

Estudio del comportamiento espacial de la enfermedad Mancha de Hierro *Mycosphaerella Coffeicola* en cafetales del municipio de Amatepec

María Teresa Lugo Coyote¹
Martín Rubí Arriaga²
José Francisco Ramírez Dávila²
Francisco Gutiérrez Rodríguez²

Introducción

La caficultura se considera una actividad estratégica en el país, debido a que permite la integración de cadenas productivas, la generación de divisas y empleos, el modo de subsistencia de muchos pequeños productores y, en forma reciente, de enorme relevancia ecológica, pues más del 90% de la superficie cultivada con café se encuentra bajo sombra diversificada, que contribuye considerablemente a conservar biodiversidad y como proveedor de vitales servicios ambientales a la sociedad (Escamilla *et al.*, 2005).

Actualmente México es el noveno productor de esta bebida en el mundo; con un volumen de 953,682.9 t, en grano de café “verde”, con la primera posición entre los productores de café orgánico. Del total de exportaciones mexicanas de café el 53.85% se destina a Estados Unidos; el volumen restante, a países miembros de la Unión Europea y otros como Japón, Cuba y Canadá.

La producción de café en el Estado de México, era solamente de traspatio para consumo doméstico, no se había visualizado con un enfoque comercial dentro de la entidad, con el paso del tiempo algunos productores se han interesado en su producción y comercialización en merca-

¹ Estudiante del Programa de Maestría en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales. Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México. Campus Universitario “El Cerrillo”, El Cerrillo, Piedras Blancas. Toluca, Estado de México. Carretera Federal: Toluca-Ixtlahuaca Km. 115. CP. 50200. Tel. 7222965529. E-mail: leguizamo-uaemex@hotmail.com

² Profesores-Investigadores de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México. Campus Universitario “El Cerrillo”, El Cerrillo, Piedras Blancas. Toluca, Estado de México. Carretera Federal: Toluca-Ixtlahuaca Km. 115. CP. 50200. Tel. 7222965529. E-mail: mrubia@uaemex.mx; jframirez@uaemex.mx; mlsalgados@uaemex.mx

dos nacionales e Internacionales. El café mexiquense es de altura, por ello, su calidad es superior por lo que tiene atributos para competir a nivel internacional.

Entre los principales problemas que enfrentan los productores de café son las patologías que se presentan en cada ciclo, cobra particular relevancia la Mancha de Hierro, producida por un hongo parásito facultativo, que presenta en su ciclo de vida dos estados reproductivos, el estado sexual o telemorfo causado por *Mycosphaerella coffeicola* (*M. coffea*) y el estado asexual o anamorfo ocasionado por *Cercospora coffeicola* (López-Guzmán *et al.*, 2008). El daño que ocasiona la enfermedad es la defoliación, lo cual hace que disminuya notablemente el área fotosintética de la planta y una reducción del crecimiento de esta (SENASICA, 2016). Ataca hojas y frutos en todos los estados de desarrollo con alta incidencia y severidad. En la etapa de almácigo puede causar defoliación de la planta hasta del 90% y en plantaciones a libre exposición solar y con limitación en la disponibilidad de nutrimentos, origina pérdidas hasta del 30% en la cosecha, con deficiencias hídricas y nutritivas, puede afectarse la totalidad de la cosecha y provocar pérdidas económicas (Rengifo-Guzmán *et al.*, 2002). Los cafetales con mal manejo agronómico son los más susceptibles al no realizar las podas adecuadas y fertilizaciones correctas.

El monitoreo de las plagas y enfermedades, no solo en el cultivo del café debería ser un procedimiento crucial, debido a que es determinante para el desarrollo de alternativas que mitiguen el impacto al ambiente, desde una perspectiva holística agrícola es de mayor utilidad ser preventivo que correctivo, teniendo una producción más amigables al ambiente, con ahorro económico, con ello se puede tener un panorama de cómo se encuentra distribuido dentro de las parcelas (Higuera y García, 2014).

Para poder utilizar adecuadamente la información derivada del monitoreo es necesario establecer puntos de muestreos que generen datos fehacientes con los cuales se podrá visualizar el comportamiento espacial (Maldonado Zamora *et al.*, 2017).

La infestación de esta plaga hace importante implementar actividades que permitan conocer la ubicación del hongo, ya que es un procedimiento importante en el manejo de este problema. El objetivo de este trabajo fue establecer y modelar mediante el método geoestadístico la distribución espacial del hongo mancha de hierro *Mycosphaerella Coffeicola* en cafetales del municipio de Amatepec, Estado de México.

Materiales y métodos

El estudio se llevó a cabo en la zona productora de café en el municipio de Amatepec Estado de México, donde se seleccionaron seis parcelas comerciales de café de las variedades caturra y típica. Cada parcela constó de media hectárea y se dividieron en cuadrantes de 10 x 10 m, para tener un total de 50 cuadrantes por parcela. Mediante el método de muestreo de cuadrantes, se seleccionaron dos arbustos por cuadrante, para un total de 100 arbustos en cada parcela observada (Jiménez C. *et al.*, 2013; Maldonado Zamora *et al.*, 2017).

En las seis parcelas se realizaron muestreos catorcenales durante seis meses y para cada uno de ellos se contabilizaron tres hojas dañadas tomado una bandola orientada hacia cada uno de los puntos cardinales dividiendo el arbusto en estrato medio, alto y bajo; dando un total de 36 hojas observadas por arbusto (Tapia Rodríguez *et al.*, 2020). Cada uno de estos fue georreferenciado con un sistema de posicionamiento global diferencial (DGPS) es una mejora del sistema de posicionamiento global (GPS) que proporciona una mayor precisión de ubicación, en el rango de operaciones de cada sistema, desde la precisión GPS nominal de 15 metros (49 pies) hasta aproximadamente 1-3 centímetros (0,39-1,18 pulgadas) en caso de las mejores implementaciones DGPS, los cuales fueron marcados y registrados para la obtención de los datos obtenidos (Rivera-Martínez *et al.*, 2018).

Estadística clásica

La estadística clásica utiliza dos métodos generales para establecer la distribución espacial de los organismos observados (Binomial Negativa y Poisson) y los índices de dispersión (de dispersión y de Green); ambos se manejan para este estudio, para realizar la comparación pertinente entre los datos obtenidos con la estadística no espacial y estadística espacial. Para todas las distribuciones estadísticas se utilizó el programa MLP de máxima verosimilitud (Rossi *et al.*, 1992) para ajustar los modelos a los datos perfilados. La bondad de ajuste fue explorada con un test χ^2 (Sokal y Rohlf, 1995).

Análisis geoestadístico

Se obtuvo la estimación de los semivariogramas experimentales de cada muestreo de Mancha de Hierro y se ajustaron a los modelos preestablecidos en el *software variowin 2.2* (Software for spatial data analysis in

2D. New York, EEUU), estos se estimaron y modelizaron. Una vez obtenida la estimación del semivariograma se puede deducir el error que se comete cuando se asigna el valor promedio de una serie de valores puntuales a un dominio mayor y se calcula mediante la siguiente fórmula (Isaaks y Srivastava, 1989; Journel, A. G., Huijbregts, 1978).

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

dónde: γ^* es el valor experimental del semivariograma para el intervalo de distancia h ; $n(h)$ es el número de pares de puntos muestrales separados por el intervalo de distancia h ; $z(x_i)$ es el valor de la variable de interés en el punto muestral x_i y $z(x_i + h)$ es el valor de la variable de interés en el punto muestra $x_i + h$.

Estimación de los parámetros del modelo del semivariograma

Los modelos teóricos comúnmente utilizados para ajustar los semivariogramas experimentales son: el esférico, el exponencial, el gaussiano, el lineal entre otros. Los cuales se obtienen con la herramienta de Kriging, permitiendo elegir el modelo que más se ajuste (Englund y Sparks, 1988), se utilizó el programa Variowin versión 2.2.

Validación del modelo teórico

Se realizó un procedimiento de validación cruzada, en el cual los parámetros del modelo a validar (C_0 , efecto pepita, C , meseta y rango o alcance) los cuales se fueron modificando hasta obtener los estadísticos de validación cruzada convenientes:

Los valores de validación cruzada son:

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

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

donde: $z^*(x_i)$ es el valor estimado de la variable de interés en el punto x_i ; $z(x_i)$ es el valor medio de la variable de interés en el punto x_i y n es el número de puntos muestrales utilizado en la interpolación de MEE;

no debe ser significativamente distinta de 0 (prueba de t), en cuyo caso indicará que el modelo de semivariograma permite el cálculo de estimadores no sesgados.

b) Error cuadrático medio (ECM):

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

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

c) Error cuadrático medio adimensional (ECMA)

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

donde: σ_k es la desviación estándar del error esperado en la estimación con el Krigado. La validez del modelo se satisface si ECMA está comprendido entre los valores $1 \pm 2 (2/N)^{0.5}$. Otro estadístico para validar el ajuste del modelo consiste en que el valor de la varianza de los errores sea menor a la varianza muestral.

Nivel de dependencia espacial

Con la finalidad de determinar la relación entre los datos de muestreo, fue significativo establecer el nivel de dependencia espacial. Los valores se obtuvieron al dividir el efecto pepita entre la meseta y expresando el porcentaje de resultado. Si el resultado es menor de 25% el nivel de dependencia espacial es alta, si se encuentra entre 26% y 75% el nivel es moderado y bajo si es mayor del 76% es bajo (Cambardella *et al.*, 1994).

Elaboración de mapas

Los mapas se realizaron mediante la interpolación de valores a través del krigado ordinario que permite la estimación no sesgada de valores asociados a puntos que no fueron muestreados debido a que se conocen los valores de media y varianza muestral con base a lo establecido por Samper y Carrera (1996). Con la cual finalmente, se estableció la superficie infestada de las estimaciones las cuales son representadas con los mapas

obtenidos de cada parcela muestreada; los mapas se obtuvieron mediante el software Surfer 16.0 (Surface Mapping System, Golden Software).

Agricultura de Precisión (AP)

Estimación de la superficie infestada y evaluación económica y ambiental. Se estableció la superficie infestada de los mapas elaborados, utilizando el programa Surfer 9.0. Una vez obtenido el porcentaje de superficie infestada en cada uno de los mapas se calculó el costo de una aplicación normal de fungicida, tal como la realizan los agricultores en la zona, y el costo de una aplicación dirigida (sólo áreas infestadas). La diferencia entre ambos valores nos indicó el ahorro económico obtenido con la metodología de precisión. Igualmente, se procedió a realizar el cálculo correspondiente al ahorro en la cantidad de producto utilizado bajo ambas estrategias de control. De esta manera se tiene una idea de la disminución del impacto nocivo hacia el ambiente, ya que al reducir la cantidad de fungicida en el manejo de esta enfermedad, se reduce asimismo, el impacto ambiental (Ramírez y Porcayo, 2008).

Resultados

Con los datos obtenidos fue posible generar la modelización y mapeo del comportamiento espacial de la Mancha de Hierro, se estableció el porcentaje de infestación e incidencia por cada muestreo realizado en el municipio de Amatepec.

Estadística clásica

De acuerdo con el tipo de distribución espacial de la Mancha de Hierro obtenida en cada uno de los muestreos de las parcelas experimentales, los resultados se hallan registrados en la Tabla 1. El índice de dispersión señala que en la mayoría de los muestreos se encontró una distribución agregada de Mancha de Hierro, no obstante, también hubo una distribución aleatoria, siendo estos para el caso de la parcela uno de los muestreos (seis, nueve y once); con respecto a la parcela dos en los muestreos (cinco y ocho); en la parcela tres en los muestreos (tres, ocho y once; así mismo para la parcela cuatro en los muestreos (nueve y once); para la parcela cinco en los muestreos (cinco, diez y doce) y por último para la parcela seis en los muestreos (siete y nueve).

Por otra parte, con respecto al índice de Green, se confirma dicha agregación, con relación con los muestreos hechos (Tabla 1). Con respecto a los muestreos que se realizaron, se identifica que la agregación en algunos muestreos era leve; no obstante también se presentaron muestreos donde el comportamiento espacial de la enfermedad está distribuida en la parcela de café de manera aleatoria: para la parcela uno en los muestreos (dos, cuatro y nueve); para la parcela dos en los muestreos (uno y nueve); con relación a la parcela tres en los muestreos (cinco y nueve); con respecto a la parcela cuatro en los muestreos (tres, cuatro y ocho); para la parcela cinco en los muestreos (dos, seis y nueve) y por último en la parcela seis en los muestreos (dos y diez). Estos datos un tanto discordantes señalan algunas limitaciones de estos métodos para determinar con precisión la distribución espacial del hongo Mancha de hierro.

Por otro lado, con base a las distribuciones estadísticas, los resultados indican que en la parcela uno en los muestreos (uno, dos, cuatro, cinco, ocho, nueve, diez, once y doce); con respecto a la parcela dos en los muestreos (uno, dos, tres, cinco, seis, siete, ocho, nueve, once y doce); en la parcela tres en los muestreos (uno, tres, cuatro, cinco, seis, siete, ocho, nueve y doce); en la parcela cuatro en los muestreos (dos, tres, cuatro, cinco, seis, siete, ocho, nueve, once y doce); para la parcela cinco en los muestreos (uno, tres, cuatro, seis , siete, ocho , diez, once y doce); en la parcela seis en los muestreos (dos, tres, cuatro, seis, siete, ocho, diez, once y doce); se ajustaron a una distribución binomial negativa (agregación) a los datos.

Por otra parte, en la parcela uno en el muestreo seis; parcela tres en los muestreos (dos y diez); en la parcela cinco en los muestreos (dos y cinco), en los muestreos anteriores se efectuó el ajuste a la distribución de Poisson (aleatoria), por lo que en este caso no se puede discernir una distribución real de Mancha de hierro en las parcelas monitoreadas, ya que resulta imposible que la enfermedad presente al mismo tiempo dos distribuciones espaciales. Quizás la explicación a dicha dualidad puede estar en los valores altos que presenta el parámetro k , como es relativamente el caso, la Binomial Negativa tiende a la distribución de Poisson, por lo que al realizar el ajuste estadístico por máxima verosimilitud se ajusten a ambos modelos indistintamente.

Tabla 1. Índices de dispersión y distribuciones estadísticas de la distribución espacial de *Mycosphaerella coffeicola* Cooke

Parcela 1	Índice de dispersión	Índice de Green	Poisson	Binomial negativa	k
(1) Sep-01	1.68s	0.21	NS	S	2.68
(2) Sep-02	2.08s	0	NS	S	3.17
(3) Oct-03	1.33s	0.69	NA	NA	-
(4) Oct-04	1.47s	0	NS	S	5.22
(5) Nov-05	2.52s	0.75	NS	S	1.05
(6) Nov-06	0.77ns	0.25	S	S	25.02
(7) Dic-07	2.88s	0.92	NA	NA	-
(8) Dic-08	2.67s	0.73	NS	S	8.41
(9) Ene-09	0.51ns	0	NS	S	6.11
(10) Ene-10	1.37s	0.44	NS	S	7.19
(11) Feb-11	0.24ns	0.15	NS	S	2.96
(12) Feb-12	3.12s	0.94	NS	S	8.26

Mtreo.: S: significativo; NS: No significativo: nivel de significancia al 5%; NA: No ajustada.

Tabla 1. Continuación

Parcela 2	Índice de dispersión	Índice de Green	Poisson	Binomial negativa	k
(1) Sep-01	1.77s	0	NS	S	0.57
(2) Sep-02	2.48s	0.24	NS	S	1.72
(3) Oct-03	1.61s	0.92	NS	S	10.04
(4) Oct-04	2.88s	0.73	NA	NA	-
(5) Nov-05	0.54ns	0.17	NS	S	4.23
(6) Nov-06	3.07s	0.49	NS	S	2.08
(7) Dic-07	2.67s	0.11	NS	S	8.22
(8) Dic-08	0.33ns	0.98	NS	S	7.19
(9) Ene-09	2.25s	0	NS	S	4.74
(10) Ene-10	1.57s	0.57	NA	NA	2.73
(11) Feb-11	3.07s	0.49	NS	S	2.08
(12) Feb-12	2.48s	0.24	NS	S	1.72

Mtreo.: S: significativo; NS: No significativo: nivel de significancia al 5%; NA: No ajustada.

Tabla 1. Continuación

Parcela 3	Índice de dispersión	Índice de Green	Poisson	Binomial negativa	<i>k</i>
(1) Sep-01	2.63s	0.55	NS	S	4.25
(2) Sep-02	1.09s	0.42	S	S	29.69
(3) Oct-03	0.27ns	0.87	NS	S	10.66
(4) Oct-04	3.29s	0.27	NS	S	7.36
(5) Nov-05	2.44s	0	NS	S	2.08
(6) Nov-06	1.53s	0.63	NS	S	1.54
(7) Dic-07	2.78s	0.72	NS	S	5.71
(8) Dic-08	0.66ns	0.16	NS	S	6.42
(9) Ene-09	1.40s	0	NS	S	9.11
(10) Ene-10	1.38s	0.95	S	S	36.15
(11) Feb-11	0.52ns	0.5	NA	NA	-
(12) Feb-12	1.57s	0.12	NS	S	6.01

Mtreo.: S: significativo; NS: No significativo: nivel de significancia al 5%; NA: No ajustada.

Tabla 1. Continuación

Parcela 4	Índice de dispersión	Índice de Green	Poisson	Binomial negativa	<i>k</i>
(1) Sep-01	1.24s	0.65	NA	NA	-
(2) Sep-02	1.92s	0.24	NS	S	4.67
(3) Oct-03	1.57s	0	NS	S	1.83
(4) Oct-04	2.44s	0	NS	S	9.25
(5) Nov-05	1.73s	0.58	NS	S	5.66
(6) Nov-06	3.22s	0.33	NS	S	2.89
(7) Dic-07	2.94s	0.81	NS	S	1.92
(8) Dic-08	1.77s	0	NS	S	0.48
(9) Ene-09	0.70ns	0.95	NS	S	5.27
(10) Ene-10	1.24s	0.44	NA	NA	-
(11) Feb-11	0.54ns	0.59	NS	S	7.33
(12) Feb-12	2.85s	0.37	NS	S	2.21

Mtreo.: S: significativo; NS: No significativo: nivel de significancia al 5%; NA: No ajustada.

Tabla 1. Continuación

Parcela 5	Índice de dispersión	Índice de Green	Poisson	Binomial negativa	<i>k</i>
(1) Sep-01	3.56	0.55	NS	S	0.93
(2) Sep-02	2.47	0	S	S	27.14
(3) Oct-03	1.73	0.41	NS	S	5.27
(4) Oct-04	1.89	0.95	NS	S	1.42
(5) Nov-05	0.43ns	0.36	S	S	33.61
(6) Nov-06	3.11	0	NS	S	8.49
(7) Dic-07	2.53	0.22	NS	S	5.27
(8) Dic-08	2.82	0.8	NS	S	1.94
(9) Ene-09	1.34	0	NA	NA	-
(10) Ene-10	0.81ns	0.11	NS	S	0.58
(11) Feb-11	1.07	0.32	NS	S	9.22
(12) Feb-12	0.56ns	0.66	NS	S	4.05

Mtreo.: S: significativo; NS: No significativo: nivel de significancia al 5%; NA: No ajustada.

Tabla 1. Continuación

Parcela 6	Índice de dispersión	Índice de Green	Poisson	Binomial negativa	<i>k</i>
(1) Sep-01	2.26s	0.56	NA	NA	-
(2) Sep-02	3.07s	0	NS	S	5.52
(3) Oct-03	3.45s	0.78	NS	S	8.13
(4) Oct-04	2.87s	0.31	NS	S	0.68
(5) Nov-05	1.44s	0.58	NA	NA	-
(6) Nov-06	2.02s	0.26	NS	S	1.45
(7) Dic-07	0.46ns	0.77	NS	S	7.06
(8) Dic-08	2.65s	0.14	NS	S	3.27
(9) Ene-09	0.22ns	0.84	NA	NA	-
(10) Ene-10	1.24s	0	NS	S	1.78
(11) Feb-11	2.21s	0.37	NS	S	0.42
(12) Feb-12	1.75s	0.99	NS	S	8.13

Mtreo.: S: significativo; NS: No significativo: nivel de significancia al 5%; NA: No ajustada.

Los resultados obtenidos por el índice de dispersión y el índice de Green, tampoco dejan clara su situación con respecto a los casos donde nos indican, por poner un ejemplo con respecto a la parcela uno muestreo seis, para el índice de dispersión indica aleatoriedad, y para el índice de Green indica agregación. Esta característica muestra nuevamente las contradicciones en las que se puede caer al usar estos métodos, señalándonos sus limitaciones.

Los datos obtenidos en la parcela uno en los muestreos (tres y siete); con respecto a la parcela dos en los muestreos (cuatro y diez); para la parcela tres, muestreo once; para la parcela cuatro en los muestreos (uno y diez); para la parcela cinco el muestreo diez y para la parcela seis en los muestreos (uno, cinco y nueve) no se pudieron ajustar a ninguna distribución estadística, ya que no fue posible obtener la correlación de los logaritmos de ajuste por máxima probabilidad. Esto es una prueba más de las limitaciones que presenta en uso de los métodos de la estadística no espacial.

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

Los mapas elaborados a partir del método de Krigeado Ordinario se observan en las Figuras 1, 2 y 3. En los mapas realizados se alcanza a distinguir los diferentes puntos de agregación de la enfermedad Mancha de Hierro en las diferentes parcelas estudiadas, cabe señalar que con estos mapas podemos identificar de modo visual como se va comportando de manera espacial la enfermedad, en razón del tiempo y los requerimientos Edafoclimáticos.

Los mapas obtenidos de la superficie infestada con Mancha de Hierro, con respecto a la parcela uno para los meses de septiembre, octubre y noviembre, la distribución de los centros de agregación o focos de infestación se distribuyen en las orillas izquierda y derecha, con una tendencia hacia el centro de la parcela, teniendo un comportamiento

similar en estos tres meses; para los meses de diciembre, enero y febrero, los centros de agregación se sitúan en la parte central del lado izquierdo con una tendencia a la parte superior del mismo, por otra parte en los meses de abril y mayo, cambian los focos de infestación situándose en el lado izquierdo del lado superior de la parcela (Figura 1).

En los mapas generados en la parcela cinco con respecto a los meses de septiembre a octubre, los centros de agregación presentan un comportamiento persistente en la parte central con una tendencia a la parte superior, en noviembre los focos de agregación se situaron en la parte inferior, por último, en los meses de enero y febrero se concentraron en la parte superior central y del lado izquierdo (Figura 3).

Los semivariogramas, con respecto a la parcela uno y dos se ajustaron en su totalidad al modelo esférico desde los meses de septiembre a febrero; con respecto a la parcela tres, en los muestreos de septiembre a diciembre de la primera quincena los modelos se ajustaron al modelo Gaussiano, en la segunda quincena de diciembre se ajustó al modelo esférico, por otra parte en la primera quincena de enero, se ajustó al modelo gaussiano, en la segunda semana de enero se ajustó al modelo esférico, con respecto a la primera quincena de febrero la parcela se ajustó al modelo gaussiano en la segunda quincena de febrero se ajustó al modelo exponencial, así sucesivamente en las parcelas restantes en sus muestreos correspondientes (Tabla 2).

El valor de efecto pepita fue igual a cero en todas las parcelas. Dicho valor es indicativo de que la escala de muestreo utilizada en el presente trabajo fue la adecuada y el error de muestreo fue mínimo (Tabla 2). En todos los modelos se presentó un alto nivel de dependencia espacial para cada una de las parcelas (Tabla 2). Los valores de rango se ubicaron con un valor mínimo 6 m y un máximo 15 m, en las diferentes parcelas, siendo este rango la distancia máxima hasta la cual existe relación espacial entre los datos.

La aplicación de los métodos de geoestadística nos permite determinar el uso correcto de las técnicas de mantenimiento, así como la aplicación de productos agroquímicos a las áreas donde se encuentra la infección de la Mancha de Hierro, lo que genera reducción de costos de inversión con respecto al mantenimiento, de igual manera una menor emisión de productos químicos a el ambiente generando un cuidado responsable.

Figura 1. Mapas de densidad de infección de la mancha de hierro en los muestreos de las parcelas 1 y 2, del municipio de Amatepec, Méx.

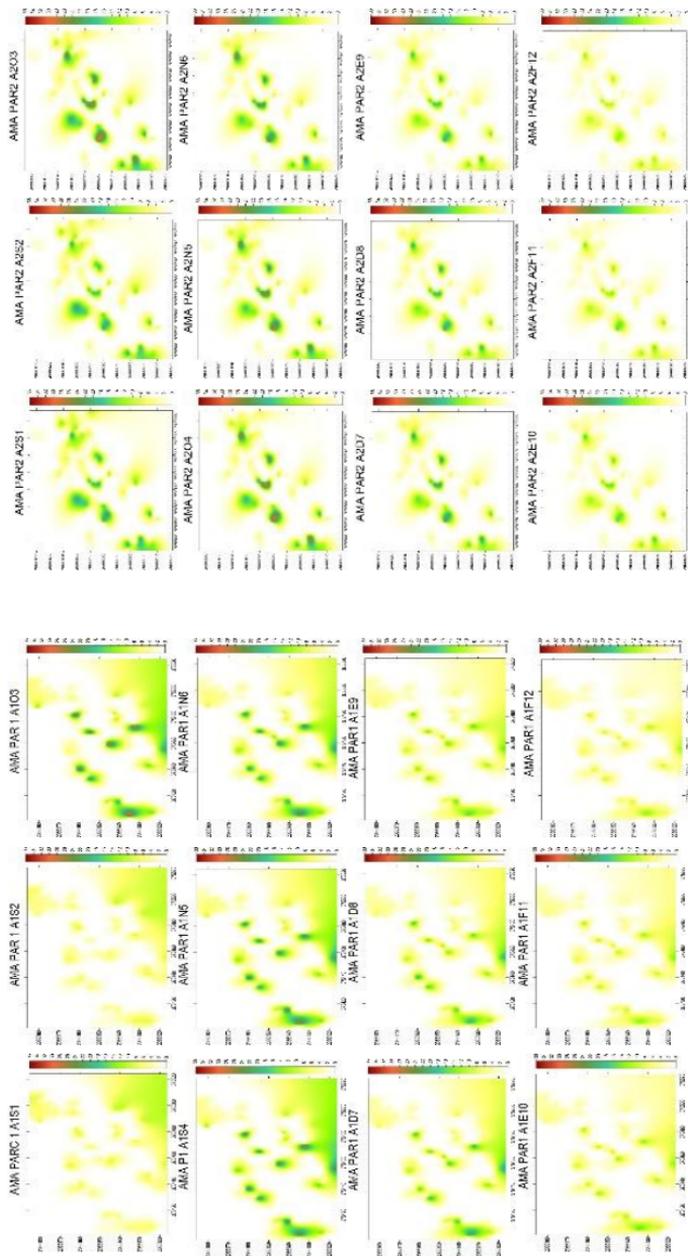


Figura 2. Mapas de densidad de infección de la mancha de hierro en los muestreos de las parcelas 3 y 4, del municipio de Amatepec, Méx.

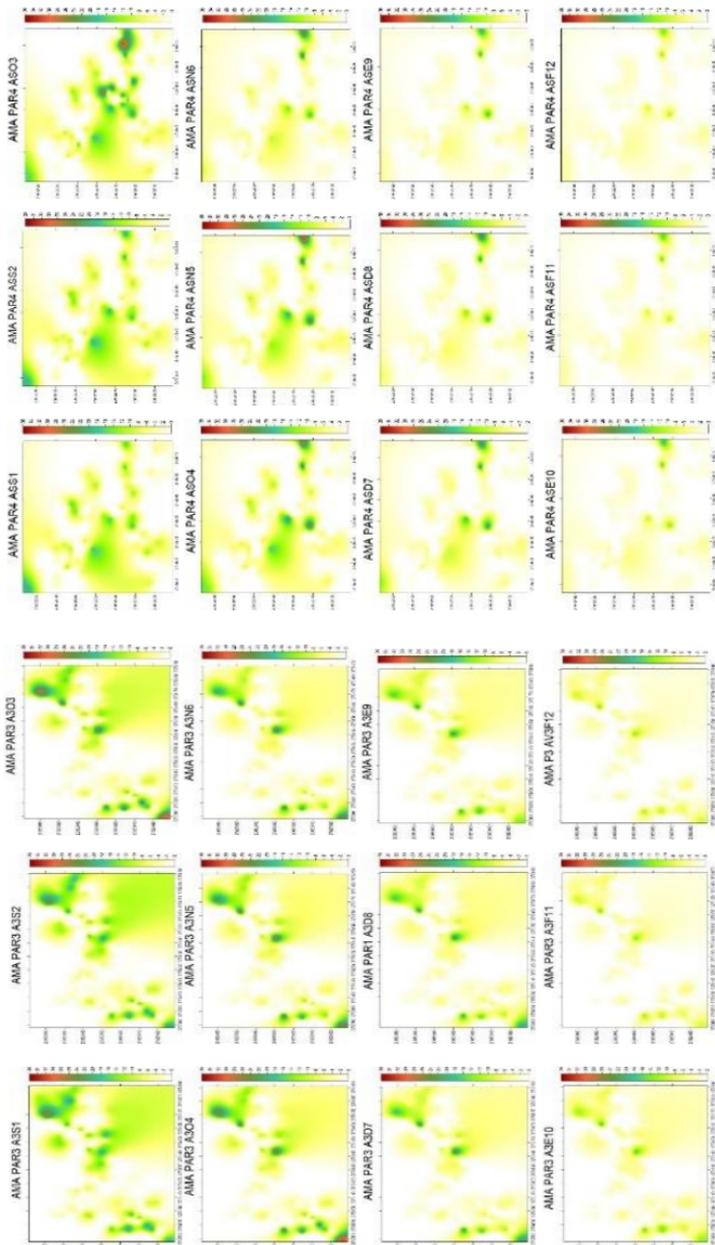


Figura 3. Mapas de densidad de infección de la mancha de hierro en los muestreos de las parcelas 5 y 6, del municipio de Amatepec, Méx.

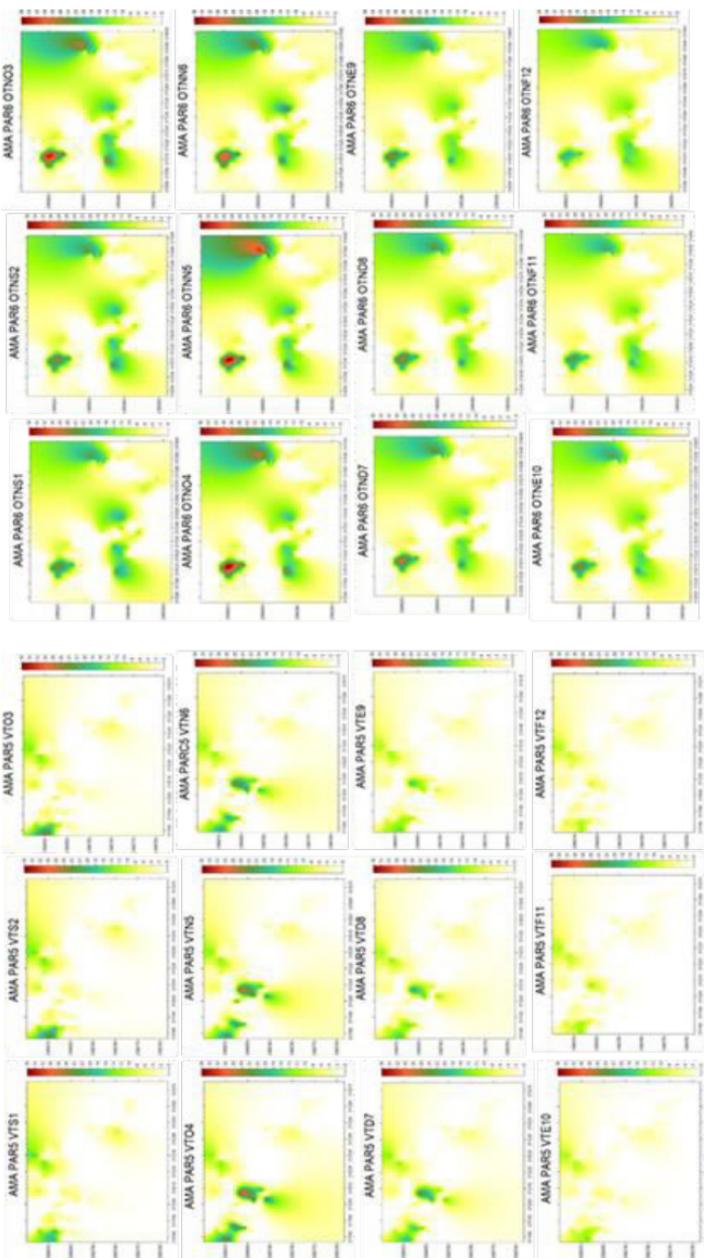


Tabla 2. Parámetros (Efecto pepita, meseta y rango) de los modelos ajustados a los semivariogramas de *Mycosphaerella Coffeicola*

Parcela 1 Muestreo	Media	Varianza	Modelo	Pepita	Meseta	Rango	Pepita/ meseta	Dependencia espacial
(1) Sep-01	3.43	39.28	Esférico	0	77.44	12.6	0	Alta
(2) Sep-02	3.21	35.77	Esférico	0	75.53	11.99	0	Alta
(3) Oct-03	3.03	33.62	Esférico	0	71.34	12.6	0	Alta
(4) Oct-04	3.17	35.66	Esférico	0	69.66	12.59	0	Alta
(5) Nov-05	3.03	31.85	Esférico	0	66.22	15	0	Alta
(6) Nov-06	2.84	29.08	Esférico	0	61.19	13.19	0	Alta
(7) Dic-07	2.62	26.71	Esférico	0	64.6	9.2	0	Alta
(8) Dic-08	2.47	24.14	Esférico	0	58.88	13.8	0	Alta
(9) Ene-09	2.41	22.32	Esférico	0	52.2	13.2	0	Alta
(10) Ene-10	2.27	19.81	Esférico	0	46.8	13.8	0	Alta
(11) Feb-11	2.16	17.51	Esférico	0	40.94	12.6	0	Alta
(12) Feb-12	2.03	14.51	Esférico	0	31.15	10.8	0	Alta

Tabla 2. Continuación

Parcela 2 Muestreo	Media	Varianza	Modelo	Pepita	Meseta	Rango	Pepita/ meseta	Dependencia espacial
(1) Sep-01	2.48	27.47	Esférico	0	80	8.99	0	Alta
(2) Sep-02	2.37	25.55	Esférico	0	74.62	11.4	0	Alta
(3) Oct-03	2.25	23.66	Esférico	0	69.72	9.59	0	Alta
(4) Oct-04	2.06	21.01	Esférico	0	61.5	11.21	0	Alta
(5) Nov-05	1.93	18.89	Esférico	0	54.4	9	0	Alta
(6) Nov-06	1.77	16.61	Esférico	0	48.79	11.4	0	Alta
(7) Dic-07	1.64	15.17	Esférico	0	44.79	9	0	Alta
(8) Dic-08	1.54	13.99	Esférico	0	41.6	9	0	Alta
(9) Ene-09	1.41	12.71	Esférico	0	37.44	9	0	Alta
(10) Ene-10	1.31	10.95	Esférico	0	32.76	9.59	0	Alta
(11) Feb-11	1.98	5.53	Esférico	0	12.9	9.6	0	Alta
(12) Feb-12	1.27	4.92	Esférico	0	9.02	12.98	0	Alta

Tabla 2. Continuación

Parcela 3 Muestreo	Media	Varianza	Modelo	Pepita	Meseta	Rango	Pepita/ meseta	Dependencia espacial
(1) Sep-01	4.83	33.96	Gaussiano	0	78.3	7.79	0	Alta
(2) Sep-02	4.79	30.69	Gaussiano	0	65.25	7.2	0	Alta
(3) Oct-03	4.15	24.31	Gaussiano	0	53.07	7.2	0	Alta
(4) Oct-04	3.46	19.4	Gaussiano	0	45.23	7.1	0	Alta
(5) Nov-05	3.11	15.52	Gaussiano	0	36.48	8.4	0	Alta
(6) Nov-06	2.86	12.8	Gaussiano	0	29.92	7.8	0	Alta
(7) Dic-07	2.68	10.73	Gaussiano	0	24.36	8.44	0	Alta
(8) Dic-08	2.54	9.39	Esférico	0	21.12	12	0	Alta
(9) Ene-09	2.42	8.28	Gaussiano	0	12.9	7.8	0	Alta
(10) Ene-10	1.98	5.53	Esférico	0	12.9	9.6	0	Alta
(11) Feb-11	1.27	3.49	Gaussiano	0	8.53	6	0	Alta
(12) Feb-12	1.25	3.37	Exponencial	0	8.09	6.6	0	Alta

Tabla 2. Continuación

Parcela 4 Muestreo	Media	Varianza	Modelo	Pepita	Meseta	Rango	Pepita/ meseta	Dependencia espacial
(1) Sep-01	4.01	24.41	Exponencial	0	49.84	10.62	0	Alta
(2) Sep-02	3.62	19.33	Esférico	0	38.27	10.62	0	Alta
(3) Oct-03	3.5	18.93	Esférico	0	40.48	10.03	0	Alta
(4) Oct-04	3.1	15.3	Exponencial	0	31.68	11.8	0	Alta
(5) Nov-05	2.66	11.84	Exponencial	0	26.1	11.2	0	Alta
(6) Nov-06	1.97	6.46	Esférico	0	15.48	10.02	0	Alta
(7) Dic-07	2.14	8.91	Esférico	0	20.01	10.02	0	Alta
(8) Dic-08	1.49	4.93	Gaussiano	0	12.04	9.43	0	Alta
(9) Ene-09	1.27	4.92	Esférico	0	9.02	12.98	0	Alta
(10) Ene-10	1.22	4.07	Esférico	0	7.47	13.57	0	Alta
(11) Feb-11	1.19	3.5	Gaussiano	0	6.3	10.61	0	Alta
(12) Feb-12	1.16	3.11	Gaussiano	0	5.73	10.03	0	Alta

Tabla 2. Continuación

Parcela 5 Muestreo	Media	Varianza	Modelo	Pepita	Meseta	Rango	Pepita/ meseta	Dependencia espacial
(1) Sep-01	2.02	10.41	Esférico	0	15.84	10.2	0	Alta
(2) Sep-02	2.01	9.74	Esférico	0	14.94	7.13	0	Alta
(3) Oct-03	1.94	8.53	Esférico	0	13.44	7.02	0	Alta
(4) Oct-04	1.79	7.39	Esférico	0	11.85	7.48	0	Alta
(5) Nov-05	1.76	7.29	Esférico	0	11.2	6.12	0	Alta
(6) Nov-06	1.76	7.37	Esférico	0	11.12	8.31	0	Alta
(7) Dic-07	1.73	6.88	Esférico	0	11.44	9.12	0	Alta
(8) Dic-08	1.57	5.74	Esférico	0	10.08	9.6	0	Alta
(9) Ene-09	1.5	5.66	Esférico	0	9.35	10.08	0	Alta
(10) Ene-10	1.46	5.18	Esférico	0	8.29	7.92	0	Alta
(11) Feb-11	1.44	5.08	Esférico	0	8.16	9.36	0	Alta
(12) Feb-12	1.46	5.01	Esférico	0	8.17	9.12	0	Alta

Tabla 2. Continuación

Parcela 6 Muestreo	Media	Varianza	Modelo	Pepita	Meseta	Rango	Pepita/ meseta	Dependencia espacial
(1) Sep-01	6.54	51.01	Esférico	0	57.67	10.87	0	Alta
(2) Sep-02	6.35	47.92	Esférico	0	53.9	8.31	0	Alta
(3) Oct-03	6.17	45.34	Esférico	0	54.4	8.16	0	Alta
(4) Oct-04	6.11	44.95	Esférico	0	53.46	7.68	0	Alta
(5) Nov-05	5.93	39.81	Esférico	0	47.87	8.16	0	Alta
(6) Nov-06	5.56	35.93	Esférico	0	45.9	8.16	0	Alta
(7) Dic-07	5.33	33.63	Esférico	0	44.52	8.16	0	Alta
(8) Dic-08	5.21	31.17	Esférico	0	42	8.16	0	Alta
(9) Ene-09	5.03	29.16	Esférico	0	41.16	8.16	0	Alta
(10) Ene-10	5.12	28.56	Esférico	0	40.18	8.15	0	Alta
(11) Feb-11	4.99	26.65	Esférico	0	39.01	8.16	0	Alta
(12) Feb-12	4.84	25.03	Esférico	0	37.26	8.83	0	Alta

En la Tabla 3, se especifican los resultados obtenidos del porcentaje de superficie infestada; la parcela seis tuvo la mayor superficie infestada 75% en la segunda quincena de noviembre, con respecto al menor porcentaje de infestación se presentó en la parcela cuatro en el muestreo de la segunda quincena del mes de febrero siendo este con 38%. Del área total estudiada el valor medio de superficie infectada fue de 56%. De manera general se encontró que a mayor presencia menor superficie sin infectar. Lo interesante de los resultados obtenidos, es que en ninguno de los casos de muestreo se pudo presentar una infección por Mancha de Hierro que alcanzara un 100%. Lo resultados observados resultan de interés para el manejo integrado para Mancha de Hierro, puesto que permitirá realizar prácticas de control sobre las áreas de infección específicas.

Agricultura de Precisión (AP)

En la Tabla 4 se observan los resultados de la evaluación económica y ambiental, indicando el costo de producto químico por hectárea \$7,800.00, siendo la cantidad de fungicida a utilizar seis litros, ya que los productores lo aplican de manera homogénea en las mismas cantidades, sin hacer la distinción de la ubicación real donde se encuentran los focos de agregación de la enfermedad; por otra parte como se mencionó en el apartado anterior el hongo nunca llegó a cubrir el 100% de las parcelas donde se llevó a cabo el estudio.

Con respecto al control químico del hongo Mancha de Hierro, los productores utilizan el Flutriafol ingrediente activo contenido en el producto comercial Controller F-500 de la marca FMC y cloruro tribásico de cobre. En la Tabla 4 se observa la cantidad de producto químico que se utiliza por hectárea, el cual corresponde a seis litros, considerando que el costo por unidad de producto aplicado corresponde a \$1,300 pesos realizando un costo real por hectárea de \$7,800 pesos, en términos generales el estudio con técnicas geoestadísticas, permite saber en tiempo real la distribución de la enfermedad, la superficie infestada y la ubicación exacta de los focos de agregación en donde se encuentra presente el hongo Mancha de Hierro, generando un importante de ahorro económico en la aplicación dirigida del fungicida, mitigando el impacto al ambiente, ya que se reduce la aplicación de fungicida de seis litros a realizar una aplicación dirigida a zonas específicas utilizando hasta tres a cuatro litros, por ello resulta importante el uso de este tipo de técnicas para comenzar con una agricultura sustentable más amigable al ambiente.

Tabla 3. Porcentaje de superficie infestada y no infestada por la mancha de hierro en Amatepec

Parcela 1 Muestreo	Superficie infestada %	Superficie no infestada %
(1) Sep-01	44	56
(2) Sep-02	45	55
(3) Oct-03	48	52
(4) Oct-04	48	52
(5) Nov-05	49	51
(6) Nov-06	50	50
(7) Dic-07	50	50
(8) Dic-08	48	52
(9) Ene-09	46	54
(10) Ene-10	45	55
(11) Feb-11	43	57
(12) Feb-12	42	58

Tabla 3. Continuación

Parcela 2 Muestreo	Superficie infestada %	Superficie no infestada %
(1) Sep-01	50	50
(2) Sep-02	51	49
(3) Oct-03	52	48
(4) Oct-04	53	47
(5) Nov-05	53	47
(6) Nov-06	53	47
(7) Dic-07	51	49
(8) Dic-08	50	50
(9) Ene-09	49	51
(10) Ene-10	49	51
(11) Feb-11	48	52
(12) Feb-12	46	54

Tabla 3. Continuación

Parcela 3 Muestreo	Superficie infestada %	Superficie no infestada %
(1) Sep-01	67	33
(2) Sep-02	68	32
(3) Oct-03	69	31
(4) Oct-04	69	31
(5) Nov-05	69	31
(6) Nov-06	70	30
(7) Dic-07	69	31
(8) Dic-08	67	33
(9) Ene-09	67	33
(10) Ene-10	66	34
(11) Feb-11	65	35
(12) Feb-12	65	35

Tabla 3. Continuación

Parcela 4 Muestreo	Superficie infestada %	Superficie no infestada %
(1) Sep-01	41	59
(2) Sep-02	41	59
(3) Oct-03	43	57
(4) Oct-04	44	56
(5) Nov-05	44	56
(6) Nov-06	45	55
(7) Dic-07	44	56
(8) Dic-08	42	58
(9) Ene-09	41	59
(10) Ene-10	40	60
(11) Feb-11	40	60
(12) Feb-12	38	62

Tabla 3. Continuación

Parcela 5 Muestreo	Superficie infestada %	Superficie no infestada %
(1) Sep-01	56	44
(2) Sep-02	58	42
(3) Oct-03	59	41
(4) Oct-04	59	41
(5) Nov-05	60	40
(6) Nov-06	60	40
(7) Dic-07	58	42
(8) Dic-08	58	42
(9) Ene-09	56	44
(10) Ene-10	55	45
(11) Feb-11	55	45
(12) Feb-12	53	47

Tabla 3. Continuación

Parcela 6 Muestreo	Superficie infestada %	Superficie no infestada %
(1) Sep-01	71	29
(2) Sep-02	72	28
(3) Oct-03	73	27
(4) Oct-04	73	27
(5) Nov-05	74	26
(6) Nov-06	75	25
(7) Dic-07	74	26
(8) Dic-08	73	27
(9) Ene-09	71	29
(10) Ene-10	70	30
(11) Feb-11	68	32
(12) Feb-12	67	33

Tabla 4. Evaluación económica y ambiental

Fecha	Costo en (\$/ha)	Ahorro (\$/ha)	Cantidad de fungicida en an (l/ha)	Ahorro de controller f-500 (l/ha)
Parcela 1				
Sep 01-02	\$7,800.00	\$4,368.00	6	3.18
Oct-03, 04	\$7,800.00	\$4,290.00	6	3.18
Nov-05, 06	\$7,800.00	\$4,056.00	6	3.18
Parcela 2				
Sep 01-02	\$7,800.00	\$3,666.00	6	2.88
Oct-03, 04	\$7,800.00	\$3,666.00	6	2.94
Nov-05, 06	\$7,800.00	\$3,666.00	6	3
Parcela 3				
Sep 01-02	\$7,800.00	\$2,418.00	6	3.18
Oct-03, 04	\$7,800.00	\$2,418.00	6	3.18
Nov-05, 06	\$7,800.00	\$2,340.00	6	3.18
Parcela 4				
Sep 01-02	\$7,800.00	\$4,368.00	6	2.64
Oct-03, 04	\$7,800.00	\$4,368.00	6	2.64
Nov-05, 06	\$7,800.00	\$4,290.00	6	2.7
Parcela 5				
Sep 01-02	\$7,800.00	\$3,198.00	6	2.46
Oct-03, 04	\$7,800.00	\$3,120.00	6	2.4
Nov-05, 06	\$7,800.00	\$3,120.00	6	2.4
Parcela 6				
Sep 01-02	\$7,800.00	\$2,106.00	6	1.62
Oct-03, 04	\$7,800.00	\$2,028.00	6	1.56
Nov-05, 06	\$7,800.00	\$1,950.00	6	1.5

Discusión

Dentro del estudio de la estadística espacial resulta más común el uso de la Geoestadística como herramienta para la modelización de fenómenos biológicos dentro de la agricultura (Rossi *et al.*, 1992). El uso de

este tipo de técnicas ha venido a generar un conocimiento más preciso para el manejo de plagas y enfermedades en diferentes tipos de cultivos. Ramírez y Camargo (2008) indican en su estudio de distribución espacial de las ninfas de *Jacobiasca lybica* (Hemiptera: Cicadellidae) en un viñedo en Andalucía, España, que la mayor infestación de insectos plaga se localizó en áreas centrales.

En los mapas de densidad que se obtuvieron mediante la técnica del Krigeado se observan los centros de agregación de los de dentro de la parcela lo cual a la hora de proteger el cultivo contra la plaga permite dirigir de forma precisa las medidas de control (Blom y Fleischer, 2001; Esquivel Higuera y Jasso García, 2014; Moral García, 2004; Rivera-Martínez *et al.*, 2018; Weisz *et al.*, 1996) por lo tanto, el objetivo del trabajo fue determinar la distribución espacial de las poblaciones de huevos de *B. cockerelli* en cuatro parcelas de tomate de cáscara, por medio de la geoestadística, en Luvianos, Estado de México en el año 2016-2017. Se determinó el semivariograma experimental para ajustarse a un modelo teórico (esférico, exponencial o gaussiano. Las aplicaciones directas conllevan varios beneficios tanto económicos como ambientales, al tener de manera específica donde se encuentra ubicada la enfermedad se generan datos estadísticos para la planeación de un manejo agronómico con enfoque de agricultura sustentable y altamente sostenible, con esta dirección se debe usar todas aquellas técnicas geoestadísticas con el fin de ir reduciendo el impacto ambiental por el uso indiscriminado de agroquímicos, por lo mismo que las plagas y enfermedades van generando resistencia a todo aquel producto que nosotros aplicamos en los campos de cultivo, por ello es importante introducir la agricultura sustentable en las zonas agrícolas, para obtener productos incluso con mayor valor económico en el mercado.

En el caso de Ramírez *et al.* (2013) quienes realizaron estudios sobre modelización y mapeo de la distribución espacial de *Bactericera cockerelli* Sulc (Hemiptera: Triozidae) en la papa, en el Estado de México, se utilizaron ambas estadísticas, la clásica y la espacial (Geoestadística). Los resultados obtenidos enfatizaron que la estadística clásica es inconsistente para determinar la ubicación física del insecto y la estadística espacial es la más adecuada, pues se pueden generar mapas de densidad para visualizar la distribución espacial de las poblaciones. Así, en el presente trabajo el uso de técnicas geoestadísticas permitió determinar la distribución espacial de *Mycosphaerella Coffeicola* bajo una estructura agregada en las 6 parcelas. Los semivariogramas teóricos obtenidos fueron de dos tipos: esférico y gaussiano. Dichos modelos ajustados tienen

un 98% de fiabilidad, por lo que se puede deducir que más del 90% de la variación total es debida a la dependencia espacial encontrada en la escala de muestreo utilizada. Esto es, más del 90% de la variación de la distribución de las poblaciones de *Mycosphaerella Coffeicola* se logró explicar por la estructura espacial establecida con los semivariogramas. Además, las funciones estadísticas permitieron validar los modelos del tipo esférico y gaussiano de ambas parcelas en las diferentes fechas de muestreo (Acosta-Guadarrama *et al.*, 2017; Maldonado-Zamora *et al.*, 2017).

El modelo gaussiano es indicativo de que el comportamiento de agregación de *Mycosphaerella Coffeicola* se da de forma continua dentro de las parcelas, ya que la infección de esta planta, con respecto a su avance, se da entre los arbustos cercanos. Resultados similares fueron obtenidos por Sánchez *et al.* (2015) en un estudio sobre el patrón espacial del carbón de la espiga de maíz. Ambos concluyen que los semivariogramas ajustados a los modelos gaussianos indican que los focos de infestación, tanto de la enfermedad como del insecto, presentan una expansión continua dentro de la parcela respecto a los puntos muestreados. Esto permite inferir que la existencia de diversos factores ambientales favorece su desarrollo hacia arbustos cercanos.

El modelo esférico indica que las poblaciones de *Mycosphaerella Coffeicola* 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. Posiblemente esto se deba al tipo de diseminación, a la exposición del sol o a los vientos predominantes. Estudios realizados por Nafarrate *et al.* (2018) sobre la modelización y mapeo estacional del índice de área foliar en un bosque tropical seco y Ramírez y Figueroa (2013) sobre la modelización y mapeo de la distribución espacial de *Bactericera cockerelli* Sulc (Hemiptera: Triozidae) en papa en el Estado de México, determinaron centros de agregación en zonas específicas dentro de las parcelas de estudio.

En las parcelas se presentó un nivel de dependencia espacial alta y un nivel de agregación alto que permiten suponer la existencia de condiciones ambientales favorables al desarrollo y diseminación de la Mancha de Hierro. Los resultados concuerdan con lo obtenido por Ramírez y Porcayo (2010) en su estudio comparativo de la distribución espacial del muérdago enano (*Arceuthobium* sp.) en la ladera Norte del Parque Nacional Nevado de Toluca, México. También con lo obtenido por Arce *et al.* (2016), quienes determinaron un nivel alto de agregación sobre factores bióticos asociados a la distribución espacial de *Psittacanthus*

calyculatus (DC.) G. Don en un bosque tropical caducifolio del centro de México.

Por lo anterior se tendría que determinar que tanto favorecen los factores ambientales al desarrollo y la expansión de *Mycosphaerella Coffeicola* hacia zonas en las que se han detectado presencia de mancha de hierro, ya que quizás actuando sobre ellos se pueda reducir su presencia en estas zonas. Así, será posible incorporar métodos de control para disminuir el uso de agroquímicos que en algunos casos resultan ser muy costosos y dañinos.

Además de indicar las zonas en las que se encuentra distribuida la enfermedad, los mapas de infestación también determinan el porcentaje de superficie infestada en cada parcela de estudio. Por ello, se pudo comprobar que la infestación en las parcelas no se distribuye en el 100%, habiendo zonas de poca infestación, lo cual permite dirigir de manera eficaz acciones de control. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Ramírez *et al.* (2011) en el estudio sobre Estabilidad Espacio Temporal de la Distribución del Carbón de la Espiga del Maíz y por Arce *et al.* (2016) en su estudio sobre factores bióticos asociados a la distribución espacial de muérdago *Psittacanthus calyculatus* (DC.) G. Don en un bosque tropical caducifolio de México, pues en ninguno de los casos la infestación alcanzó el 100% del área de estudio, con lo cual se pueden dirigir de forma precisa, eficaz y eficiente las diferentes medidas de control sobre las zonas específicas, generando beneficios económicos y ambientales al aplicar los fungicidas o los controles culturales en estas zonas.

Conclusiones

Es posible establecer el tipo de distribución y los mapas de densidad del hongo Mancha de Hierro a través del uso de la geoestadística. La aplicación de la agricultura de precisión en el manejo de presencia de Mancha de Hierro resulta factible.

Los resultados obtenidos mostraron la existencia de una disposición espacial agregada. Es posible dirigir las medidas de control a zonas determinadas donde es alta la presencia del hongo.

La aplicación de fungicidas acompañado de una agricultura de precisión derrama un ahorro económico de cantidades importantes de aplicaciones químicas. El manejo adecuado de productos químicos reduciría el impacto de productos químicos residuales en el ambiente.

La información obtenida a partir de los datos de dispersión indica, en general, una presencia en Mancha de Hierro de forma agregada. Sin embargo, el índice de dispersión y el índice de Green mostraron resultados similares en cuanto a la localización de tipo agregada, en general se encontró en los datos obtenidos del índice de Green que presentaron agregaciones leves.

Fuente consultadas

- Arce, A. I., Suzán-Azpiri, H., García-Rubio, O., Arce-Acosta, I., Suzán-Azpiri, H., y García-Rubio, O. (2016). Biotic factors associated with the spatial distribution of the mistletoe *Psittacanthus calyculatus* in a tropical deciduous forest of central Mexico. *Botanical Sciences*, 94(1), 89–96. <https://doi.org/10.17129/BOTSCI.263>
- Blom, P. E., y Fleischer, S. J. (2001). Dinámica en la estructura espacial de *Lepidoptera decemlineata* (Coleoptera: Chrysomelidae). *Entomología Ambiental*, 30(0), 350–364.
- Cambardella, C. A., Moorman, T. B., Novak, J. M., Parkin, T. B., Karlen, D. L., Turco, R. F., y Konopka, A. E. (1994). Field-Scale Variability of Soil Properties in Central Iowa Soils. *Soil Science Society of America Journal*, 58(5), 1501–1511. <https://doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800050033x>
- David Acosta-Guadarrama, A., Francisco Ramírez-Dávila, J., Rivera-Martínez, R., Figueroa-Figueroa, D. K., Lara-Díaz, A. V., y Maldonado-Zamora, I. (2017). Distribución Espacial de *Trips* spp. (Thysanoptera) y Evaluación de su Control Mediante el Depredador *Amblyseius swirskii* en el Cultivo de Aguacate en México. *Bio One COMPLETE*, 42, 435–446. <https://doi.org/10.3958/059.042.0214>
- Englund, E. J., y Sparks, A. R. (1988). *GEO-EAS (Geostatistical environmental assessment software) user's guide*.
- Escamilla P, E., Ruiz R, O., Díaz P, G., Landeros S, C., Platas R, D. E., Zamarripa C, A., Y González H, V. A. (2005). El agroecosistema café orgánico en México. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/6135>
- Esquivel Higuera, V., y Jasso García, Y. (2014). Núm. 6 14 de agosto-27 de septiembre. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 5(6), 923–935. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342014000600002&lng=es&eeynrm=isoytlng=es
- Gallardo, A. (2006). *Geostadística. Ecosistemas*, 15(3). <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/161>

- Hevesi, J. A., Istok, J. D., y Flint, A. L. (1992). Estimación de precipitación en terreno montañoso mediante geostatística multivariante. Parte I: Análisis Estructural. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 31, 661–676.
- Higuera, V. E., y García, Y. J. (2014). Núm. 6 14 de agosto-27 de septiembre. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5, 923–935.
- Isaaks, E. H., y Srivastava, M. R. (1989). *Applied geostatistics*. New York : Oxford University Press, 0(0), 561.
- Jiménez C., R. D. L. Á., Ramírez D., J. F., Sánchez P., J. R., Salgado S., M. L., y Laguna C., A. (2013). Modelización espacial de *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) en tomate de cáscara por medio de técnicas geostatísticas. *Revista Colombiana de Entomología*, 39(2), 183–192. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-04882013000200001&lng=en&nrm=isoyt&lng=es
- Journel, A. G., Huijbregts, C. (1978). *Ch. J. Geoestadística minera*. | CiNii Investigación todos Buscar. <https://cir.nii.ac.jp/all?q=Ch. J. Mining geostatistics>.
- López-Guzmán Guzmán, T. J., Ma, S., y Cañizares, S. (2008). No 2 págs. 6, 159–171. <https://doi.org/10.25145/j.pasos.2008.06.013>
- Maldonado Zamora, F. I., Ramírez Dávila, J. F., Rubí Arriaga, M., Antonio Némiga, X., Y Lara Díaz, A. V. (2017). Distribución espacial de trips en aguacate en Coatepec Harinas, Estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(4), 845. <https://doi.org/10.29312/remexca.v7i4.259>
- Moral García, F. J. (2004). Aplicación de la geostatística en las ciencias ambientales. *Ecosistemas*, 13(0), 78–86.
- Nafarrate-Hecht, A. C., Dupuy-Rada, J. M., George-Chacon, S. P., Hernández-Stefanoni, J. L., Nafarrate-Hecht, A. C., Dupuy-Rada, J. M., George-Chacon, S. P., Y Hernández-Stefanoni, J. L. (2018). Modelización y mapeo estacional del índice de área foliar en un bosque tropical seco usando imágenes de satélite de alta resolución. *Madera y bosques*, 24(3). <https://doi.org/10.21829/MYB.2018.2431666>
- Ramírez Dávila, J. Francisco; Porcayo Camargo, E. (2008). Distribución espacial de las ninfas de *Jacobiasca lybica* (Hemiptera: Cicadellidae) en un viñedo en Andalucía, España. *Revista Colombiana de Entomología*. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-04882008000200006
- Ramírez Dávila, J. Francisco; Solares Alonso, Victor Manuel; Figueroa Figueroa, Dulce Karen; Sanchez Pale, J. R. (2013). Comportamiento espa-

cial de trips (Insecta: Thysanoptera), en plantaciones comerciales de aguacate (*Persea americana* Mill.) en Zitácuaro, Michoacán, México. *Acta zoológica mexicana*. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0065-17372013000300007&script=sci_arttext

- Ramírez Dávila, J. F., Sánchez Pale, J. R., y De León, C. (2011). Stability of the Temporal Spatial Distribution of Corn Head Smut (*Sporisorium reilianum*) in the State of Mexico. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 29, 1–14.
- Rengifo-Guzmán, H., Eduardo Leguizamón-Caycedo, J., y Miguel Riaño-Herrera, N. (2002). Algunos aspectos biológicos de *Cercospora coffeicola*. 53(3), 169–177. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/1023>
- Rivera-Martínez, R., Ramírez-Dávila, J. F., Acosta-Guadarrama, A. D., Rivera-Martínez, R., Ramírez-Dávila, J. F., Y Acosta-Guadarrama, A. D. (2018). Distribución espacial de las poblaciones de huevos de *Bactericera cockerelli* Sulc. en el cultivo de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Acta universitaria*, 28(5), 24–33. <https://doi.org/10.15174/AU.2018.1944>
- Rossi, R. E., Mulla, D. J., Journel, A. G., y Franz, E. H. (1992). Geostatistical tools for modeling and interpreting ecological spatial dependence. *Ecological Monographs*, 62(2), 277–314. <https://doi.org/10.2307/2937096>
- Samper, F. J., y Carrera, J. (1996). *Geoestadística: aplicaciones a la hidrología subterránea*. 2 a (Ed.). Centro Internacional de Métodos en Ingeniería. Isaaks, EHRM Barcelona, España.
- Sánchez-Pale, J. R., Ramírez-Dávila, J. F., González-Huerta, A., y de León, C. (2015). Patrón espacial del carbón de la espiga del maíz en diferentes localidades del Estado de México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 6(7), 1467–1480. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342015000700004&lng=es&isoytlng=es
- SENASICA (2016). Programa de trabajo de Vigilancia Epidemiológica de Roya del café.
- Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. (2016). Manca de Hierro *Mycosphaerella coffeicola* (Cooke) J. A Stevens y Wellman. Ficha Técnica No. 40. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural.
- Sokal, R. y F. Rohlf. (1995). *Biometry: The Principles and Practice of Statistics in Biological Research*. 3 ed., Freeman, New York. 356 pp.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2019.07.004>

Weisz, R., Fleischer, S., y Smilowitz, Z. (1996). Site-Specific Integrated Pest Management for High-Value Crops: Impact on Potato Pest Management. *J. Econ. Entomol*, 89(2), 501–509. <https://academic.oup.com/jee/article/89/2/501/2216461>.