



Comportamiento espacial de mancha de hierro (*Mycosphaerella coffeicola*) en café, en Amatepec, Estado de México

José Francisco Ramírez-Dávila¹, Fidel Lara-Vázquez^{1*}, Dulce Karen Figueroa-Figueroa¹, María Teresa Lugo-Coyote¹. ¹Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México. Campus El Cerrillo, Carretera Toluca-Ixtlahuaca Km 15.5, Piedras Blancas, 50200 Toluca de Lerdo, México.

*Autor de Correspondencia:
Fidel Lara-Vázquez
fidel.lara@hotmail.com

Sección:
Edición periódica

Revisado:
14 Marzo, 2025
Publicado:
20 Diciembre, 2025
Adelantada 2026

Cita:
Ramírez-Dávila JF, Lara-Vázquez F, Figueroa-Figueroa DK y Lugo-Coyote MT. 2026. Comportamiento espacial de mancha de hierro (*Mycosphaerella coffeicola*) en café, en Amatepec, Estado de México. Revista Mexicana de Fitopatología 44(1): 106. <https://doi.org/10.18781/R.ME.X.FIT.2212-5>.

RESUMEN

Antecedentes/Objetivo. La producción de café en el Estado de México, particularmente en el municipio de Amatepec, es amenazada por diferentes enfermedades como la mancha de hierro (*Mycosphaerella coffeicola*), esta enfermedad foliar impacta negativamente en la calidad y rendimiento. El objetivo fue modelar la distribución espacial de la mancha de hierro en cafetales de Amatepec mediante estadística clásica y geoestadística, estimando la superficie infectada para evaluar económicamente las estrategias de manejo.

Desarrollo experimental. En seis parcelas de café de los cultivares Caturra y Típica, se georreferenciaron 100 plantas por parcela, en un muestreo por cuadrantes y se muestrearon catorcenalmente durante seis meses. Por planta se muestrearon 36 hojas, considerando los puntos cardinales y por estratos (alto, medio y bajo). Con los datos se realizó estadística clásica (índices de dispersión y Green, distribuciones de Poisson y binomial negativa) y geoestadística (semivariogramas teóricos y Krigeado Ordinario).

Resultados. La estadística clásica identificó agregación, pero requiere mayor precisión espacial, la geoestadística generó semivariogramas teóricos (Gaussiano, Esférico y Exponencial) y mapas con Krigeado Ordinario, visualizando la distribución de la enfermedad, esta herramienta es fundamental para la identificación de focos de infección y la estimación confiable de la superficie infectada para un manejo de precisión.

Conclusión. La geoestadística superó a la estadística clásica en la precisión del análisis espacial de la enfermedad, los mapas con Krigeado Ordinario identificó áreas con presencia y libres de la enfermedad, lo cual permitiría dirigir de manera eficaz acciones de manejo.

Palabras clave: Geoestadística, Interpolación, Krigeado Ordinario, Variabilidad



INTRODUCCIÓN

La caficultura se considera una actividad estratégica en México, actualmente México es el noveno productor; con un volumen de producción de 1 056 305.93 t en grano de café “verde”. Del total de exportaciones mexicanas de café, el 53.8 % se destina a Estados Unidos; el volumen restante, a países miembros de la Unión Europea y otros como Japón, Cuba y Canadá (SIAP, 2025).

Cabe resaltar que, en los últimos años, el reconocimiento del café mexiquense ha trascendido, ya que dos cultivadores de la entidad han obtenido destacadas participaciones en la “Taza de Excelencia”, obteniendo calificaciones por arriba de los 90.0 puntos (Leguizamo *et al.*, 2023). Sin embargo, uno de los principales problemas que enfrentan los productores de café son las fitopatologías que se presentan en cada ciclo productivo en la región, nacional e incluso internacional. Una de las principales enfermedades en el cultivo de café es la mancha de hierro, producida por un hongo parásito facultativo, que presenta en su ciclo de vida dos estados reproductivos, teleomorfo causado por *Mycosphaerella coffeicola* y el anamorfo causado por *Cercospora coffeicola* (Guzmán y Rivillas, 2008). *Cercospora coffeicola*, es una enfermedad que afecta gravemente la calidad del café, provocando la caída de hojas, así como la maduración y caída prematura de frutos causando pérdidas hasta del 30 % en la cosecha (Ramos *et al.*, 2021).

La distribución espacial de los individuos de una población dispersa en un área determinada se ha estudiado considerando las distribuciones estadísticas e índices de dispersión, al enfocarse en la exacta localización espacial de los individuos, superando las limitaciones inherentes a los enfoques tradicionales y abriendo nuevas vías para la investigación y la gestión de recursos (Acosta-Guadarrama *et al.*, 2017). Los métodos geoestadísticos proporcionan la distribución de los organismos a través de su exacta localización espacial, además, elabora mapas de gran utilidad (Rossi *et al.*, 1992), lo que permite identificar la distribución espacial. Dichos mapas permiten establecer los grados de infección que requieran un control inmediato, así como también detectar posibles preferencias en su estructura de agregación y detectar zonas que no presenten infección (Acosta-Guadarrama *et al.*, 2017; Rivera *et al.*, 2018).

Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue modelar mediante estadística clásica y geoestadística la distribución espacial del hongo *Mycosphaerella coffeicola* causante de la enfermedad conocida como mancha de hierro, para tener una estimación de la superficie con presencia y realizar una evaluación económica en cafetales del municipio de Amatepec, Estado de México.

DESARROLLO EXPERIMENTAL

Área de estudio. 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, con un sistema de policultivo tradicional de las variedades de café Caturra y Typica de manejo convencional, entre 40 y 60 % de sombra compuesta de árboles de parota (*Enterolobium cyclocarpum*), fresno (*Fraxinus* spp.), naranjo (*Citrus sinensis*), limón (*Citrus limon*) y especie semi leñosas como la higuera (*Ricinus communis*). Las plantaciones tenían menos de 10 años, el tipo de suelo es clasificado como regosoles franco arenosos con 30 cm de profundidad, cuatro parcelas cuentan con un porcentaje de pendiente moderado de 8 a 15 %, y los dos restantes, con una pendiente pronunciada de 15 al 30 %. Cada parcela constó de media hectárea dividiéndose 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 plantas por cuadrante de manera aleatoria, para tener un total de 100 en cada parcela observada (Maldonado *et al.*, 2017; Rivera *et al.*, 2018). Cada una de estas plantas fue georreferenciada con un sistema de posicionamiento global diferencial (DGPS, modelo Trimble SPS361), las cuales fueron marcadas para la obtención de datos (Rivera *et al.*, 2018; Pino-Miranda *et al.*, 2022).

En las seis parcelas se realizaron muestreos catorcenales durante seis meses (septiembre 2021 a febrero 2022), en diferentes estados fenológicos (Septiembre “fruto lechoso”, octubre-diciembre “Fruto consistente”, enero-febrero “fruto maduro”). Se observaron un total de 36 hojas por planta, contabilizando tres hojas con presencia de síntomas por bandola; cada bandola se seleccionó por los cuatro puntos cardinales, dividiendo la planta en estrato alto, medio y bajo. La presencia de mancha de hierro se determinó con base a la ausencia o presencia de síntomas en las hojas muestreadas (Tapia-Rodríguez *et al.*, 2020).

Para diferenciar los síntomas de la enfermedad de estudio, de otras enfermedades como ojo de gallo (*Mycena citricolor*) y roya (*Hemileia vastatrix*), se consideraron características como manchas color café con un halo clorótico o amarillento que contrasta con el tejido normal de la hoja; las cuales conforme avanza la enfermedad aumentan su tamaño y hacen que el tejido se necrose (SENASICA, 2016). Adicionalmente, se tomaron hojas con presencia del hongo, las cuales fueron llevadas al laboratorio de Investigaciones Entomológicas y Tecnológicas en Agricultura de Precisión de la Facultad de Ciencias Agrícolas UAEMex, Edo. de México, para la identificación de *Mycosphaerella coffeicola*, estado sexual (teleomorfo). Se aisló en medio de cultivo de Agar Avena Café, realizándose la caracterización morfológica a través de microscopía con la información descriptiva proporcionada por el Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA, 2016).

Estadística clásica. El establecimiento de la distribución espacial de los organismos observados para este estudio se realizó a través de dos métodos generales (Binomial Negativa y Poisson), así como mediante el cálculo de los índices de dispersión (Dispersión y de Green); ambos se manejaron 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 para ajustar los modelos a los datos perfilados. El ajuste fue explorado con un test² (Ramírez y Sánchez, 2011).

Análisis geoestadístico. Se obtuvo la estimación de los semivariogramas experimentales de cada muestreo ajustándose a modelos preestablecidos en el software variowin 2.2 (Software for spatial data analysis in 2D. New York, EE. UU.), estos se estimaron y modelaron. Una vez obtenida la estimación del semivariograma se deduce 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 fórmula (Isaaks y Srivastava, 1988; Pino-Miranda *et al.*, 2022):

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

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 $x_i + h$.

Los semivariogramas experimentales fueron ajustados a diferentes modelos teóricos, durante la validación del modelo, se realizó un proceso interactivo para encontrar el mejor ajuste posible y asegurar la precisión y eficacia del modelo, los parámetros del modelo evaluados incluyeron el efecto pepita (Co), la meseta (C) y el intervalo o alcance (a), una vez que los semivariogramas experimentales se ajustaron a algunos de los modelos teóricos, se validaron estadísticamente, utilizando parámetros estadísticos como la Media de los Errores de Estimación (MEE), Error Cuadrático Medio (ECM) y Error Cuadrático Medio Adimensional (ECMA) (Maldonado *et al.*, 2017; Acosta-Guadarrama *et al.*, 2017; Tapia-Rodríguez *et al.*, 2020).

Nivel de dependencia espacial, la evaluación de la dependencia espacial permitió establecer una relación significativa entre los datos de muestreo, 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 (Maldonado *et al.*, 2017).

Elaboración de mapas. Se realizaron mediante interpolación de la ausencia y presencia de la enfermedad a través del Krigado Ordinario permitiendo 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 (Díaz *et al.*, 2018), se estableció la superficie infectada; los mapas se obtuvieron mediante el Software Surfer 16.0 “Surface Mapping System, Golden Software” (Rivera *et al.*, 2018).

Estimación de superficie con plantas infectadas y su impacto económico. Para estimar la superficie con plantas infectadas por *Mycosphaerella coffeicola* y evaluar su impacto económico, se elaboraron mapas mediante Krigado Ordinario con el programa Surfer 16.0. A partir del porcentaje de superficie infectada en cada mapa se calculó el costo de una aplicación de fungicida Controller F-500 (flutriafol), en el total de la parcela, y el costo de una aplicación dirigida (sólo áreas infectadas). La diferencia entre estos costos representa un ahorro económico potencial de la metodología de precisión. De manera similar, se cuantificó la cantidad de producto fitosanitario utilizando con ambas estrategias. De esta manera, se infiere una posible disminución del impacto nocivo hacia el ambiente, dado que la reducción en la cantidad de fungicida utilizada en el manejo de esta enfermedad sugiere una menor presión sobre el ecosistema (Ramírez-Dávila y Porcayo-Camargo, 2008).

Estadística clásica. De acuerdo con el tipo de distribución espacial de la mancha de hierro obtenida en cada uno de los muestreos, los resultados se muestran en el Cuadro 1. El índice de dispersión señala que la mayoría de los muestreos se encontró una distribución agregada de la 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); en la parcela tres en los muestreos (tres, ocho y once); así mismo, para la parcela cuatro en los muestreos (nueve y once) y por último para la parcela seis en los muestreos (siete y nueve).

Con relación al índice de Green, se confirma dicha agregación (Cuadro 1). Con respecto a los muestreos que se realizaron, se identifica que la agregación en algunos muestreos presentó valores positivos bajos del índice de Green, indicando una agregación leve. No obstante, también se presentaron muestreos con valores del índice de Green cercanos a

cero, lo que sugiere una distribución aleatoria de la enfermedad: para la parcela uno en los muestreos (dos, cuatro y nueve); con relación a la parcela tres en los muestreos (cinco y nueve); para la parcela cinco en los muestreos (dos, seis y nueve) y por último en la parcela seis en los muestreos (dos y diez) (Ramírez y Sánchez, 2011). El análisis muestra que el método es efectivo para detectar la agregación de la enfermedad, pero también resalta la necesidad de mejorar la precisión en la determinación de la distribución espacial.

Así mismo, con base a las distribuciones estadísticas (Cuadro 1), los resultados indican que en la parcela uno en los muestreos (todos excepto el muestreo tres y siete); en la parcela cuatro en los muestreos (dos, tres, cuatro, cinco, seis, siete, ocho, nueve, once y doce); y 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 el Cuadro 1, se aprecia con respecto 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. La aparente dualidad observada en los resultados, donde la distribución de datos puede ajustarse tanto a la distribución de Poisson como a la Binomial Negativa, nos indica una valiosa oportunidad para profundizar la comprensión de los factores que influyen en la distribución espacial de organismos; la tendencia de la Binomial Negativa a converger con la distribución de Poisson cuando el parámetro k es alto, nos invita a explorar con mayor detalle las condiciones con las cuales se produce esta transición.

Las discrepancias obtenidas entre el índice de dispersión e índice de Green, 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, lejos de ser consideradas como contradicciones, representa una oportunidad para refinar estas metodologías de análisis. Estos resultados resaltan la importancia de considerar múltiples enfoques en la interpretación de los resultados en el contexto específico del estudio.

Por último, la dificultad para ajustar el parámetro k en ciertos muestreos de la parcela uno en los muestreos tres y siete; parcela tres en el muestreo once; parcela cuatro (uno y diez) y la parcela seis (uno, cinco y nueve), al no lograr la correlación de los logaritmos de ajuste por máxima probabilidad, da la pauta para una mayor comprensión de las complejidades inherentes de la estadística no espacial, lejos de ser una simple limitación, estos resultados relatan lo importante de explorar y desarrollar metodologías complementarias o alternativas, invitando a investigar las posibles causas de esta falta de ajuste, dada por las características de los datos o la necesidad de refinar los modelos estadísticos utilizados. Así mismo, comprender mejor el cultivo y los principales patógenos de estudio.

Cuadro 1. Índices de dispersión y distribución estadística de mancha de hierro (*Mycosphaerella coffeicola*), en parcelas de café en el municipio de Amatepec, Estado de México. Muestreo realizado de septiembre de 2021 a febrero de 2022.

Parcela 1	Índice de Dispersión	Índice de Green	Poisson	Binomial Negativa	k	Parcela 2	Índice de Dispersión	Índice de Green	Poisson	Binomial Negativa	k
1) Sep-01	1.68s	0.21	NS	S	2.68	1) Sep-01	1.77s	0.00	NS	S	0.57
2) Sep-02	2.08s	0.00	NS	S	3.17	2) Sep-02	2.48s	0.24	NS	S	1.72
3) Oct-03	1.33s	0.69	NA	NA	-	3) Oct-03	1.61s	0.92	NS	S	10.04
4) Oct-04	1.47s	0.00	NS	S	5.22	4) Oct-04	2.88s	0.73	NA	NA	-
5) Nov-05	2.52s	0.75	NS	S	1.05	5) Nov-05	0.54ns	0.17	NS	S	4.23
6) Nov-06	0.77ns	0.25	S	S	25.02	6) Nov-06	3.07s	0.49	NS	S	2.08
7) Dic-07	2.88s	0.92	NA	NA	-	7) Dic-07	2.67s	0.11	NS	S	8.22
8) Dic-08	2.67s	0.73	NS	S	8.41	8) Dic-08	0.33ns	0.98	NS	S	7.19
9) Ene-09	0.51ns	0.00	NS	S	6.11	9) Ene-09	2.25s	0.00	NS	S	4.74
10) Ene-10	1.37s	0.44	NS	S	7.19	10) Ene-10	1.57s	0.57	NA	NA	2.73
11) Feb-11	0.24ns	0.15	NS	S	2.96	11) Feb-11	3.07s	0.49	NS	S	2.08
12) Feb-12	3.12s	0.94	NS	S	8.26	12) Feb-12	2.48s	0.24	NS	S	1.72

Parcela 3	Índice de Dispersión	Índice de Green	Poisson	Binomial Negativa	k	Parcela 4	Índice de Dispersión	Índice de Green	Poisson	Binomial Negativa	k
1) Sep-01	2.63s	0.55	NS	S	4.25	1) Sep-01	1.24s	0.65	NA	NA	-
2) Sep-02	1.09s	0.42	S	S	29.69	2) Sep-02	1.92s	0.24	NS	S	4.67
3) Oct-03	0.27ns	0.87	NS	S	10.66	3) Oct-03	1.57s	0.00	NS	S	1.83
4) Oct-04	3.29s	0.27	NS	S	7.36	4) Oct-04	2.44s	0.00	NS	S	9.25
5) Nov-05	2.44s	0.00	NS	S	2.08	5) Nov-05	1.73s	0.58	NS	S	5.66
6) Nov-06	1.53s	0.63	NS	S	1.54	6) Nov-06	3.22s	0.33	NS	S	2.89
7) Dic-07	2.78s	0.72	NS	S	5.71	7) Dic-07	2.94s	0.81	NS	S	1.92
8) Dic-08	0.66ns	0.16	NS	S	6.42	8) Dic-08	1.77s	0.00	NS	S	0.48
9) Ene-09	1.40s	0.00	NS	S	9.11	9) Ene-09	0.70ns	0.95	NS	S	5.27
10) Ene-10	1.38s	0.95	S	S	36.15	10) Ene-10	1.24s	0.44	NA	NA	-
11) Feb-11	0.52ns	0.50	NA	NA	-	11) Feb-11	0.54ns	0.59	NS	S	7.33
12) Feb-12	1.57s	0.12	NS	S	6.01	12) Feb-12	2.85s	0.37	NS	S	2.21

Parcela 5	Índice de Dispersión	Índice de Green	Poisson	Binomial Negativa	k	Parcela 6	Índice de Dispersión	Índice de Green	Poisson	Binomial Negativa	k
1) Sep-01	3.56	0.55	NS	S	0.93	1) Sep-01	2.26s	0.56	NA	NA	-
2) Sep-02	2.47	0.00	S	S	27.14	2) Sep-02	3.07s	0.00	NS	S	5.52
3) Oct-03	1.73	0.41	NS	S	5.27	3) Oct-03	3.45s	0.78	NS	S	8.13
4) Oct-04	1.89	0.95	NS	S	1.42	4) Oct-04	2.87s	0.31	NS	S	0.68
5) Nov-05	0.43ns	0.36	S	S	33.61	5) Nov-05	1.44s	0.58	NA	NA	-
6) Nov-06	3.11	0.00	NS	S	8.49	6) Nov-06	2.02s	0.26	NS	S	1.45
7) Dic-07	2.53	0.22	NS	S	5.27	7) Dic-07	0.46ns	0.77	NS	S	7.06
8) Dic-08	2.82	0.8	NS	S	1.94	8) Dic-08	2.65s	0.14	NS	S	3.27
9) Ene-09	1.34	0.00	NA	NA	-	9) Ene-09	0.22ns	0.84	NA	NA	-
10) Ene-10	0.81ns	0.11	NS	S	0.58	10) Ene-10	1.24s	0.00	NS	S	1.78
11) Feb-11	1.07	0.32	NS	S	9.22	11) Feb-11	2.21s	0.37	NS	S	0.42
12) Feb-12	0.56ns	0.66	NS	S	4.05	12) Feb-12	1.75s	0.99	NS	S	8.13

n): número de parcela; S: significativo; NS: No significativo: nivel de significancia al 5 %. NA: No ajusta

Análisis geoestadístico. La técnica del Krigado Ordinario se utilizó para la interpolación espacial de la incidencia de la mancha de hierro, lo que resultó en mapas detallados de su distribución. A diferencia de otros métodos, el Krigado permitió describir la continuidad espacial de la enfermedad (patrón espacial) y cuantificar su variación en el espacio. Esta capacidad es crucial, ya que permite predecir la incidencia en sitios no muestreados con base en la distancia y el grado de relación espacial con los datos medidos, facilitando la identificación de zonas de riesgo. En los mapas realizados se observan los diferentes puntos de agregación de la enfermedad mancha de hierro en las diferentes parcelas estudiadas (Figura 1). Cabe señalar que con estos mapas se puede identificar de modo visual como el comportamiento espacial la enfermedad con respecto al tiempo.

Los mapas obtenidos de la superficie con presencia de la mancha de hierro, en la parcela uno, en septiembre y octubre se puede apreciar los centros de agregación o focos de infección, los cuales se distribuyen en las orillas oeste (izquierda) y este (derecha), con una tendencia hacia el centro de la parcela. Con respecto al estado fenológico en septiembre, los frutos se encontraron en estado lechoso, con registro de una temperatura promedio de 25.8 °C y una humedad relativa de 85 %; con respecto a octubre, el fruto inició el registro en estado lechoso con una temperatura de 24.3 °C y una humedad relativa de 73 %.

Para noviembre y diciembre, los centros de agregación se situaron en la parte central del lado oeste (izquierdo) con una tendencia a la parte norte (superior) del mismo; y los frutos estuvieron en estado consistente, con una temperatura promedio para noviembre de 19.5 °C y una humedad relativa de 65 %, con respecto al mes de diciembre hubo una temperatura de 18.02 °C y una humedad relativa de 56 %.

Por otra parte, en enero y febrero, cambiaron los focos de infección situándose en el lado oeste (izquierdo) del lado norte de la parcela; con respecto al estado fenológico, en estos dos meses se encontró el fruto en estado maduro, con una temperatura promedio de 18.5 y 21.6 °C y humedades relativas de 53 y 44 % para enero y febrero (Figura 1).

Los semivariogramas, con respecto a la parcela uno y dos se ajustaron en su totalidad al modelo esférico desde 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 quincena 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 (Cuadro 2).

El valor de efecto pepita fue igual a cero en todas las parcelas. Dicho valor es indicativo de que el muestreo utilizado en el presente trabajo fue adecuado y el error de muestreo fue mínimo. Esto al considerar la distancia entre los puntos de muestreo fue suficiente para obtener la mayor parte de variabilidad espacial relevante para el estudio (Cuadro 2). En todos los modelos se presentó un alto nivel de dependencia espacial para cada una de las parcelas (Cuadro 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.

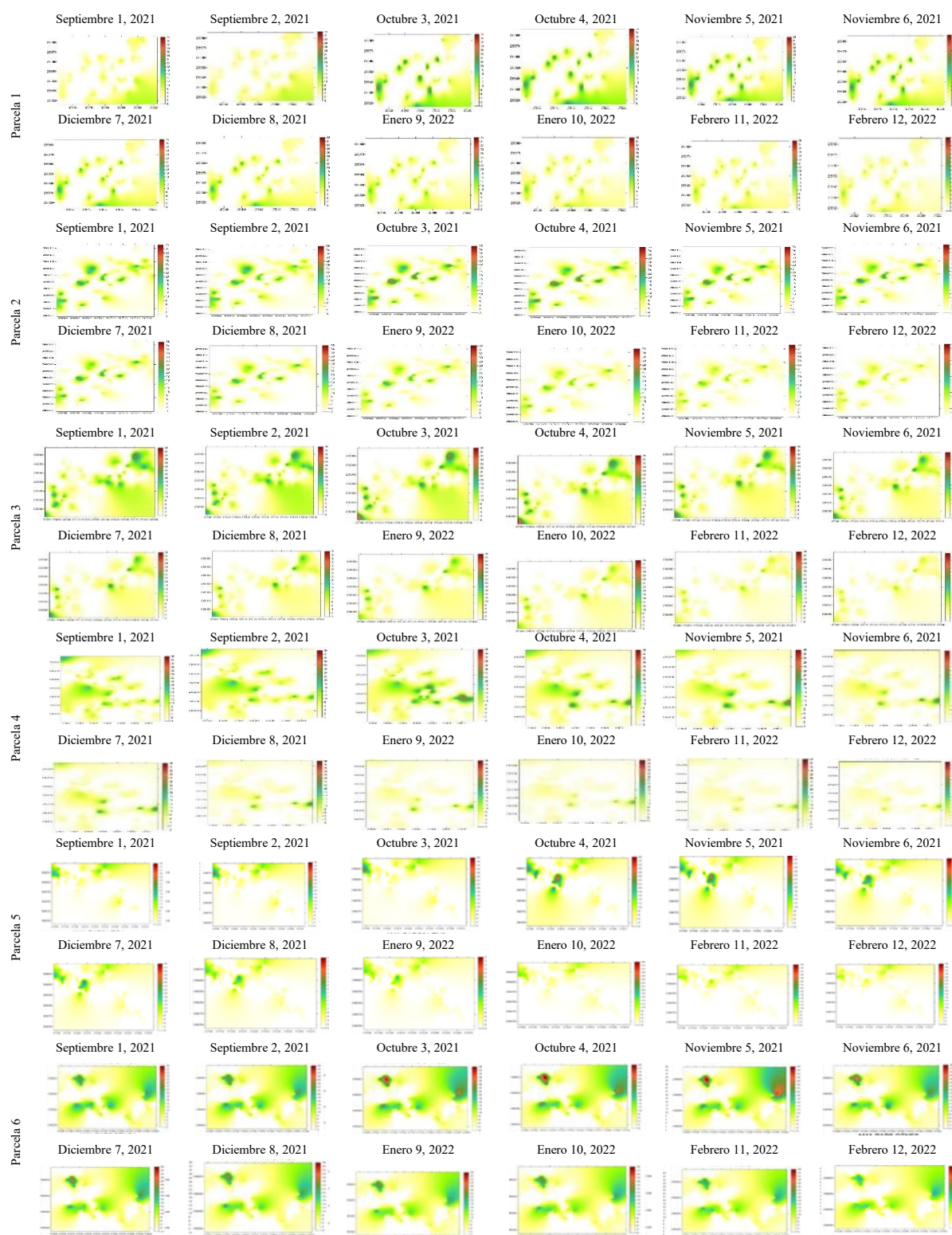


Figura 1. Distribución espacial de la proporción de unidades de muestreo con síntomas de mancha de hierro en parcelas de café del municipio de Amatepec, Estado de México, durante los muestreos de septiembre de 2021 a febrero de 2022.

Cuadro 2. Parámetros (Efecto pepita, meseta y rango) de modelos ajustados a los semivariogramas de *Mycosphaerella coffeicola*, en parcelas de café en el municipio de Amatepec, Estado de México de septiembre de 2021 a febrero de 2022.

Parcela 1	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	12.60	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	15.00	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	9.20	0	Alta
8) Dic-08	2.47	24.14	Esférico	0	58.88	13.80	0	Alta
9) Ene-09	2.41	22.32	Esférico	0	52.2	13.20	0	Alta
10) Ene-10	2.27	19.81	Esférico	0	46.8	13.80	0	Alta
11) Feb-11	2.16	17.51	Esférico	0	40.94	12.60	0	Alta
12) Feb-12	2.03	14.51	Esférico	0	31.15	10.80	0	Alta
Parcela 2	Media	Varianza	Modelo	Pepita	Meseta	Rango	Pepita/Meseta	Dependencia Espacial
1) Sep-01	2.48	27.47	Esférico	0	80.00	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	61.50	11.21	0	Alta
5) Nov-05	1.93	18.89	Esférico	0	54.40	9.00	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	9.00	0	Alta
8) Dic-08	1.54	13.99	Esférico	0	41.60	9.00	0	Alta
9) Ene-09	1.41	12.71	Esférico	0	37.44	9.00	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	12.90	9.60	0	Alta
12) Feb-12	1.27	4.92	Esférico	0	9.02	12.98	0	Alta
Parcela 3	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
Parcela 4	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
Parcela 5	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
Parcela 6	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

n): número de parcela.

En el Cuadro 3, se especifican los resultados obtenidos del porcentaje de superficie infectada; la parcela seis tuvo la mayor superficie infectada (75 %), en la segunda quincena de noviembre; con respecto al menor porcentaje de infección, se presentó en la parcela cuatro, en la segunda quincena de febrero (38 %). Esto podría deberse a factores ambientales específicos en las parcelas (microclima, tipo de suelo, manejo, etc.) que limitan la severidad de la enfermedad, incluso cuando el patógeno está presente.

Cuadro 3. Porcentaje de superficie infectada y no infectada por la mancha de hierro en parcelas de café en el municipio de Amatepec, Estado de México de septiembre de 2021 a febrero de 2022.

Parcela 1 Muestreo	Superficie Infectada %	Superficie No Infectada %	Parcela 4 Muestreo	Superficie Infectas %	Superficie No Infectada %
1) Sep-01	44	56	1) Sep-01	41	59
2) Sep-02	45	55	2) Sep-02	41	59
3) Oct-03	48	52	3) Oct-03	43	57
4) Oct-04	48	52	4) Oct-04	44	56
5) Nov-05	49	51	5) Nov-05	44	56
6) Nov-06	50	50	6) Nov-06	45	55
7) Dic-07	50	50	7) Dic-07	44	56
8) Dic-08	48	52	8) Dic-08	42	58
9) Ene-09	46	54	9) Ene-09	41	59
10) Ene-10	45	55	10) Ene-10	40	60
11) Feb-11	43	57	11) Feb-11	40	60
12) Feb-12	42	58	12) Feb-12	38	62
Parcela 2 muestreo	Superficie infectada %	Superficie no infectada %	Parcela 5 Muestreo	Superficie infectada %	Superficie no infectada %
1) Sep-01	50	50	1) Sep-01	56	44
2) Sep-02	51	49	2) Sep-02	58	42
3) Oct-03	52	48	3) Oct-03	59	41
4) Oct-04	53	47	4) Oct-04	59	41
5) Nov-05	53	47	5) Nov-05	60	40
6) Nov-06	53	47	6) Nov-06	60	40
7) Dic-07	51	49	7) Dic-07	58	42
8) Dic-08	50	50	8) Dic-08	58	42
9) Ene-09	49	51	9) Ene-09	56	44
10) Ene-10	49	51	10) Ene-10	55	45
11) Feb-11	48	52	11) Feb-11	55	45
12) Feb-12	46	54	12) Feb-12	53	47
Parcela 3 Muestreo	Superficie Infectada %	Superficie No Infectada %	Parcela 6 Muestreo	Superficie Infectada %	Superficie No Infectada %
1) Sep-01	67	33	1) Sep-01	71	29
2) Sep-02	68	32	2) Sep-02	72	28
3) Oct-03	69	31	3) Oct-03	73	27
4) Oct-04	69	31	4) Oct-04	73	27
5) Nov-05	69	31	5) Nov-05	74	26
6) Nov-06	70	30	6) Nov-06	75	25
7) Dic-07	69	31	7) Dic-07	74	26
8) Dic-08	67	33	8) Dic-08	73	27
9) Ene-09	67	33	9) Ene-09	71	29
10) Ene-10	66	34	10) Ene-10	70	30
11) Feb-11	65	35	11) Feb-11	68	32
12) Feb-12	65	35	12) Feb-12	67	33

n): número de parcela

Estimación de superficie con plantas infectadas y su impacto económico. Los productores aplican en promedio 0.5 L ha⁻¹ del fungicida sistémico Controllor F-500, con un costo de \$1 300 pesos por L (septiembre 2021); una aplicación al 100 % de la superficie de este producto en una hectárea tendría un costo de \$650 pesos. En términos reales el ahorro económico osciló entre \$176 en la parcela seis y \$345 en la parcela cinco (Cuadro 4). La aplicación selectiva, en contraste con el método tradicional homogéneo, podría generar beneficios económicos, ya que en la localidad de estudio se aplica dicho fungicida.

Cuadro 4. Costos asociados a la aplicación de flutriafol en parcelas de café en el municipio de Amatepec, Estado de México.

PARCELA	Periodo	Amatepec			
		Costo (pesos ha ⁻¹)		Ahorro (pesos ha ⁻¹)	Cantidad de fungicida, con estimación de la superficie con plantas infectadas (L ha ⁻¹)
		Convencional	Estimación de la superficie con plantas infectadas		
1	Sep-Feb	\$650	\$403	\$247	0.5
2	Sep-Feb	\$650	\$436	\$215	0.5
3	Sep-Feb	\$650	\$449	\$202	0.5
4	Sep-Feb	\$650	\$384	\$267	0.5
5	Sep-Feb	\$650	\$306	\$345	0.5
6	Sep-Feb	\$650	\$475	\$176	0.5

Estadística clásica. Pérez *et al.* (2023) en su estudio sobre el comportamiento de las poblaciones de roya del café (*Hemileia vastatrix*), utilizaron la estadística clásica y la espacial (Geoestadística), los resultados obtenidos enfatizaron que la estadística clásica tiene limitaciones para determinar la ubicación física del patógeno. Por otro lado, la estadística espacial puede generar mapas de distribución espacial de las poblaciones; de manera similar Schotzko y O'Keeffe (1989) también aportan evidencia de cómo la geoestadística en agroecosistemas revela patrones de agregación que ofrecen una comprensión más detallada que los métodos clásicos, los cuales podrían omitir o describir de forma incorrecta.

Análisis geoestadístico. Dentro del estudio de la estadística espacial resulta 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 estas técnicas ha generado un conocimiento más preciso para el manejo de plagas y enfermedades en diferentes tipos de cultivos. Tapia-Rodríguez *et al.* (2020) indican en su estudio de distribución espacial de antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides*) un comportamiento de tipo agregado en todas las zonas de muestreo. Los mapas obtenidos mediante la técnica del Krigeado Ordinario, muestran los centros de agregación, permitiendo dirigir medidas de control en cultivos contra plagas y enfermedades (Esquivel y Jasso, 2014; Moral, 2004; Rivera *et al.*, 2018).

Los semivariogramas teóricos obtenidos fueron de tres tipos (Esférico, exponencial 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 (Acosta-Guadarrama *et al.*, 2017; Maldonado *et al.*, 2017).

El modelo esférico indica que la presencia de *Mycosphaerella coffeicola* se presentan en mayor cantidad en ciertas zonas de la parcela y que los centros de agregación son aleatorios. Esto puede sugerir de previas fuentes de inóculo o la posible presencia en determinadas zonas debido al movimiento del viento. Estudios realizados por Ramírez *et al.* (2011), indican que el ajuste al modelo esférico de la distribución espacial de *Sporisorium reilianum*, sugiere una heterogeneidad espacial en la manifestación de la enfermedad dentro de estas áreas.

Los modelos exponenciales obtenidos, indican que la enfermedad, se da en límites irregulares en las parcelas, exponiendo una distribución espacial discontinua; así mismo Quiñones-Valdez *et al.* (2018), señala que el ajuste de la severidad de la roya a un modelo exponencial indica, que la enfermedad presentan una distribución espacial de tipo agregado, pero con una característica distintiva: esta agregación se va dando de forma irregular.

El modelo gaussiano es indicativo de que *Mycosphaerella coffeicola* está de forma continua dentro de las parcelas, ya que la infección en el hospedante, con respecto a su avance, se da entre plantas cercanas. Resultados similares fueron obtenidos por Sánchez *et al.* (2015) en un estudio

sobre el patrón espacial del carbón de la espiga de maíz, donde indican que los centros de agregación de la enfermedad se dan en forma continua, pero compacta, lo que implica el avance del patógeno a parcelas vecinas. En las parcelas se presentó un nivel de dependencia espacial alta, concordando los resultados con lo obtenido por Tapia-Rodríguez *et al.* (2020) y Sánchez *et al.* (2015).

Estimación de la superficie con plantas infectadas y su impacto económico. El hongo causante de la mancha de hierro no invade el 100 % el área; esto sugiere que existen factores que limitan la dispersión y establecimiento completo del patógeno en la parcela. Un comportamiento similar en otros hongos plaga ha sido reportados Tapia-Rodríguez *et al.* (2020) y Pino-Miranda *et al.* (2022). Lo hallado en este estudio abre las puertas a una aplicación dirigida de las medidas de control sobre las áreas infectadas con *M. coffeicola*, lo cual hace factible obtener ahorros económicos.

CONCLUSIONES

La geoestadística proporcionó un análisis más preciso del comportamiento espacial de la mancha de hierro. Los métodos clásicos, como el índice de Dispersión, índice de Green y distribuciones de Poisson y Binomial negativa, no lograron ofrecer una visión concluyente del patrón espacial de la enfermedad, lo que subraya la importancia de adoptar enfoques espaciales para un análisis mejorado. Con la geoestadística, se modeló la distribución espacial de la mancha de hierro, mostrando una agregación en áreas específicas. Los mapas generados mediante el Krigado Ordinario permitieron visualizar los centros de agregación de la enfermedad, posibilitando la implementación de acciones de control preventivas y focalizadas. La modelización espacial detallada reveló que el porcentaje de la superficie total infectada varió entre el 38 y 75 % en los distintos muestreos, esta cuantificación demuestra el impacto económico del manejo de precisión, la aplicación dirigida de fungicidas solo en las áreas infectadas permite, potencialmente, un ahorro de insumos agrícolas. Por lo anterior, el uso de la geoestadística no solo mejora la comprensión epidemiológica, sino que también optimiza el uso de insumos, generando un beneficio económico y una disminución del impacto ambiental.

Agradecimientos

Los autores agradecen a los productores de café del municipio de Amatepec, Estado de México, por las facilidades otorgadas para la realización del estudio. Asimismo, se agradece a la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México por el apoyo logístico y el uso de las instalaciones del Laboratorio de Investigaciones Entomológicas y Tecnológicas en Agricultura de Precisión para el desarrollo de la investigación.

REFERENCIAS

- Acosta-Guadarrama AD, Ramírez-Dávila JF, Rivera-Martínez R, Figueroa-Figueroa DK, Lara Díaz AV, *et al.* 2017. Distribución espacial de *Trips* spp. (Thysanoptera) y evaluación de su control mediante el depredador *Amblyseius swirskii* en el cultivo de aguacate en México. *Southwestern Entomologist* 42:435–446. <https://doi.org/10.3958/059.042.0214>
- Arce AI, Suzán AH, García RO, Arce AI, Suzán AH, *et al.* 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>
- Díaz AVL, Dávila JFR, Zamora FIM, Figueroa DKF, Guadarrama ADA, *et al.* 2018. Simulación espacial de *Claviceps gigantea* (Fuentes, de la Isla, Ullstrup y Rodríguez) en el Estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 9(1):95-109. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i1.850>
- Esquivel HV y Jasso GY. 2014. Distribución espacial y mapeo de gusano soldado en seis localidades del Estado de México, en el año 2011. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5(6):923-935. <https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v5n6/v5n6a2.pdf>

- Guzmán OA y Rivillas CA. 2008. Relación de *Glomus manihotis* y *G. fasciculatum* con el crecimiento de plantas de café y la severidad de la mancha de hierro. *Cenicafé* 58(3):236-257. <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/171/1/arc058%2803%29236-257.pdf>
- 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>
- Jokar M. 2023. Spatial distribution of cotton bollworm in southeastern shores of the Caspian Sea, Golestan Province, Iran. *Current Applied Science and Technology* 23:10-55003. <https://doi.org/10.55003/cast.2022.01.23.014>
- Leguizamo SG, Rubí AM, Salgado SM y Ramírez DJF. 2023. Panorama de la cafeticultura en el contexto internacional, nacional y en el Estado de México. Pp: 21-45. In: Herrera TF, Rubí AM y Rivera RCR (eds.). *Café mexiquense Producción, mercado y política pública*. IICA. México. 392 p.
- Maldonado ZFI, Ramírez DJF, Rubí AM, Antonio NX y Lara DAV. 2017. Distribución espacial de trips en aguacate en Coatepec Harinas, Estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 7(4):845-856. <https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v7n4/2007-0934-remexca-7-04-00845-en.pdf>
- Moral GFJ. 2004. Aplicación de la geoestadística en las ciencias ambientales. *Ecosistemas* 13(0): 78-86. <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/582>
- Pérez CA, Ramírez DJF y Figueroa FDK. 2023. Comportamiento de las poblaciones de roya del café (*Hemileia vastatrix* Berkeley y Broome) en parcelas de Amatepec, Estado de México. *Acta Universitaria* 33:1-14. <https://doi.org/10.15174/au.2023.3870>
- Pino-Miranda E, Ramírez-Dávila JF, Serrato-Cuevas R, Mejía-Carranza J y Tapia-Rodríguez A. 2022. Spatial and temporal distribution of ojo de gallo (*Mycena citricolor*) in coffee plantations of the State of Mexico. *Revista Mexicana de Fitopatología* 40(3):433-446. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2204-2>
- Quiñones-Valdez R, Sánchez-Pale JR, Castañeda-Vildozola Á, Franco-Mora O y Ruíz-Orta A. 2018. Incidencia, severidad y distribución espacial de *Uromyces transversalis* en una nueva región del Estado de México. *Scientia Fungorum* 48: 87-94. <https://www.scielo.org.mx/pdf/sf/v48/2594-1321-sf-48-87.pdf>
- Ramírez JF, González A, Sánchez PJR y León CD. 2011. Modelización y generación de mapas del comportamiento espacial de *Sporisorium reilianum* (Kühn) Langdon y Fullerton) en Estado de México, México. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo* 43:157-173. https://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1853-86652011000200013&script=sci_arttext
- Ramírez-Dávila JF y Porcayo-Camargo E. 2008. Distribución espacial de las ninfas de *Jacobiasca lybica* (Hemiptera: Cicadellidae) en un viñedo en Andalucía, España. *Revista Colombiana de Entomología* 34(2):169-175. <https://doi.org/10.25100/socolen.v34i2.9282>
- Ramos IZ, Dos santos LA, Rego MD, Tassinari RR, Viana JP, et al. 2021. Potencial biocida de extractos de *Jatropha curcas* L. sobre hongos *Hemileia vastatrix* y *Cercospora coffeicola*: agentes causales de dos principales enfermedades del café. *Functional Plant Breeding Journal* 3 (1):23-32. <http://www.fpbjournal.com/fpbj/index.php/fpbj/article/view/103>
- Rivera-Martínez MR, Ramírez-Dávila JF y Acosta-Guadarrama AD. 2018. Distribución espacial de las poblaciones de huevos de *Bactericera cockerelli* Sulc. en el cultivo de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Acta Universitaria* 28(5): 24-33. <https://doi.org/10.15174/au.2018.1944>
- Rossi RE, Mulla DJ, Journel AG and Franz EH. 1992. Geostatistical tools for modeling and interpreting ecological spatial dependence. *Ecological Monographs* 62(2):277-314. <https://doi.org/10.2307/2937096>
- Sánchez JR, Ramírez JF, González A y 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. <https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v6n7/v6n7a4.pdf>
- SENASICA. 2016. Mancha de hierro *Mycosphaerella coffeicola* (Cooke) J. A Stevens y Wellman Ficha Técnica No. 46. SENASICA, Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. México. 8p.
- SIAP. 2025. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. <http://www.siap.sagarpa.gob.mx> (Consulta: marzo 2025).
- Tapia-Rodríguez A, Ramírez-Dávila JF, Salgado-Siclán ML, Castañeda-Vildózola Á, Maldonado-Zamora FI, et al. 2020. 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>