallo. Revista informativa ICAFE, San José, Costa Rica. p. 11-15.
- Barrera, J.F. 2014a. Plagas y enfermedades del café: Identificación, bioecología y manejo agroecológico. Edición: 1a Editorial: Universidad Autónoma de Chiapas, Mexico. P. 96
- Cárdenas PNJ, Darghan CAE, Sosa RMD y Rodríguez A. 2017. Análisis espacial de la incidencia de enfermedades en diferentes genotipos de cacao (*Theobroma cacao* L.) en El 18 Yopal (Casanare), Colombia. Acta Biológica Colombiana 22: 209-220. <https://doi.org/10.15446/abc.v22n2.61161>
- Castaño A., J.J. Principales causas predisponentes para la enfermedad de la “Gotera” en nuestros cafetales. Revista cafetera de Colombia 10(122):3750-3756. 1951
- CEDRSSA. 2014. Producción y mercado de café en el Mundo y en México. Reporte del Centro de Estudios para el Desarrollo Rural. Sustentable y la Soberanía Alimentaria. LXII Legislatura, Cámara de Diputados.
- CENICAFE. 2011. Ojo de gallo o gotera del cafeto *Omphalia flava*. Centro Nacional de Investigación de Café (CENICAFE). Chinchiná, Caldas, Colombia.
- De la Iglesia, D., Cascaret, L. 2000. Especies hospedantes de *Mycena citricolor* (Berk., et Curt.) Sacc. en plantaciones de cafeto (*Coffea arabica* L.)

Fitosanidad. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=209118236004>>ISSN 1562- 3009 (Consulta septiembre 2022).

Del Puerto, A; Suárez, S; Palacio, D. 2014. Efectos de los plaguicidas sobre el ambiente y la salud (en línea). *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología* 52(3):372- 387. Disponible en [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S156130032014000300010&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S156130032014000300010&lng=es&nrm=iso&tlng=es).

Ejecutivo, R. (2015). Estudio de necesidades de innovación productiva para los cafeticultores del estado de Tabasco.

Espinoza Zúñiga, P., Ramírez Dávila, J. F., Cibrián Tovar, D., Villanueva Morales, A., Cibrián Llanderal, V. D., Figueroa Figueroa, D. K., y Rivera Martínez, R. (2019). Modelación de la distribución espacial del muérdago (Santalales: Loranthaceae) en las áreas verdes de la delegación Tlalpan, México. *Bosque (Valdivia)*, 40(1), 17–28. <https://doi.org/10.4067/s0717-92002019000100017>

Foster, A.J.; Jenkinson, J.M.; Talbot, N.J.2003. Trehalose synthesis and metabolism are required at different stages of plant infection by *Magnaporthe grisea*. *EMBO J* 22 (2): 225-235.

Florez Ramos, C, P; Ibarra Ruales, L. N; Gómez Gil, L. F; Carmona González, C. Y; Castaño Marín, A; Ortiz, A. (2013). Estructura y funcionamiento de la planta de café. In: *Manual del Cafetero Colombiano*. Tomo I. CENICAFE, Colombia. pp 118-122.

Giraldo, R. (2002). *Introducción a la geoestadística: Teoría y aplicación*. Bogotá: *Universidad Nacional de Colombia*.

Gobierno municipal de Sultepec, 2022 <https://sultepec.gob.mx/tu-municipio/medio-fisico> (consulta: septiembre 2022)

González, J., Guerra, F., Gómez, H. (2007). *Geoenseñanza*. *Geoenseñanza*, 12(1), 81–90.

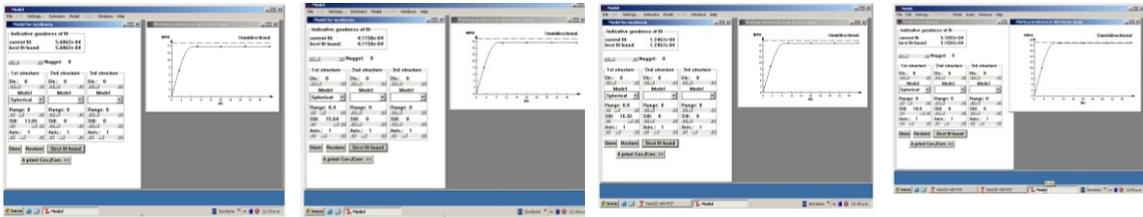
- INEGI, 2001. Síntesis de Información Geográfica del Estado de México. Nomenclatura y Anexo Cartográfico. Aguascalientes, Ags., México. 139 pp.
- INEGI. 2009. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Sitio web: <http://www.inegi.org.mx/>. (Consulta: septiembre de 2021).
- INEGI. 2020. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Sitio web: <http://www.inegi.org.mx/>. (Consulta: septiembre de 2021).
- Isaaks E and Srivastava M. 1988. Spatial continuity measures for probabilistic and deterministic geostatistics. *Mathematical Geology* 20(4): 313-341. <https://doi.org/10.1007/BF00892982>
- Journel A and Huijbregts CJ. 1978. Mining geostatistics. London, United Kingdom: Academic Press.
- Kirk, PM; Cannon, JC; Stalpers, JA. 2008. Ainsworth & Bisbys dictionary of the Fungi. Great Britain, CAB. 771 p.
- Malhado CM, M Petreire. (2004). Behaviour of dispersion indices in pattern detection of a population of angico, *Anadenanthera peregrina* (Leguminosae). *Brazilian Journal of Biology* 64(2): 243-249
- Manual de producción sostenible de café en la República Dominicana / Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. – República Dominicana: IICA, 2019.
- Moguel, P. & V.M. Toledo. 1996. El café en México, ecología, cultura indígena y sustentabilidad. *Ciencias* 43: 40-51
- Puerta Q., G.I.; Rios A., S. 2011. Composición química del mucílago de café, según el tiempo de fermentación y refrigeración. *Cenicafé* 62 (2): 23-40.
- Ramírez DJF, Porcayo CE, Sanchez PJR (2011) Análisis de la distribución espacial de *Bactericera cockerelli* Sulc (Hemiptera: *Triozidae*) en *Solanum tuberosum* L. en Donato Guerra, México. *Bol. Mus. Entomol. Univalle* 12: 12-24

- Ramírez, J. F., y Figueroa, D. K. (2013). Modelización y mapeo de la distribución espacial de *Bactericera cockerelli* Sulc (Hemiptera: Triozidae) en papa en el estado de México. *Revista Centro Agrícola*, 40(3), 57–70.
- Ramírez DJF, Rivera MR, Acosta GAD, Maldonado ZFI, Lara DIA, Figueroa FDK, (2018) Estudio de la distribución espacial de *scirtothrips* sp. (insecta: *thysanoptera*) y su control mediante el depredador *orius insidiosus* say. en el cultivo de aguacate en México. *INVERCIENCIA* 43:7
- Ribes DM, Bascuñana CM, Avilla HJ (1998) Estudio de la distribución espacial de *Cydia pomonella* (L.) y *Pandemis heparana* (Denis & Schiffermüller) en Torregrossa (Lleida) mediante métodos geoestadísticos. *Bol. Sanid. Veg. Plagas* 24: 935-948.
- Rivillas C y Castro Á. 2011. Ojo de gallo o gotera del cafeto. *Cenicafe* 24. [www.cenicafe.org/es/publications/bot037.pdf](http://www.cenicafe.org/es/publications/bot037.pdf)
- Rozas V, JJ Camarero. 2005. Técnicas de análisis espacial de patrones de puntos aplicadas en ecología forestal. *Investigación Agraria: Sistemas Recursos Forestales* 14(1): 79-97.
- SADER. (2019). Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural. <http://www.agricultura.gob.mx/sader/datos-2015> (consultado septiembre 2022)
- SADER. (2020). Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural. <http://www.agricultura.gob.mx/sader/datos-2015> (consultado septiembre 2022)
- Sánchez, L. F., Alvarez Cervantes, J., Díaz, R., & Díaz Godínez, G. (2017). Uso potencial de biorreactores para la producción de lacasas de hongos basidiomicetos. *Mexican journal of biotechnology*, 2(1), 15-36.
- SENASICA. 2014. Situación epidemiológica de la roya del cafeto y otros riesgos fitosanitarios asociados al cultivo del café en Chiapas, Puebla y Veracruz. Informe epidemiológico mayo 2014. SENASICA, México. 12 p

- SENASICA. (2017). Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. PT\_VECC\_EDO\_MEX\_2017\_.pdf (p. 7). (consulta octubre 2022)
- SIAP. (2017). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. <https://www.gob.mx/siap> (consulta septiembre 2022)
- SIAP. (2019). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. <https://www.gob.mx/siap> (consulta septiembre 2022)
- SIAP. 2021. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/667940/Escenario\\_cafe\\_ago21](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/667940/Escenario_cafe_ago21). (consultado septiembre 2021)  
Twizeyman
- Silva AS, TA Mota, NY Pineyro, MG Fernandes, FF Pereira. 2016. Distribución espacial de *Vatiga* spp. (Hemiptera: Tingidae) en el cultivo de yuca. *Acta Biológica Colombiana* 21(1):195-200. DOI: 10.15446/abc.v21n1.46762
- Subit Lamí, D., Sierra Ricaba, P. M., & Casanovas Cosío, E. (2020). El cultivo del café (*Coffea arabica* L) y su susceptibilidad a la roya (*Hemileia vastatrix* Berkeley & Broome) en la provincia Cienfuegos. *Revista Científica Agroecosistemas*, 8(3), 109-114.
- Tapia Rodríguez, A., Ramírez Dávila, J. F., Salgado Siclán, M. L., Castañeda Vildózola, Á., Maldonado Zamora, F. I., & Lara Díaz, A. V. (2020). Spatial distribution of anthracnose (*Colletotrichum gloeosporioides* Penz) in avocado in the State of Mexico, Mexico | Distribución espacial de antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides* Penz) en aguacate en el Estado de México, México. *Revista Argentina de Microbiología*, 52(1), 72–81.
- Thurston H. D. 1989. Enfermedades de cultivos en el trópico. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica. 235 p.

- Villaseñor A. 1987. Caficultura moderna en México. Agrocomunicación Sáenz Colín y Asociados, Estado de México, México. p. 469.
- Vargas, L.G. 2003. Determinación de la enzima trehalasa en el hongo *Mycena citricolor*. En: Memoria Congreso Alianza Tecnológica para la Agricultura con Calidad, V Congreso Nacional de Fitopatología, V Congreso Iberoamericano de Agroplasticultura y IV Congreso Nacional de Suelos. San José, Costa Rica. p32.
- Wang A., Avelino J. 1999. El ojo de gallo del cafeto (*Mycena citricolor*). In: Bertrand Benoit (ed.), Rapidel Bruno (ed.). Desafios de la caficultura en Centroamerica. San Jose: IICA, p.243-260.



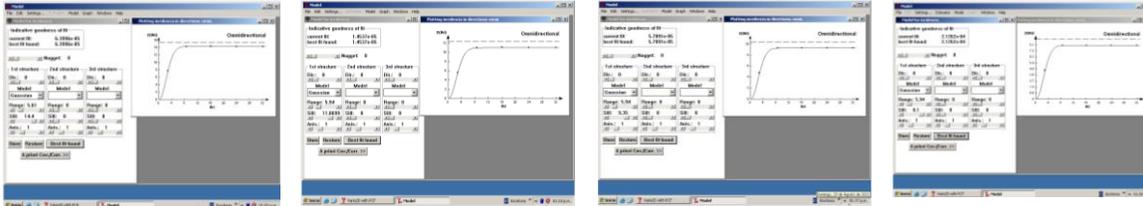


**Parcela 3**  
MARZO 1

MARZO 2

ABRIL 1

ABRIL 2

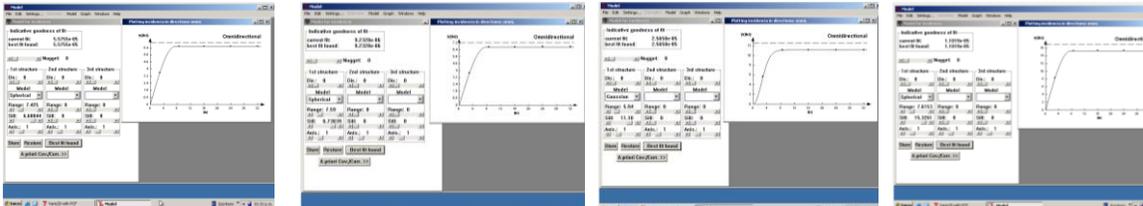


MAYO 1

MAYO 2

JUNIO 1

JUNIO 2



JULIO 1

JULIO 2

AGOSTO 1

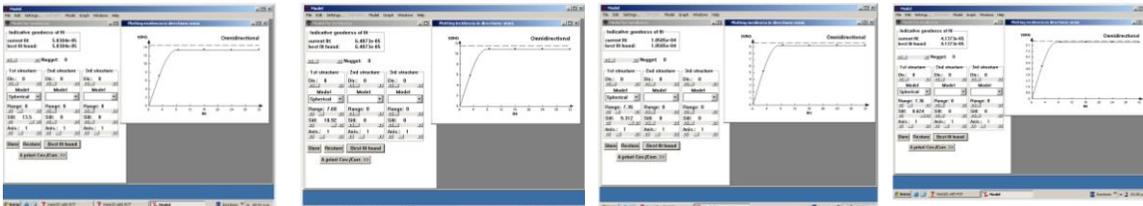
AGOSTO 2

**Parcela 4**  
MARZO 1

MARZO 2

ABRIL 1

ABRIL 2

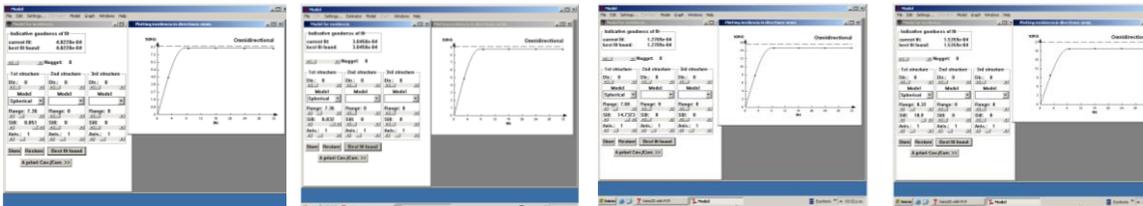


MAYO 1

MAYO 2

JUNIO 1

JUNIO 2

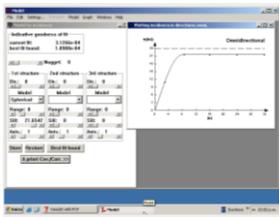


JULIO 1

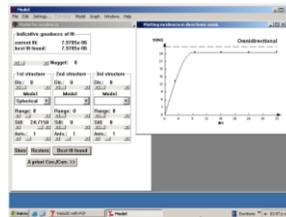
JULIO 2

AGOSTO 1

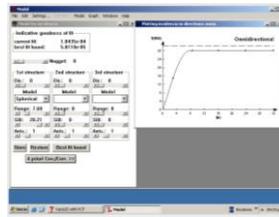
AGOSTO 2



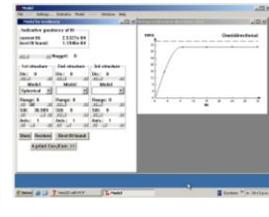
**Parcela 5**  
**MARZO 1**



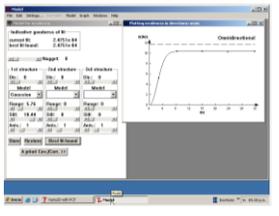
**MARZO 2**



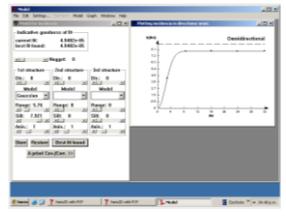
**ABRIL 1**



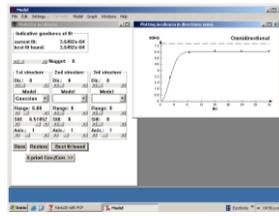
**ABRIL 2**



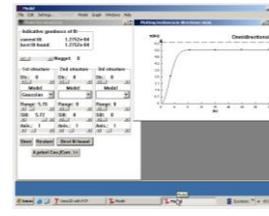
**MAYO 1**



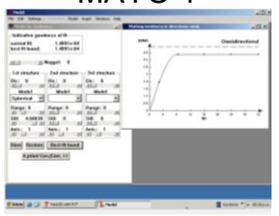
**MAYO 2**



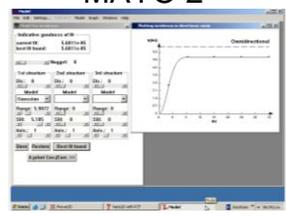
**JUNIO 1**



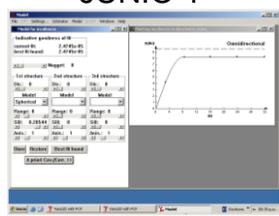
**JUNIO 2**



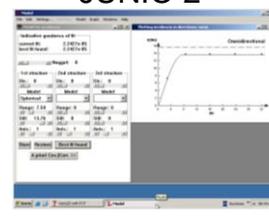
**JULIO 1**



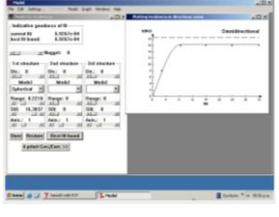
**JULIO 2**



**AGOSTO 1**

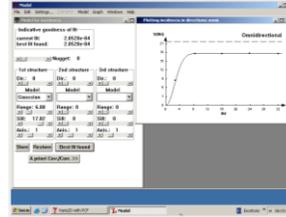


**AGOSTO 2**

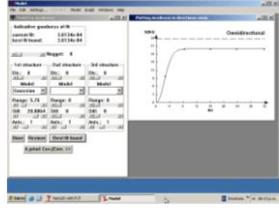


**Parcela 6**

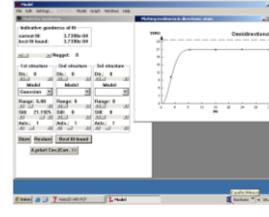
**MARZO 1**



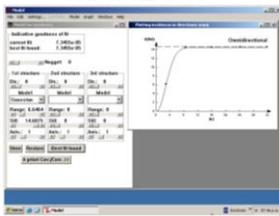
**MARZO 2**



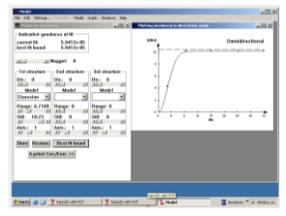
**ABRIL 1**



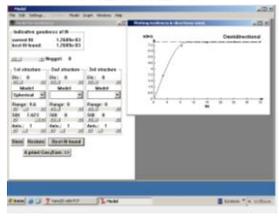
**ABRIL 2**



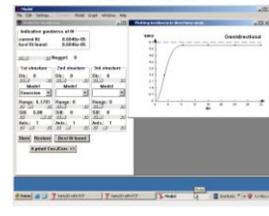
**MAYO 1**



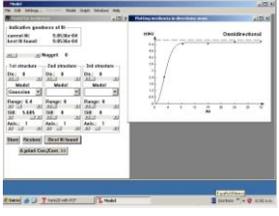
**MAYO 2**



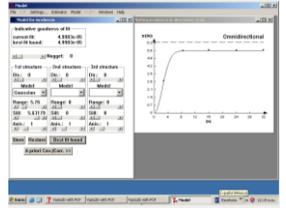
**JUNIO 1**



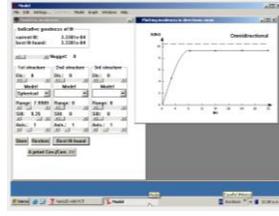
**JUNIO 2**



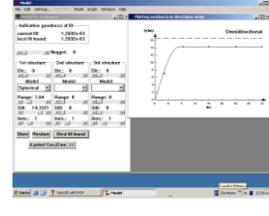
**JULIO 1**



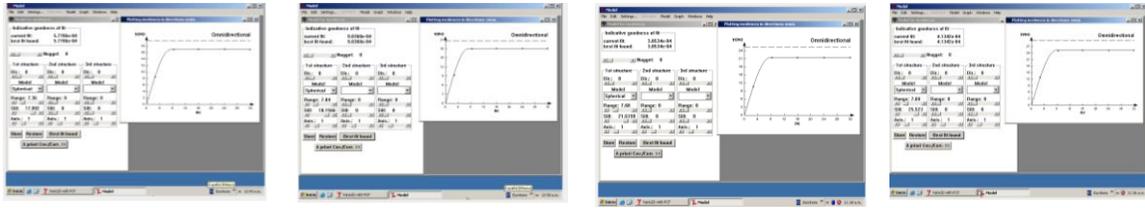
**JULIO 2**



**AGOSTO 1**

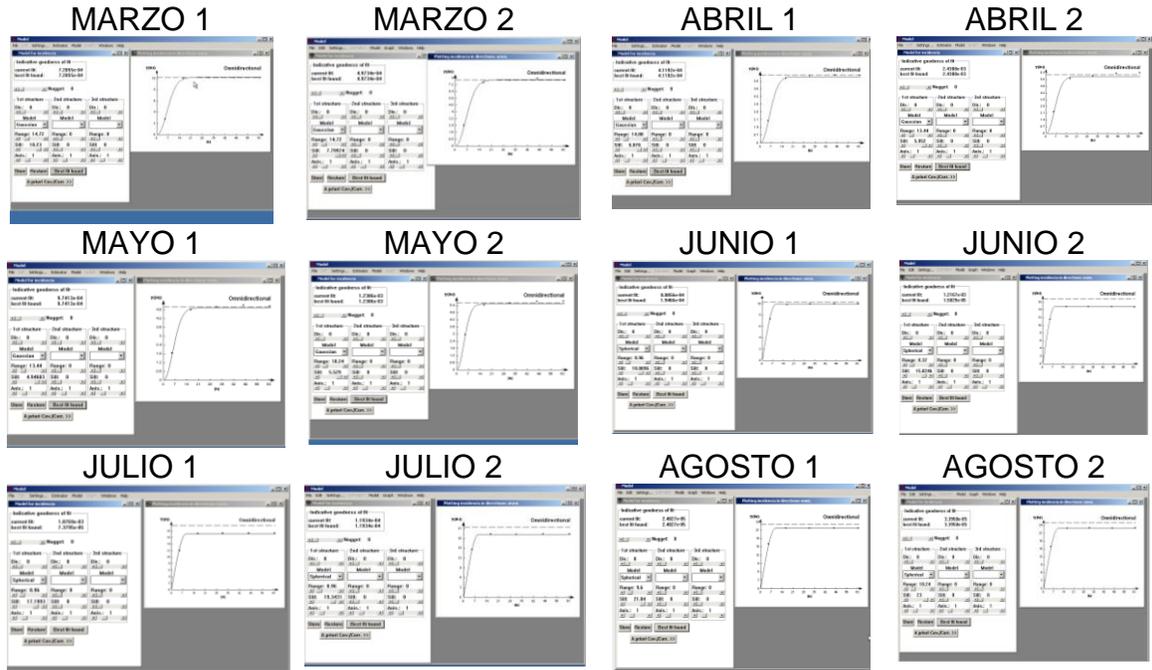


**AGOSTO 2**

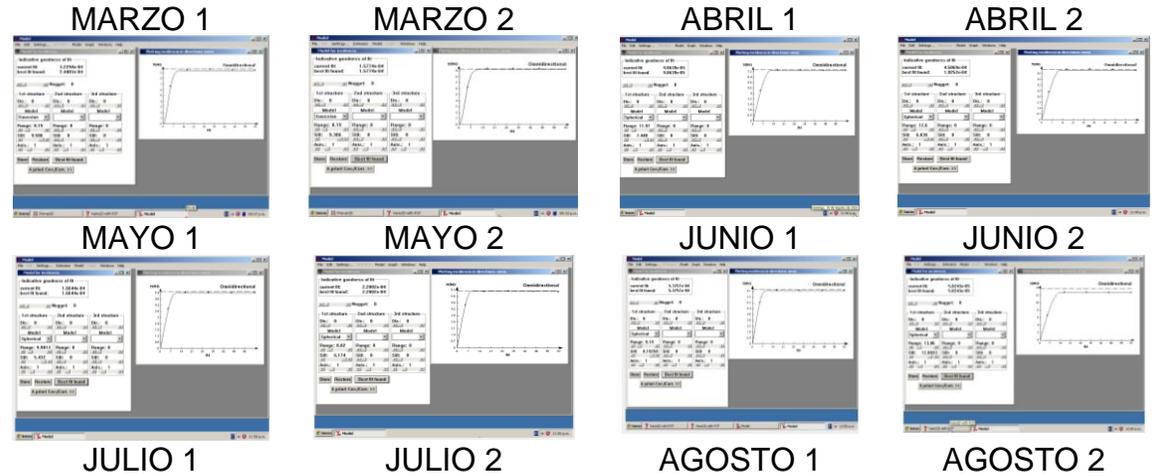


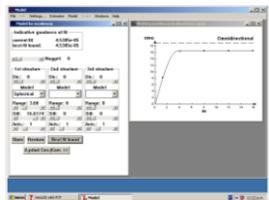
**Fig. 2** Semivariogramas de marzo 2021-agosto 2021, del municipio de Sultepec, Estado de México.

**Parcela 1**

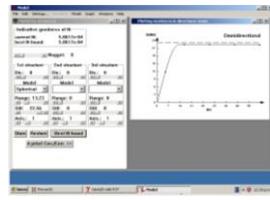


**Parcela 2**

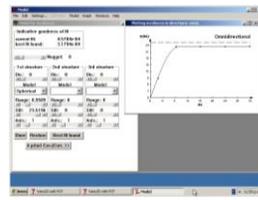




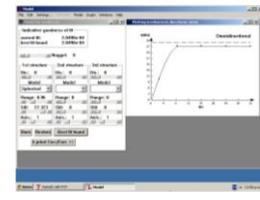
**Parcela 3**  
**MARZO 1**



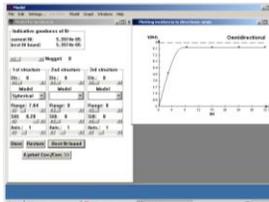
**MARZO 2**



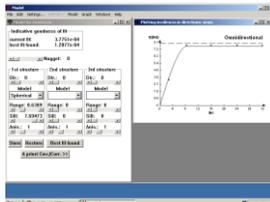
**ABRIL 1**



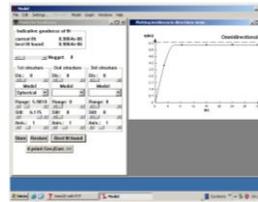
**ABRIL 2**



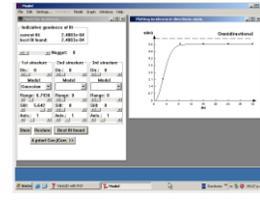
**MAYO 1**



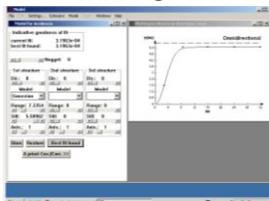
**MAYO 2**



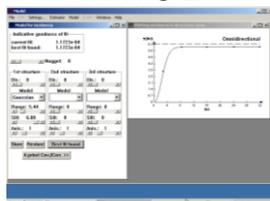
**JUNIO 1**



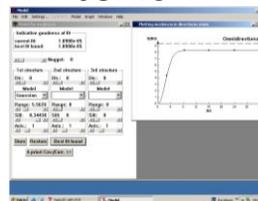
**JUNIO 2**



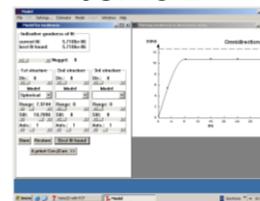
**JULIO 1**



**JULIO 2**

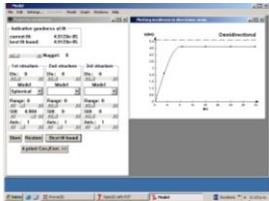


**AGOSTO 1**

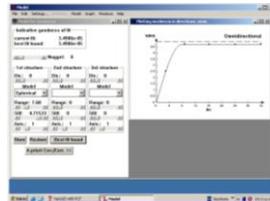


**AGOSTO 2**

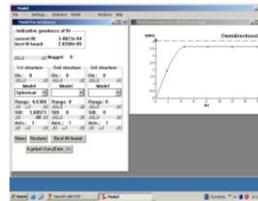
**Parcela 4**  
**MARZO 1**



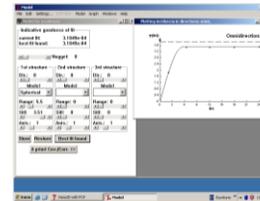
**MARZO 2**



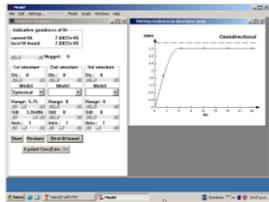
**ABRIL 1**



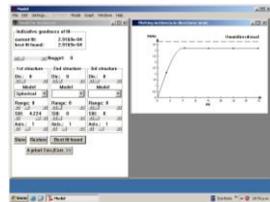
**ABRIL 2**



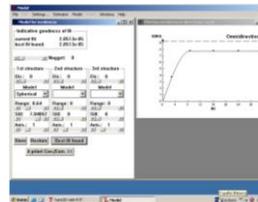
**MAYO 1**



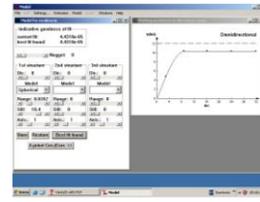
**MAYO 2**



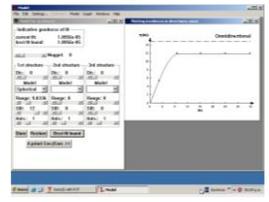
**JUNIO 1**



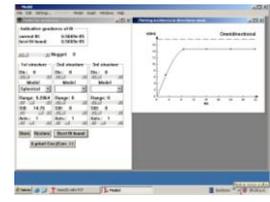
**JUNIO 2**



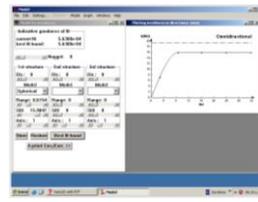
**JULIO 1**



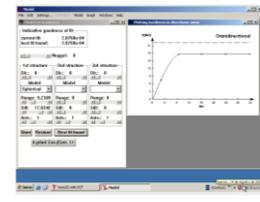
**JULIO 2**



**AGOSTO 1**

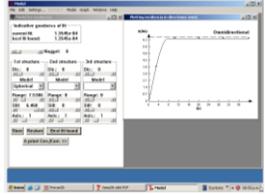


**AGOSTO 2**

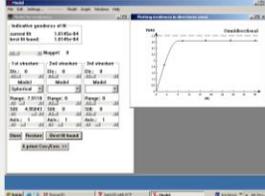


## Parcela 5

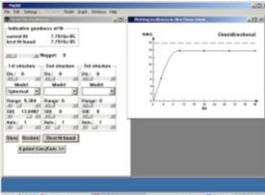
MARZO 1



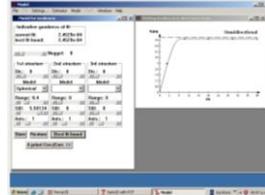
MAYO 1



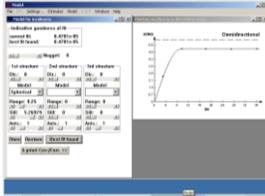
JULIO 1



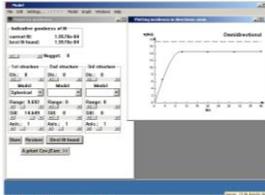
MARZO 2



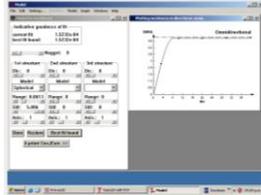
MAYO 2



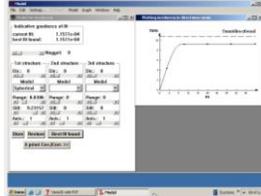
JULIO 2



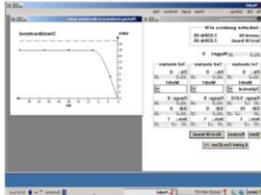
ABRIL 1



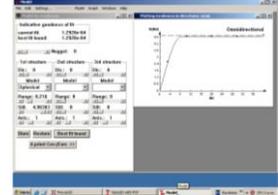
JUNIO 1



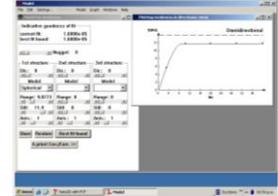
AGOSTO 1



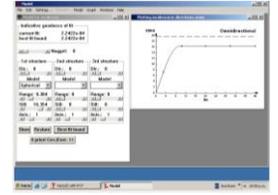
ABRIL 2



JUNIO 2

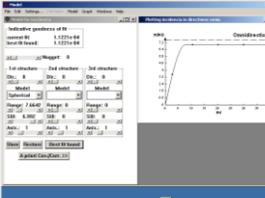


AGOSTO 2

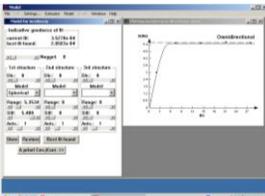


## Parcela 6

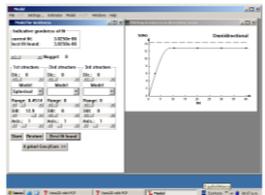
MARZO 1



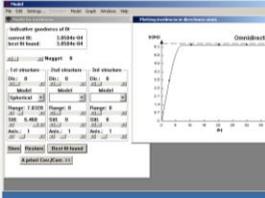
MAYO 1



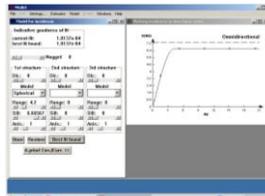
JULIO 1



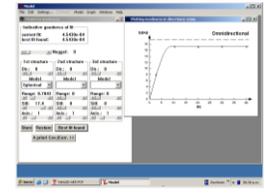
MARZO 2



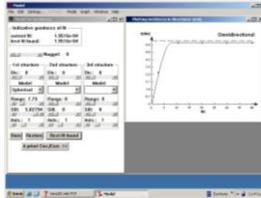
MAYO 2



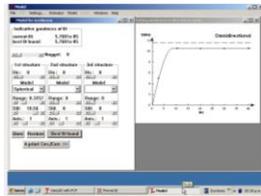
JULIO 2



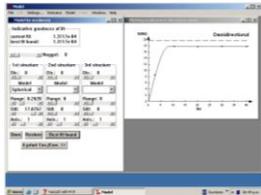
ABRIL 1



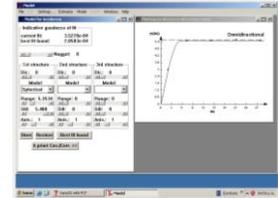
JUNIO 1



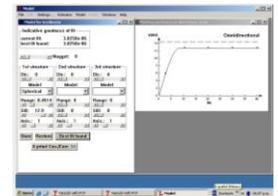
AGOSTO 1



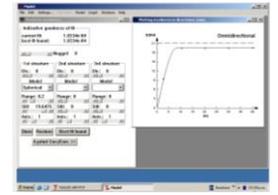
ABRIL 2



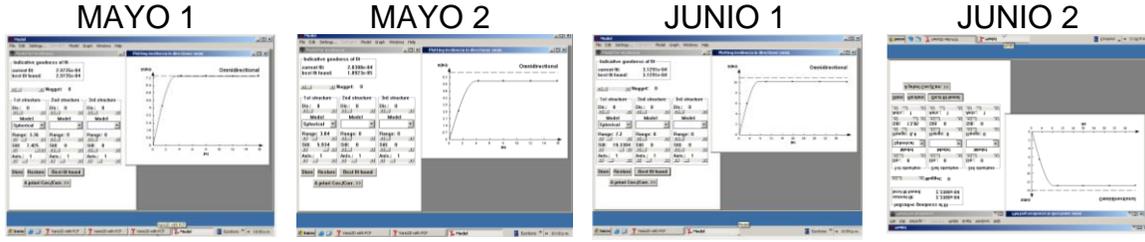
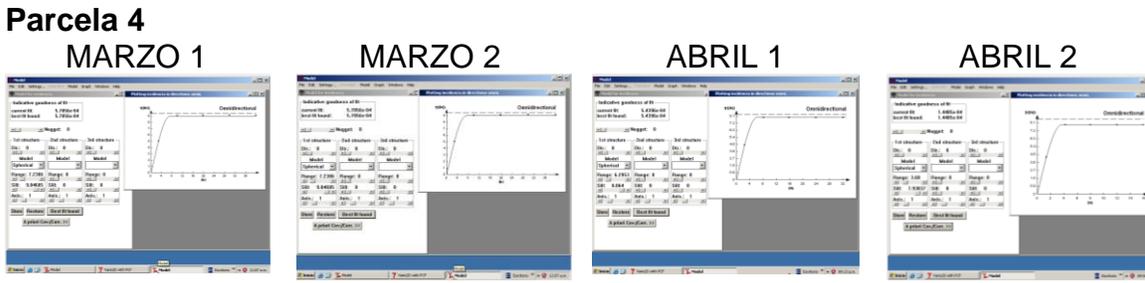
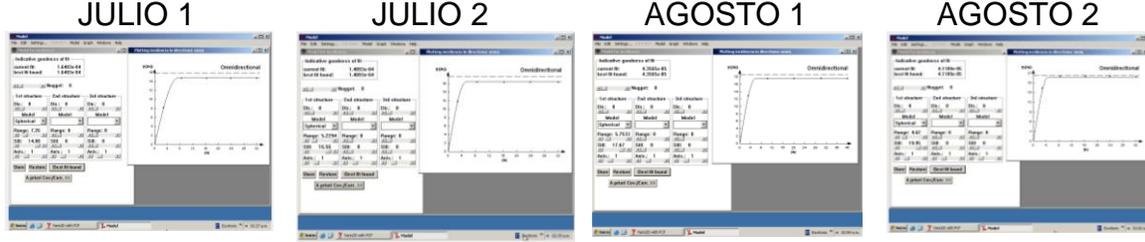
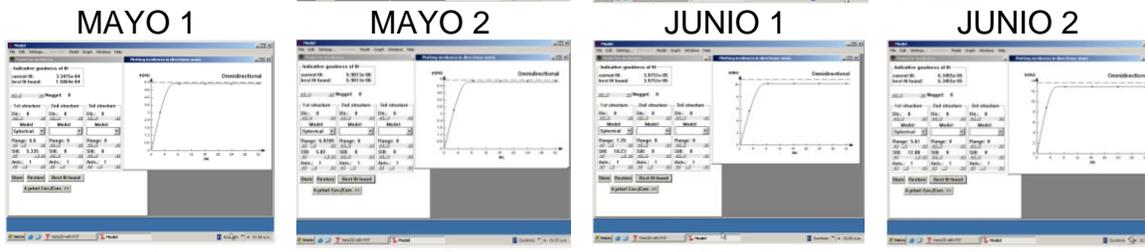
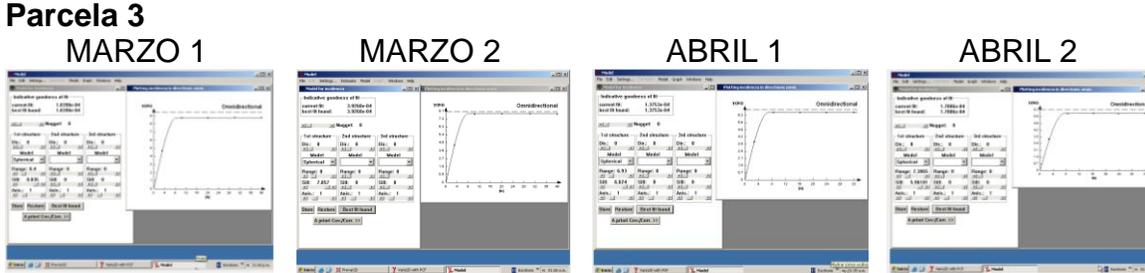
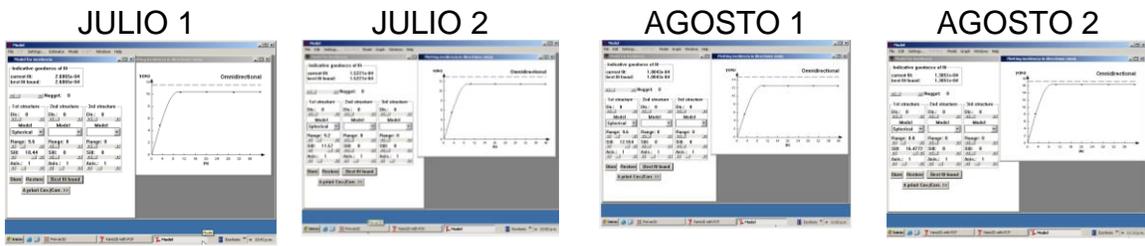
JUNIO 2

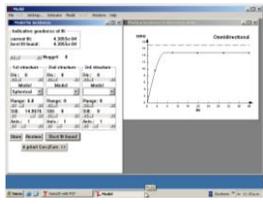


AGOSTO 2

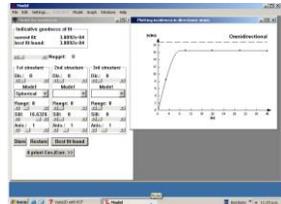




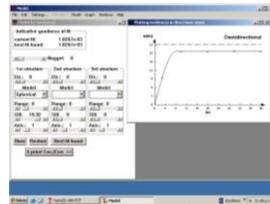




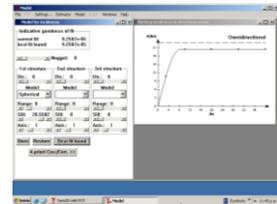
**Parcela 5**  
MARZO 1



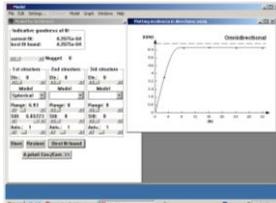
MARZO 2



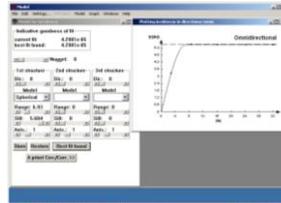
ABRIL 1



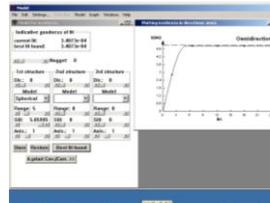
ABRIL 2



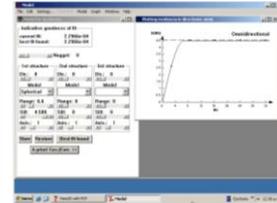
MAYO 1



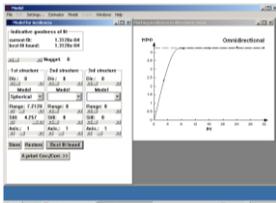
MAYO 2



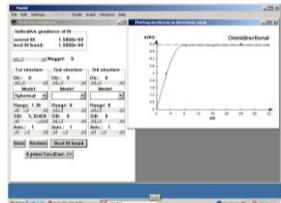
JUNIO 1



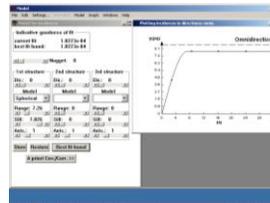
JUNIO 2



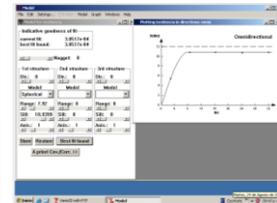
JULIO 1



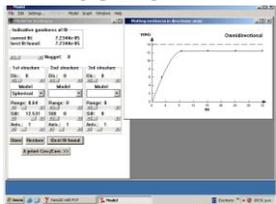
JULIO 2



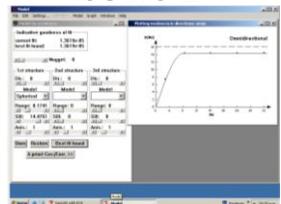
AGOSTO 1



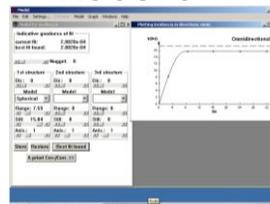
AGOSTO 2



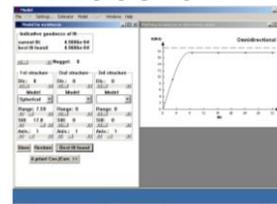
**Parcela 6**  
MARZO 1



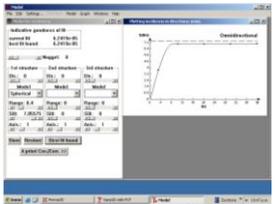
MARZO 2



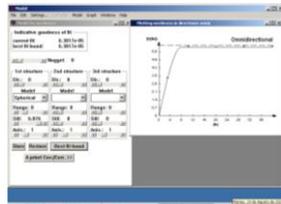
ABRIL 1



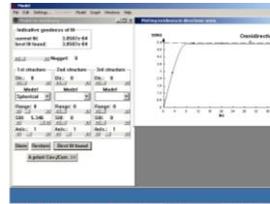
ABRIL 2



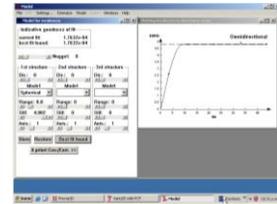
MAYO 1



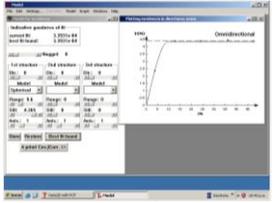
MAYO 2



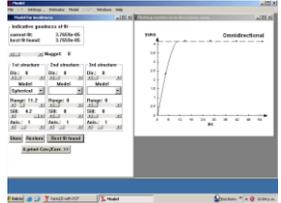
JUNIO 1



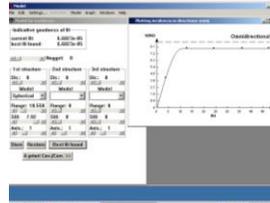
JUNIO 2



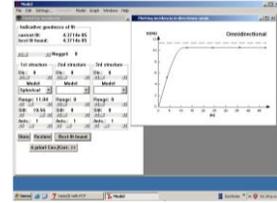
JULIO 1



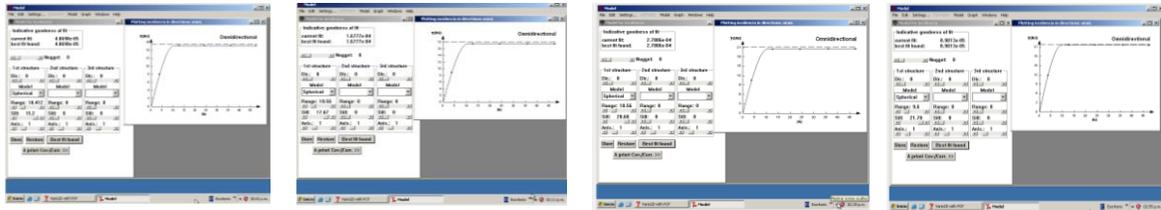
JULIO 2



AGOSTO 1



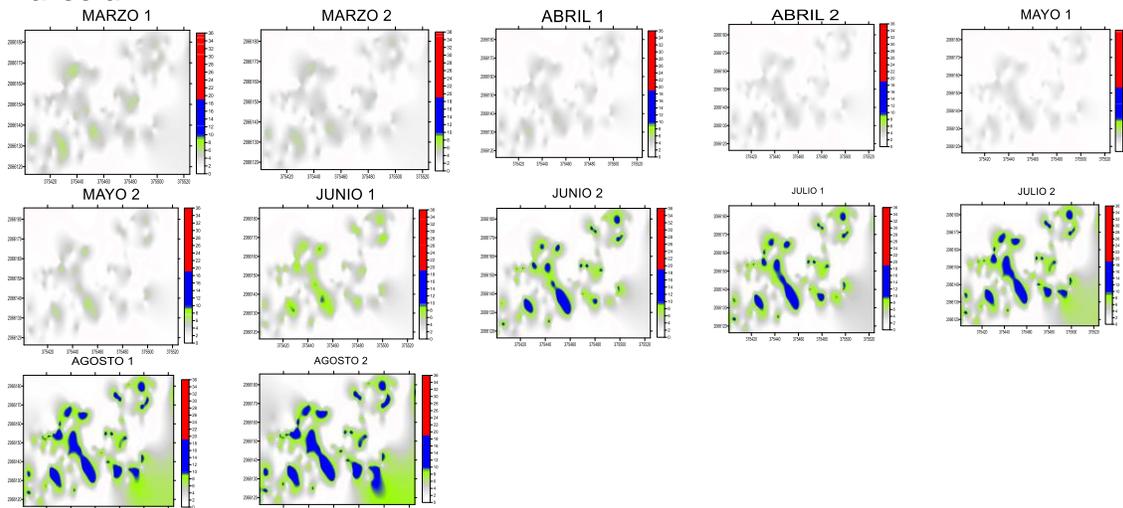
AGOSTO 2



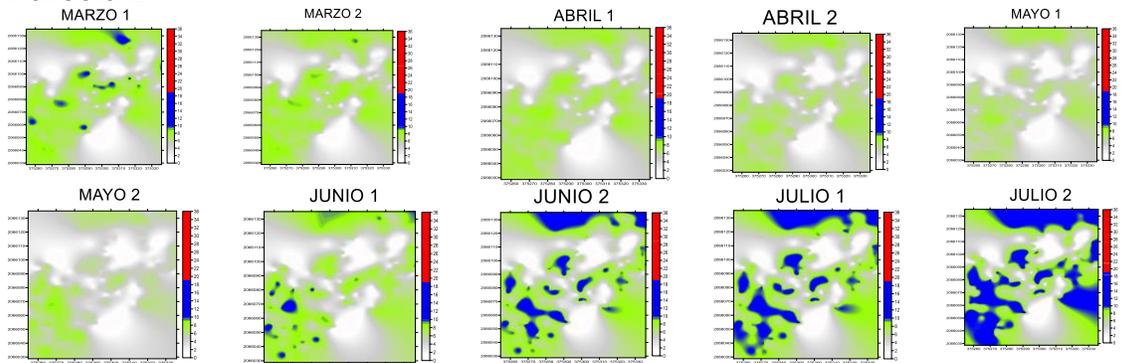
Las figuras 1, 2 y 3 se observan imágenes de los semivariogramas de los muestreos de marzo-agosto 2021, estos fueron obtenidos con en el programa variowin 2.2 en el se obtienen los valores de los parámetros como son el modelo matemático al que se ajusta, pepita, rango, meseta y dependencia espacial.

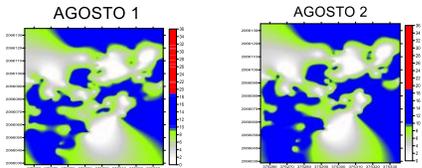
**Fig. 4** Mapas de densidad de marzo 2021-agosto 2021, del municipio de Amatepec, Estado de México.

**Parcela 1**

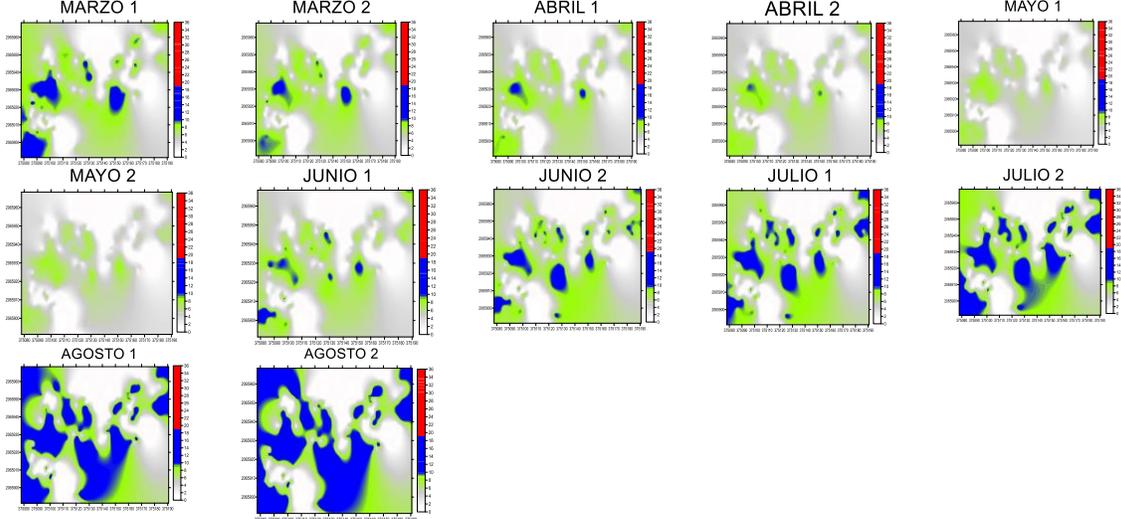


**Parcela 2**

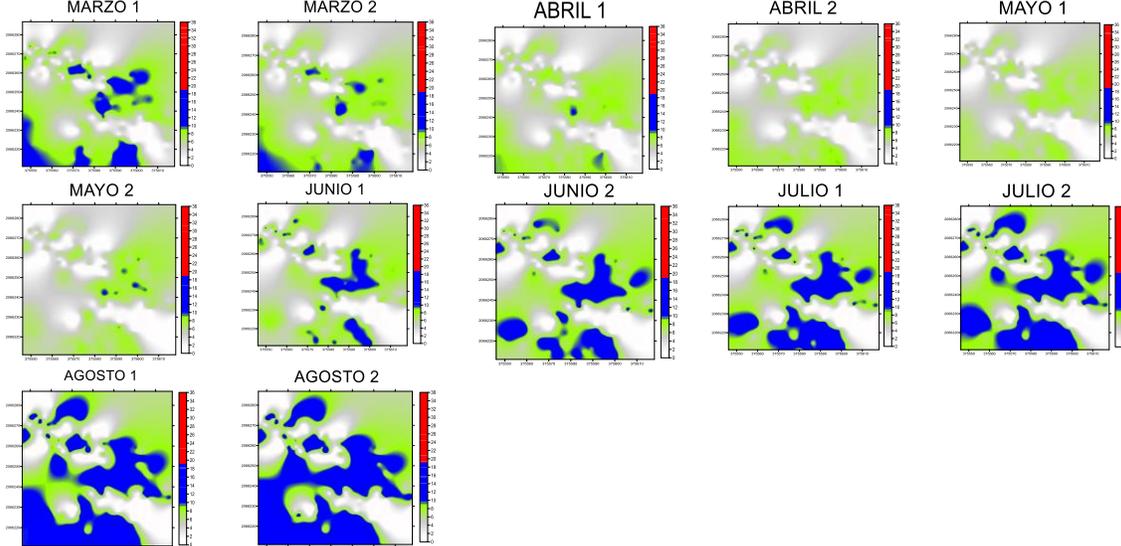




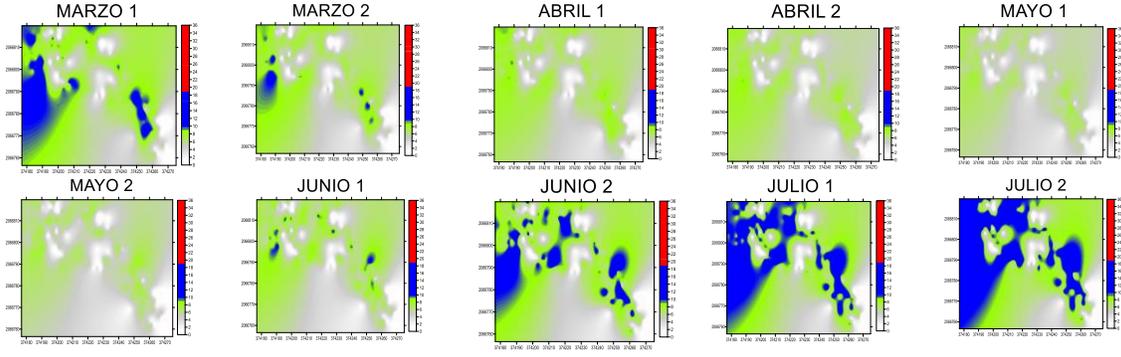
**Parcela 3**

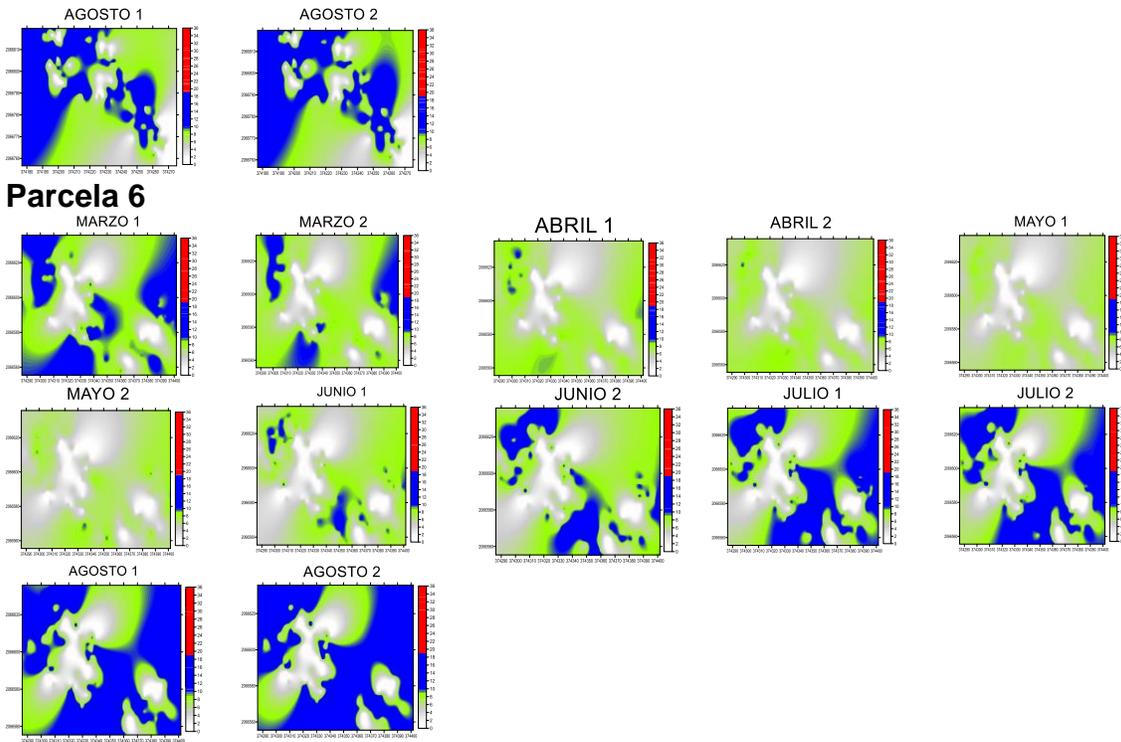


**Parcela 4**

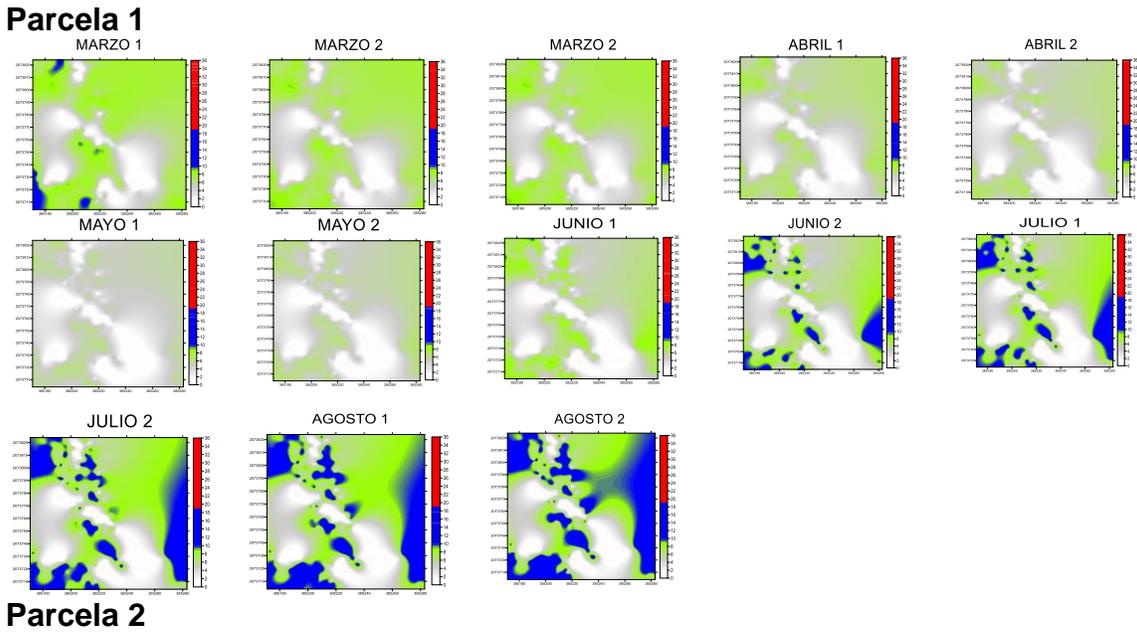


**Parcela 5**

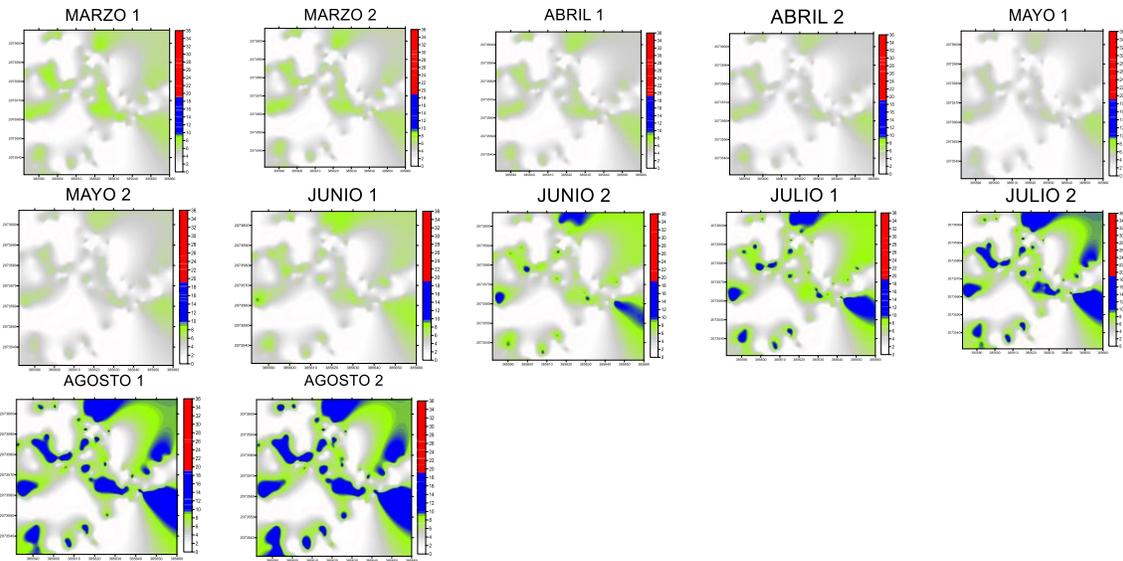




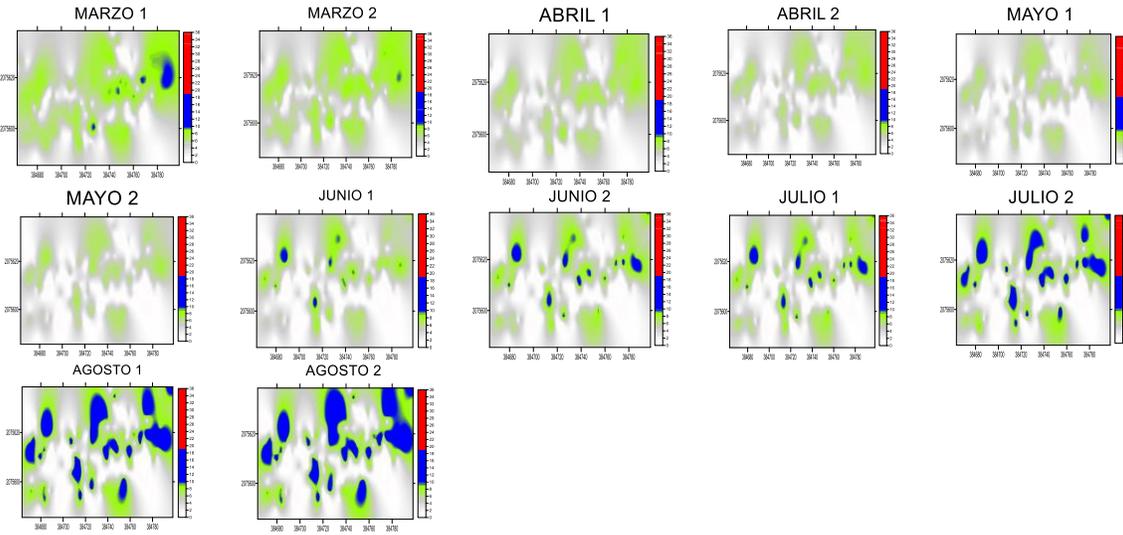
**Fig. 5** Mapas de densidad de marzo 2021-agosto 2021, del municipio de Sultepec, Estado de México.



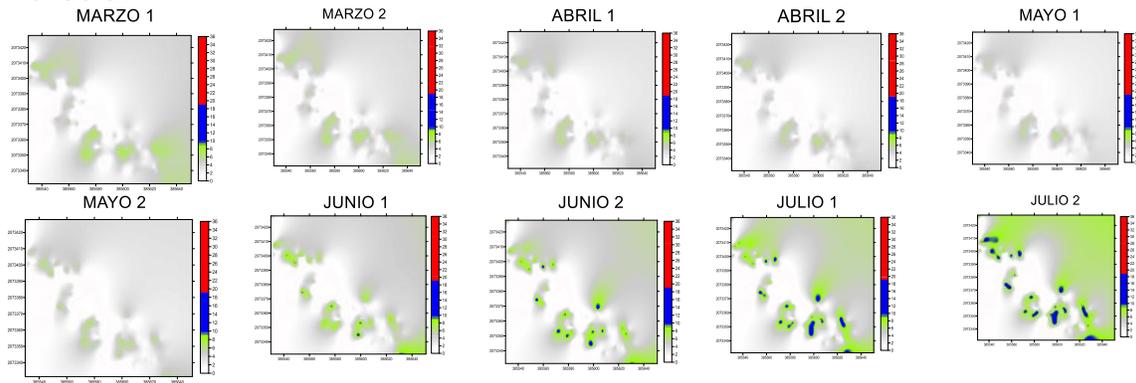
**Parcela 2**

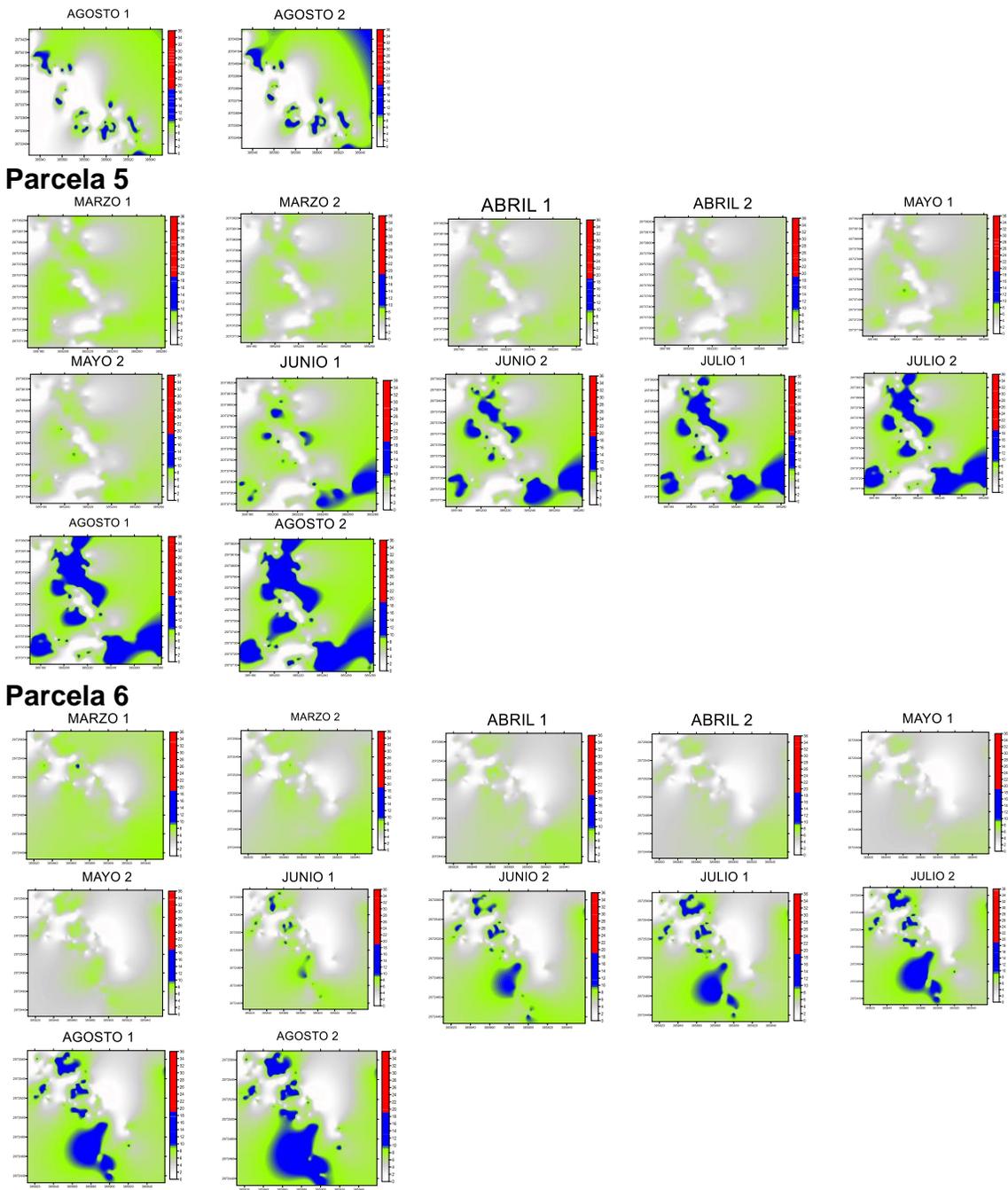


**Parcela 3**



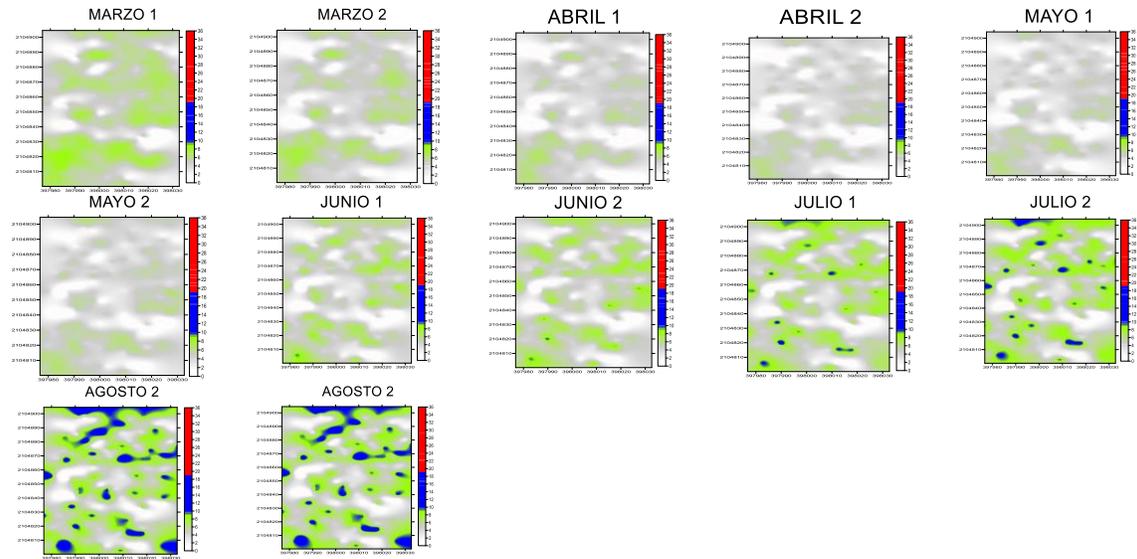
**Parcela 4**



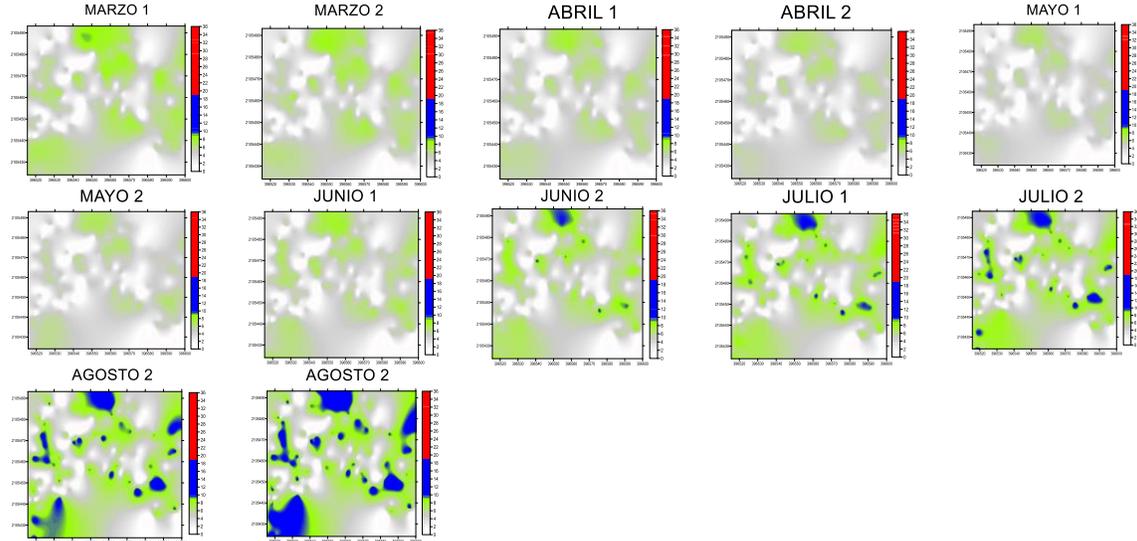


**Fig. 6** Mapas de densidad de marzo 2021-agosto 2021, del municipio de Temascaltepec, Estado de México.

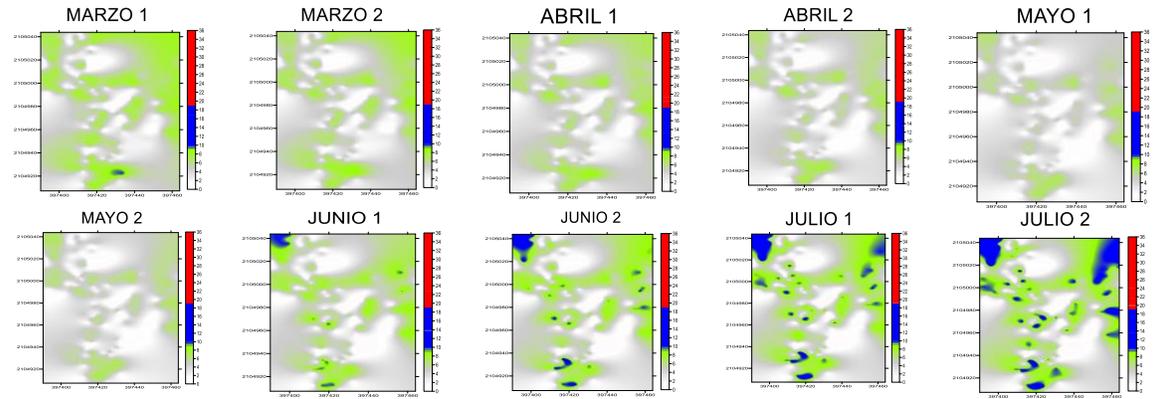
**Parcela 1**

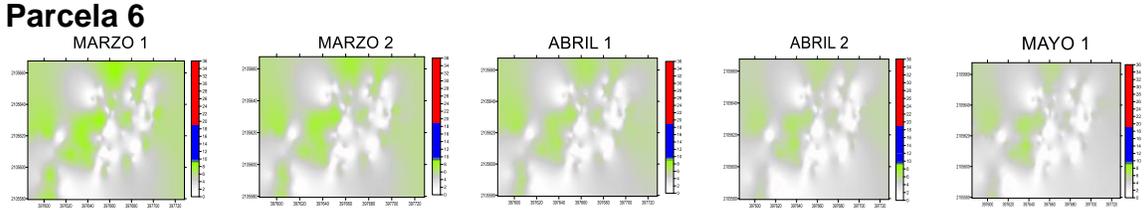
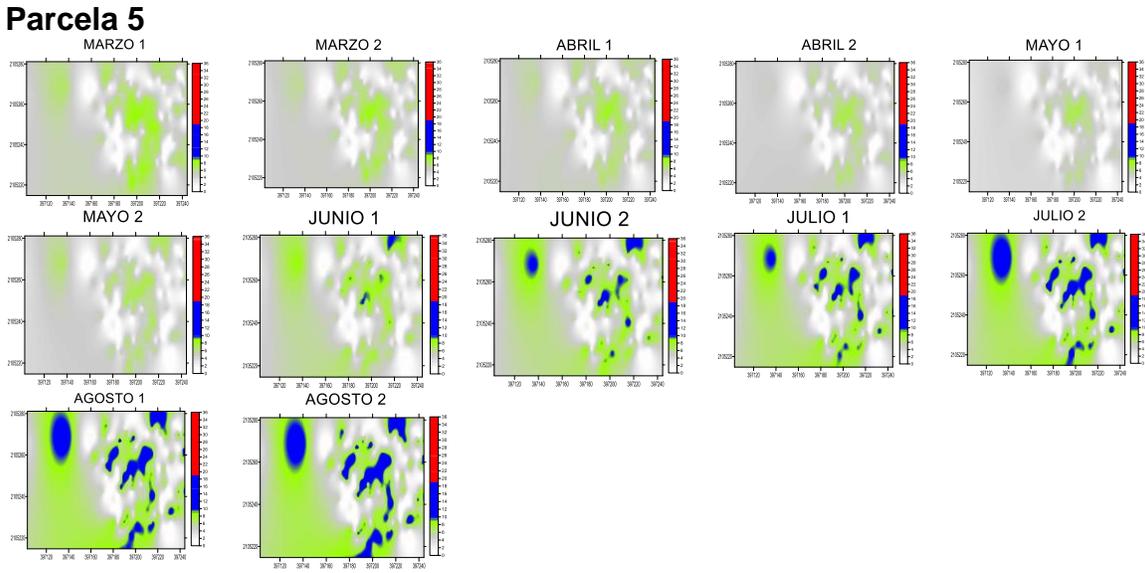
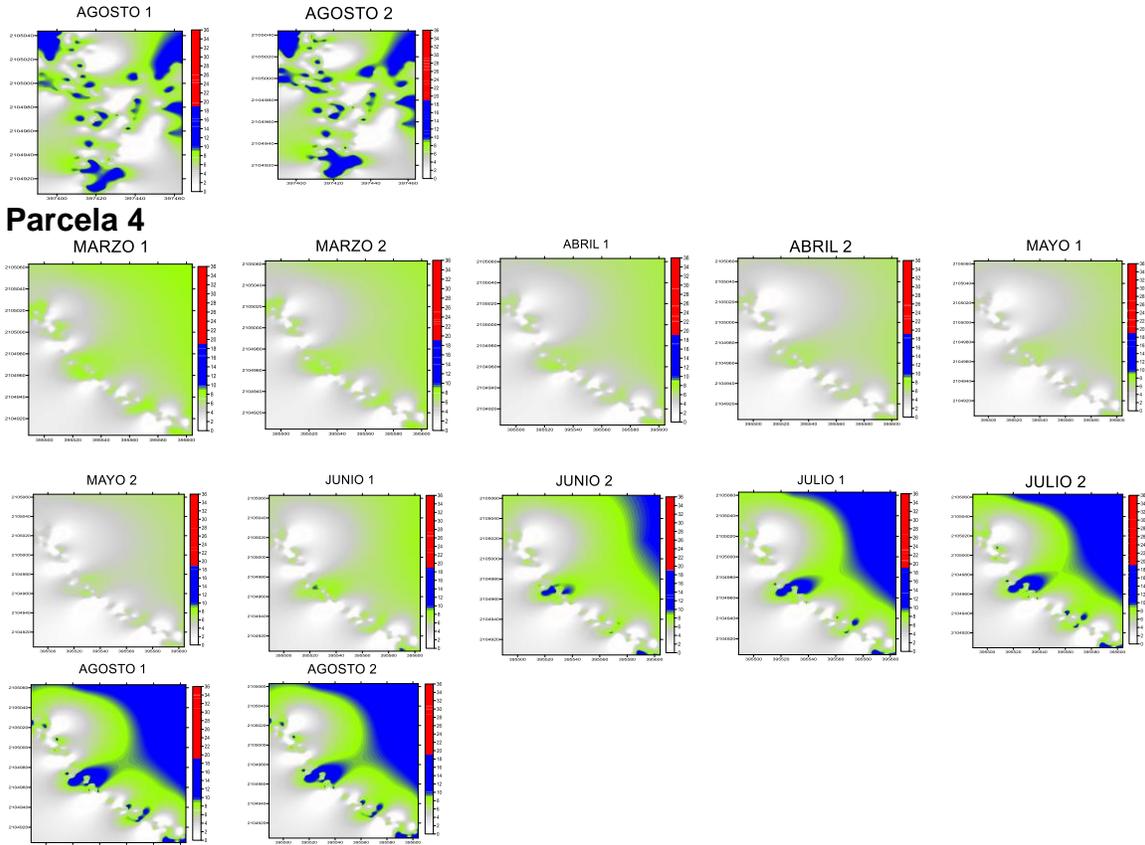


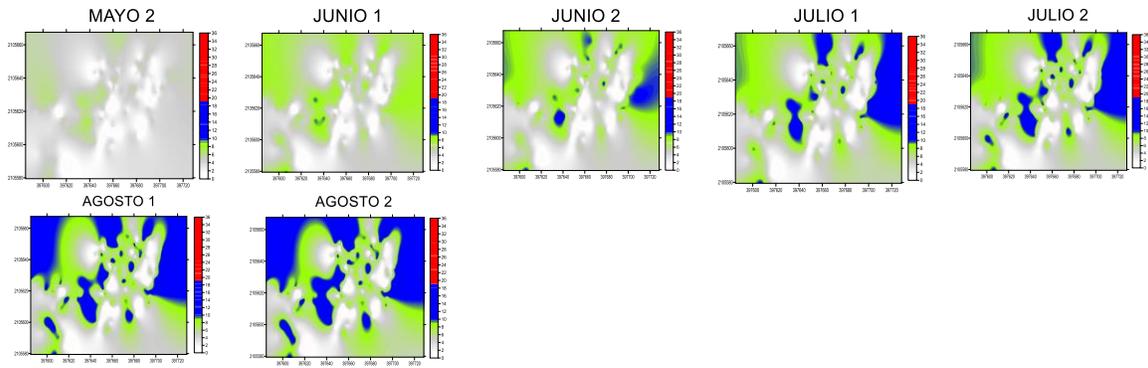
**Parcela 2**



**Parcela 3**

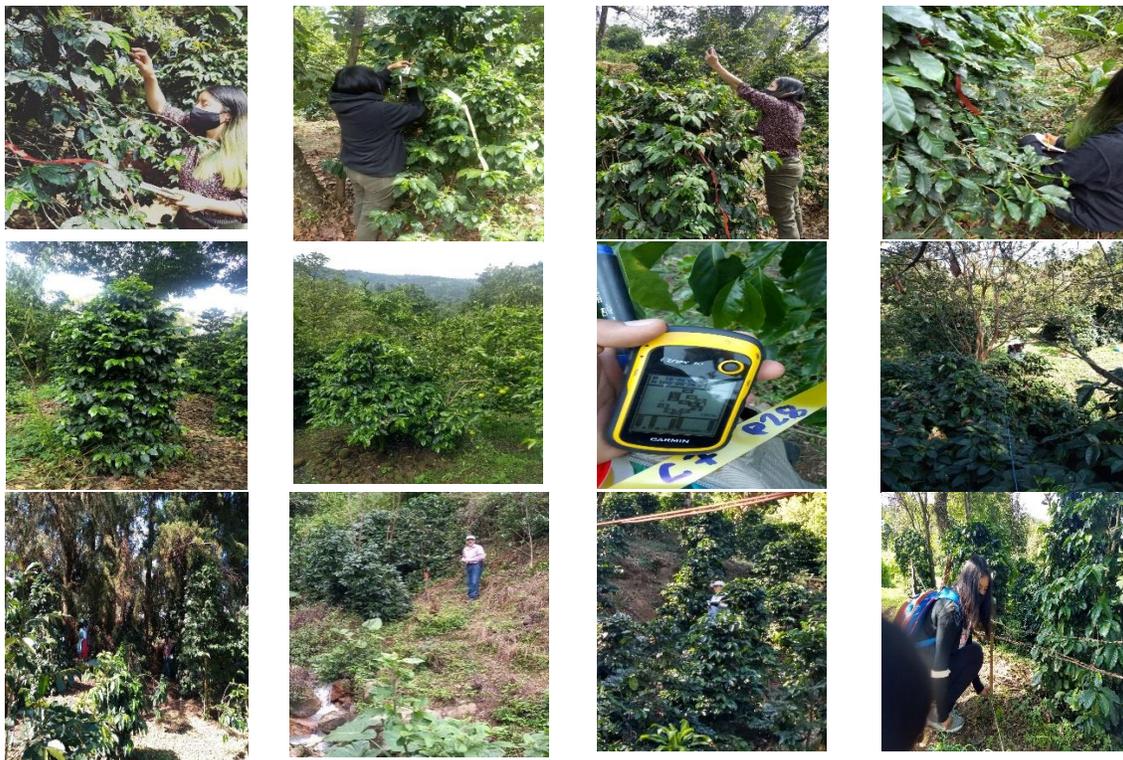






Figuras 4, 5 y 6 son los mapas de la superficie de infección por ojo de gallo de los muestreos de marzo-agosto 2021. Se puede observar que de marzo a mayo el hongo disminuyó considerablemente, esto se debió a las condiciones secas que se presentaron en los municipios; posteriormente la presencia del hongo aumentó de junio a agosto por las lluvias que se dieron en el estado. Sin embargo, se observa que el hongo no desaparece totalmente de todas las parcelas de estudio.

**Figura 7.** Imágenes de actividades realizadas en las parcelas en los diferentes municipios de estudio.





**Cuadro. 1** tabla del ahorro económico de las seis parcelas de estudio del municipio de Amatepec, Estado de México.

| AMATEPEC |           |                               |           |                 |                           |           |                        |
|----------|-----------|-------------------------------|-----------|-----------------|---------------------------|-----------|------------------------|
| Mes      | Parcela 1 | Costo en agricultura pesos/ha |           | Ahorro Pesos/ha | Fungicida aplicado (l/ha) |           | Ahorro fungicida kg/ha |
|          |           | Convencional                  | precisión |                 | convencional              | Precisión |                        |
| Sep.     |           | 1250                          | 856.25    | 393.75          | 0.5                       | 0.34      | 0.16                   |
| Oct.     |           | 1250                          | 875       | 375             | 0.5                       | 0.35      | 0.15                   |
| Nov.     |           | 1250                          | 893.75    | 356.25          | 0.5                       | 0.36      | 0.14                   |
| Total    |           | 3750                          | 2624.97   | 1125            | 1.5                       | 1.05      | 0.45                   |

| AMATEPEC |           |                               |           |                 |                           |           |                        |
|----------|-----------|-------------------------------|-----------|-----------------|---------------------------|-----------|------------------------|
| Mes      | Parcela 2 | Costo en agricultura pesos/ha |           | Ahorro Pesos/ha | Fungicida aplicado (l/ha) |           | Ahorro fungicida kg/ha |
|          |           | Convencional                  | precisión |                 | convencional              | Precisión |                        |
| Sep.     |           | 1250                          | 931.25    | 318.75          | 0.5                       | 0.37      | 0.13                   |
| Oct.     |           | 1250                          | 937.5     | 312.5           | 0.5                       | 0.37      | 0.13                   |
| Nov.     |           | 1250                          | 950       | 300             | 0.5                       | 0.38      | 0.12                   |
| Total    |           | 3750                          | 2818.75   | 931.25          | 1.5                       | 1.12      | 0.38                   |

| AMATEPEC |           |                               |           |                 |                           |           |                        |
|----------|-----------|-------------------------------|-----------|-----------------|---------------------------|-----------|------------------------|
| Mes      | Parcela 3 | Costo en agricultura pesos/ha |           | Ahorro Pesos/ha | Fungicida aplicado (l/ha) |           | Ahorro fungicida kg/ha |
|          |           | Convencional                  | precisión |                 | convencional              | Precisión |                        |
| Sep.     |           | 1250                          | 956.25    | 293.75          | 0.5                       | 0.38      | 0.12                   |
| Oct.     |           | 1250                          | 962.5     | 287.5           | 0.5                       | 0.38      | 0.12                   |
| Nov.     |           | 1250                          | 975       | 275             | 0.5                       | 0.39      | 0.11                   |
| Total    |           | 3750                          | 2893.75   | 856.25          | 1.5                       | 1.15      | 0.35                   |

| AMATEPEC |  |  |  |  |  |  |  |
|----------|--|--|--|--|--|--|--|
|----------|--|--|--|--|--|--|--|

| Mes   | Parcela 4 | Costo en agricultura pesos/ha |           | Ahorro Pesos/ha | Fungicida aplicado (l/ha) |           | Ahorro fungicida kg/ha |
|-------|-----------|-------------------------------|-----------|-----------------|---------------------------|-----------|------------------------|
|       |           | Convencional                  | precisión |                 | convencional              | Precisión |                        |
| Sep.  |           | 1250                          | 962.5     | 287.5           | 0.5                       | 0.38      | 0.12                   |
| Oct.  |           | 1250                          | 968.75    | 281.5           | 0.5                       | 0.38      | 0.12                   |
| Nov.  |           | 1250                          | 975       | 275             | 0.5                       | 0.39      | 0.11                   |
| Total |           | 3750                          | 2906.25   | 844             | 1.5                       | 1.15      | 0.35                   |

| AMATEPEC |           |                               |           |                 |                           |           |                        |
|----------|-----------|-------------------------------|-----------|-----------------|---------------------------|-----------|------------------------|
| Mes      | Parcela 5 | Costo en agricultura pesos/ha |           | Ahorro Pesos/ha | Fungicida aplicado (l/ha) |           | Ahorro fungicida kg/ha |
|          |           | Convencional                  | precisión |                 | convencional              | Precisión |                        |
| Sep.     |           | 1250                          | 1050      | 200             | 0.5                       | 0.42      | 0.8                    |
| Oct.     |           | 1250                          | 1056.25   | 193.75          | 0.5                       | 0.42      | 0.8                    |
| Nov.     |           | 1250                          | 1062.5    | 187.75          | 0.5                       | 0.42      | 0.8                    |
| Total    |           | 3750                          | 3168.75   | 581.5           | 1.5                       | 1.26      | 0.24                   |

| AMATEPEC |           |                               |           |                 |                           |           |                        |
|----------|-----------|-------------------------------|-----------|-----------------|---------------------------|-----------|------------------------|
| Mes      | Parcela 6 | Costo en agricultura pesos/ha |           | Ahorro Pesos/ha | Fungicida aplicado (l/ha) |           | Ahorro fungicida kg/ha |
|          |           | Convencional                  | precisión |                 | convencional              | Precisión |                        |
| Sep.     |           | 1250                          | 950       | 300             | 0.5                       | 0.38      | 0.12                   |
| Oct.     |           | 1250                          | 950       | 300             | 0.5                       | 0.38      | 0.12                   |
| Nov.     |           | 1250                          | 956.25    | 293.75          | 0.5                       | 0.37      | 0.13                   |
| Total    |           | 3750                          | 2856.25   | 893.75          | 1.5                       | 1.13      | 0.37                   |

Es necesario adoptar buenas prácticas agrícolas como; elegir el agroquímico adecuado según la plaga a controlar, controles alternativos como el manejo biológico que en la actualidad ha tomado un papel muy importante en la agricultura, estudios efectuados por Rivillas y Castro (2011) han encontrado que el hongo *Trichoderma spp.* Inhibe la formación de cabecitas de *M. citricolor*, logrando disminuir el potencial del patógeno

La importancia de conocer con exactitud la superficie infectada y los puntos de agregación de la enfermedad no solo son de importancia económica para el productor, sino también para el ambiente, esto debido a la aplicación dirigida áreas

infectadas, provocando un daño menor al ambiente debido a una e aplicación menor de agroquímicos; sin embargo, también es importante la aplicación de un control biológico.