

Variabilidad espacial de poblaciones de *Mycosphaerella coffeicola* (Cooke) en cafetales, Estado de México

Dulce Karen Figueroa-Figueroa¹

Fidel Lara-Vázquez²

José Francisco Ramírez-Dávila^{2,§}

Aurelio Pérez-Constantino²

Agustín David Acosta-Guadarrama¹

Federico Benjamín Galacho-Jiménez³

1 Unidad de Estudios Superiores Coatepec Harinas-Universidad Mexiquense del Bicentenario. Ejido San Luis, El Reynoso, Coatepec Harinas, Estado de México. CP. 51700. Tel. 722 5185660. (dulce.figueroa@umb.mx; agustin.acosta@umb.mx).

2 Facultad de Ciencias Agrícolas-Universidad Autónoma del Estado de México. Carretera Toluca-Ixtlahuaca km 15.5, El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca. Estado de México. CP. 50295. Tel. 722 2965529. (flarav-s@uaemex.mx; pajias-aure@hotmail.com).

3 Departamento de Geografía-Universidad de Málaga. Grupo de Análisis Geográfico, Málaga, España. CP. 29071. Tel. 952 132172. (fbgalacho@uma.es).

Autor para correspondencia: jframirez@uaemex.mx.

Resumen

El café es un cultivo importante en México y el Estado de México es una entidad productora afectada por la enfermedad mancha de hierro causada por el hongo *Mycosphaerella coffeicola*, esta enfermedad reduce la superficie sintética, provoca defoliación y puede afectar la calidad del grano. Su control es limitado debido a al desconocimiento de su distribución espacial dentro de las parcelas. Este estudio determinó la distribución de la mancha de hierro en café mediante técnicas de geoestadísticas. Se elaboraron semivariogramas y mapas de distribución mediante krigado ordinario, estimando la superficie infestada. La incidencia varió y se correlacionó con temperatura y humedad relativa. Se observó una distribución agregada ajustada a modelos teóricos (gaussiano y esférico). La infestación no fue uniforme en las parcelas, lo que sugiere que el control dirigido puede optimizar costos y mejorar la sustentabilidad del manejo del cultivo.

Palabras clave:

Mycosphaerella coffeicola, agregación, geoestadística, krigado ordinario, semivariogramas.



Introducción

México tiene más de 500 000 productores de café en 700 000 ha, siendo el noveno productor mundial (SIAP, 2023). El Estado de México ha ganado reconocimiento por la calidad de su grano (Cup of excellence, 2022a; 2022b; 2022c). La mancha de hierro es una enfermedad importante en el café, causando defoliación y reduciendo la calidad del grano (Rengifo *et al.*, 2002). Kermack y McKendric (1927) contribuyeron a comprender la dinámica de las enfermedades con conocimientos matemáticos aplicados a diferentes campos científicos, uno de estos es la agricultura en donde estos permiten entender y predecir el comportamiento espacial de plagas y enfermedades (Tapia, 2020). Pérez (2023), mencionan que para realizar un manejo fitosanitario eficiente y adecuado, es necesario conocer el comportamiento espacial y temporal de las plagas o enfermedades, por lo que el uso y conocimiento de herramientas y técnicas de modelización espacial se vuelven necesario. La geoestadística espacial, se ha utilizado en el análisis espacial de la fitosanidad y su interacción con el ambiente y otras variables abióticas (Tapia, 2020). En este contexto, se aplicaron métodos geoestadísticos para evaluar su distribución, con el objetivo de determinar la variabilidad espacial de *Mycosphaerella coffeicola* en Temascaltepec, Estado de México.

Materiales y métodos

Zona de estudio

El estudio se realizó en Temascaltepec (19° 02' 3" latitud norte 100° 02' 29" longitud oeste, 1 719 msnm), se seleccionaron cuatro parcelas con variedades caturra y típica. Se realizaron muestreos quincenales de 2021 a febrero 2022.

Cada parcela (0.5 ha) se dividió en 50 cuadrantes, seleccionando 200 arbustos al azar, georreferenciados con GPSmap60 (Garmin). En cada estrato del arbusto (alto, bajo, medio), se contabilizaron hojas dañadas en ramas primarias orientadas a los cuatro puntos cardinales (Ramírez-Dávila *et al.*, 2011; Acosta-Guadarrama *et al.*, 2017; Lara *et al.*, 2018).

Para identificar el hongo, se aislaron muestras en medio de cultivos específicos (Tapia-Rodríguez *et al.*, 2020) y se realizó caracterización morfológica de cepas monoconidiales, las cuales se resembraron nuevamente en (CAA) y fueron colocadas en una incubadora a 24 °C. Se usaron claves taxonómicas (Chand *et al.*, 1954).

Elementos climáticos

Se registraron temperatura y humedad relativa con un Datta Loggers Hobo Pro V2 colocado en cada predio.

Análisis geoestadístico

Se generaron semivariogramas experimentales ajustados a modelos esférico, exponencial, Gaussiano, lineal y penta paramétrico con variowin 2.2 (Software for spatial data analysis) (Ramírez, 2011). Se evaluó la dependencia espacial y se interpolaron los valores mediante krigeado ordinario estimando valores asociados a puntos no muestreados y representados en mapas en Surfer 16 (Surface Mapping System, Golden Software Inc., Golden) (Cambardella *et al.*, 1994). Con los mapas se estimó la superficie infestada para considerar una evaluación económica y ambiental de una agricultura dirigida (Ramírez-Dávila *et al.*, 2008; Tapia-Rodríguez *et al.*, 2020).



Resultados y discusión

Identificación del patógeno

El análisis morfológico confirmó la presencia de *Mycosphaerella coffeicola*. Las observaciones en microscopía óptica revelaron conidios hialinos a ligeramente pigmentados, multicelulares, de forma filiforme, con extremos agudos y septaciones transversales características con medidas de 30-200 μm de largo y 2.5-5 μm de ancho, valores semejantes a los reportado para *Cercospora coffeicola* (Chand *et al.*, 1954).

Elementos climáticos

La temperatura oscilo entre 18 °C en enero y 25.9 °C en septiembre, con humedad relativa de 44% a 90%. El triángulo epidemiológico es un concepto que se aplica en enfermedades y plagas en los cultivos. Los tres componentes claves para la propagación y persistencia, según Pérez (2023) deben de coexistir tres factores: hospedero (el café), agente casual (mancha de hierro) y condiciones favorables que abarcan todos los factores abióticos (suelo manejo, variedad, clima, entre otros).

Asimismo, Guzmán *et al.* (2008) Indica que la mancha de hierro, afecta en todos en todos los estados de desarrollo a la planta, pérdida de peso de fruto, deterioro de la calidad y un alto porcentaje de producción deficiente, por otro lado Guzmán-Piedrahita y Rivillas-Osorio (2005) indica que la temperatura va entre 18 y 28 °C y óptimo de 25 °C y un 70 y 100% en humedad relativa con un óptimo de 98%, otros investigadores como Arteaga-Luna (2013), señala que, la enfermedad se favorece más por la alta humedad, temperatura alta y estrés hídrico, cuando las temperaturas varían entre 18 y 25 °C, la incubación tiene una duración de 24 a 25 días.

La temperatura para la germinación de conidios es de 30 a 34 °C. Autores como Guzmán-Piedrahita y Rivillas-Osorio (2005), indican la importancia de algunos factores climáticos, como precipitación, temperatura y humedad relativa.

Geoestadística

Los semivariogramas se ajustaron a los modelos: Gaussiano 37.5% (18 de 48), esférico 43.75% (21 de 48) y exponencial 18.7% (9 de 48) (Cuadro 1). Los parámetros geoestadísticos, permitieron validar los semivariogramas. Todos los semivariogramas de los modelos obtenidos se determinaron un efecto pepita igual a cero (Cuadro 1).

Cuadro 1. Parámetros de los modelos teóricos ajustados a los semivariogramas de *Mycosphaerella coffeicola*, en el Municipio de Temascaltepec.

Pa. 1	Me	Va	Mo	Pe	Me	Ra	P/M	DE	PA. 2	Me	Va	Mo	Pe	Me	Ra	P/M	DE
1) S1	6.01	42.86	Esférico	0	72.8	10.8	0	Alta	1) S1	5.67	40.33	Gaussiano	0	29.7	4.6	0	Alta
2) S2	5.84	40.06	Exponencial	0	67.16	10.2	0	Alta	2) S2	5.62	38.48	Exponencial	0	21.32	3.64	0	Alta
3) O1	5.79	37.97	Esférico	0	64.6	6.75	0	Alta	3) O1	5.49	39.68	Gaussiano	0	20.91	3.77	0	Alta
4) O2	5.75	36.22	Exponencial	0	62.4	8.32	0	Alta	4) O2	5.46	36.14	Gaussiano	0	19.6	3.51	0	Alta
5) N1	5.69	35.36	Esférico	0	60.48	6.76	0	Alta	5) N1	5.39	35.78	Gaussiano	0	18.24	3.38	0	Alta
6) N2	5.64	34.21	Esférico	0	58.56	7.84	0	Alta	6) N2	5.38	34.75	Exponencial	0	17.86	3.38	0	Alta
7) D1	5.6	33.59	Exponencial	0	58.2	9.52	0	Alta	7) D1	4.97	30.28	Gaussiano	0	17.63	4.59	0	Alta
8) D2	5.52	32.32	Esférico	0	55.29	8.5	0	Alta	8) D2	4.89	29.16	Gaussiano	0	14.82	3.51	0	Alta
9) E1	5.46	31.39	Esférico	0	54.45	7.19	0	Alta	9) E1	4.76	26.28	Gaussiano	0	13.65	3.25	0	Alta
10) E2	5.46	31.4	Esférico	0	54.45	7.84	0	Alta	10) E2	4.74	24.94	Exponencial	0	11.52	3.25	0	Alta
11) F1	5.37	29.66	Esférico	0	48.96	7.2	0	Alta	11) F1	4.52	24.78	Gaussiano	0	10.56	2.99	0	Alta
12) F2	5.2	26.95	Esférico	0	45.08	8.8	0	Alta	12) F2	4.22	21.65	Gaussiano	0	10.5	2.99	0	Alta

Pa. 1	Me	Va	Mo	Pe	Me	Ra	P/M	DE	PA. 2	Me	Va	Mo	Pe	Me	Ra	P/M	DE
Pa 3	Me	Va	Mo	Pe	Me	Ra	P/M	DE	Pa 4	Me	Va	Mo	Pe	Me	Ra	P/M	DE
1) S1	4.64	24.47	Esférico	0	39.56	7.56	0	Alta	1) S1	4.03	12.72	Esférico	0	17.82	6	0	Alta
2) S2	4.47	23.14	Esférico	0	35.28	4.25	0	Alta	2) S2	3.58	11.66	Esférico	0	16.8	5.4	0	Alta
3) O1	4.5	20.58	Exponencial	0	30.26	5	0	Alta	3) O1	3.11	10.41	Gaussiano	0	16	4	0	Alta
4) O2	4.25	20.34	Esférico	0	27.84	5	0	Alta	4) O2	3.02	9.82	Gaussiano	0	15.39	4	0	Alta
5) N1	4.18	20.2	Exponencial	0	26.1	5.5	0	Alta	5) N1	2.93	9.62	Gaussiano	0	15.12	4	0	Alta
6) N2	4.13	20.01	Esférico	0	24.64	5.25	0	Alta	6) N2	2.88	9.31	Gaussiano	0	14.76	4.4	0	Alta
7) D1	3.98	19.97	Exponencial	0	24.64	5.25	0	Alta	7) D1	2.74	8.97	Gaussiano	0	14.28	4.4	0	Alta
8) D2	3.88	19.71	Esférico	0	23.46	5.5	0	Alta	8) D2	2.41	8.17	Gaussiano	0	13.6	4.4	0	Alta
9) E1	3.81	18.54	Esférico	0	23.49	5.5	0	Alta	9) E1	2.36	7.91	Gaussiano	0	12.6	4.4	0	Alta
10) E2	3.72	17.75	Esférico	0	22.62	5.25	0	Alta	10) E2	2.18	7.67	Esférico	0	10.95	5.46	0	Alta
11) F1	3.7	17.25	Esférico	0	22.36	5.25	0	Alta	11) F1	1.98	6.95	Gaussiano	0	10.27	4.4	0	Alta
12) F2	3.25	17.17	Esférico	0	21.25	5	0	Alta	12) F2	1.8	6.14	Gaussiano	0	10.08	4.4	0	Alta

Pa= parcela; Me= media; Va= varianza; Mo= modelo; Pe= pepita; Me= meseta; Ra= rango; P/M= pepita/meseta; DE= dependencia espacial.

El alto nivel de dependencia espacial resultó de dividir el valor del efecto pepita entre el valor de la meseta que fue menor al 25% para todos los semivariogramas. Los valores del rango o alcance oscilaron para la parcela uno de 6.75 a 10.8 m, con respecto a la parcela dos su rango o alcance oscilaron entre 2.99 a 4.6 m (Cuadro 1). Siendo estos rangos la distancia máxima hasta la cual existe relación entre los datos.

Los mapas elaborados a partir del método de krigeado ordinario se observan en las Figuras 1 y 2. En los mapas realizados se alcanza a distinguir los diferentes puntos de agregación de incidencia de la enfermedad mancha de hierro en las cuatro parcelas estudiadas, cabe señalar que con estos mapas podemos identificar de modo visual como se va comportando de manera espacial la enfermedad, con respecto al tiempo y los requerimientos edafoclimáticos.

Figura 2. Mapa de densidad de infección de mancha de hierro *Mycosphaerella coffeicola*, parcelas uno y dos del municipio de Temascaltepec, Estado de México.

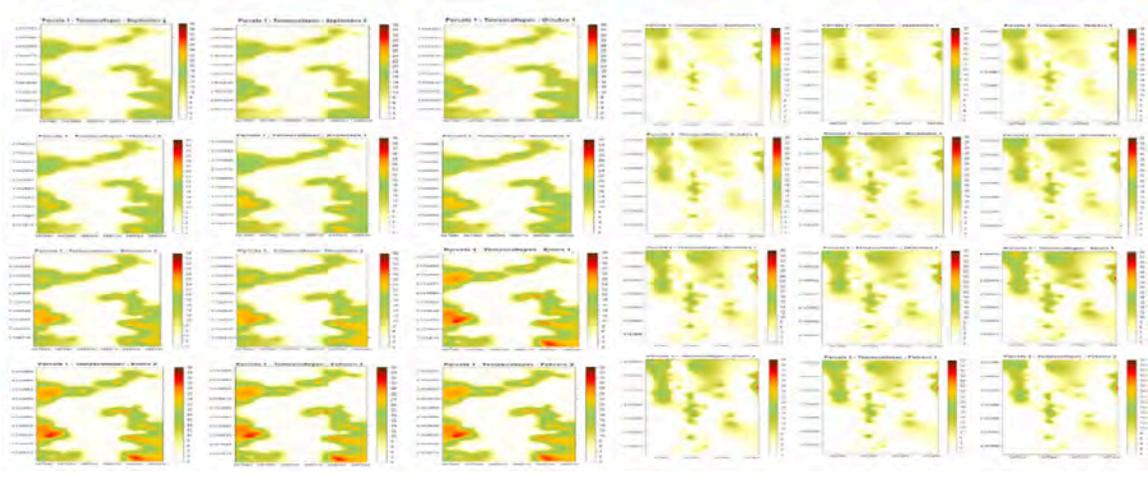
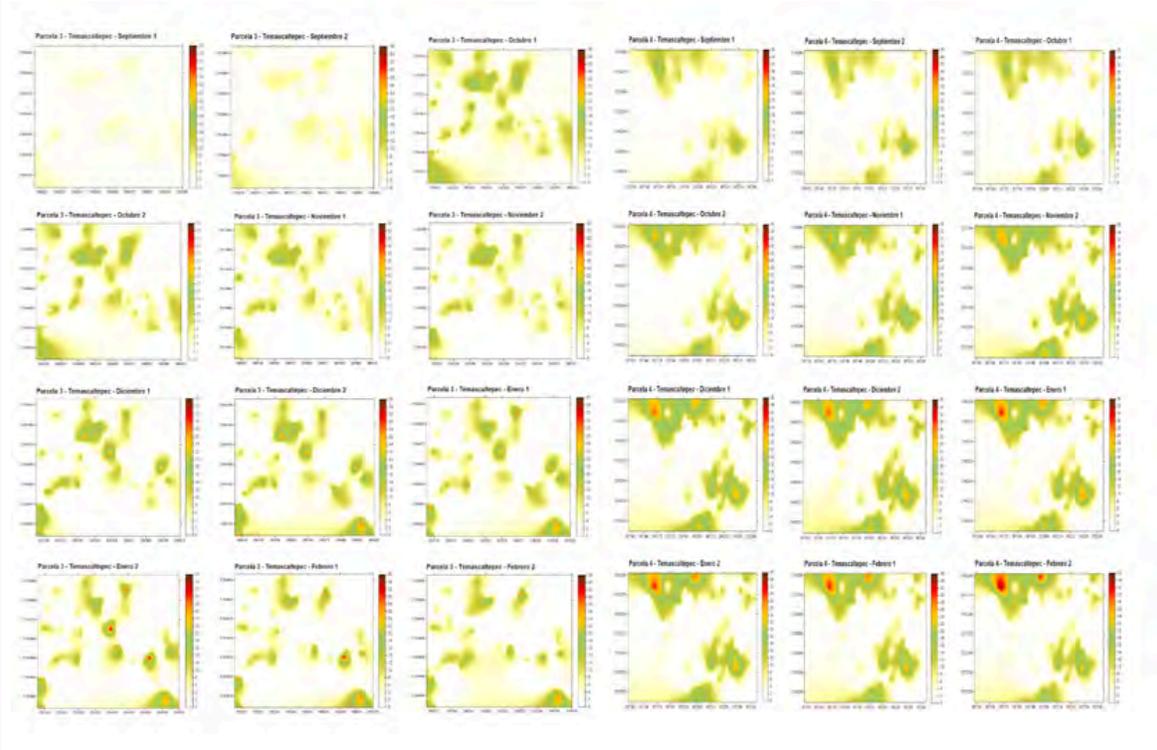


Figura 3. Mapa de densidad de infección de mancha de hierro *Mycosphaerella coffeicola*, parcelas tres y cuatro del municipio de Temascaltepec, Estado de México.



La variabilidad espacial de la mancha de hierro se determinó mediante el uso de la geoestadística, los resultados concuerdan con otros autores como Ramírez *et al.*, (2011), el cual indica que el análisis geoestadístico fue apropiado para la modelización y la creación de mapas en la distribución espacial de carbón de la espiga del maíz, por otra parte Turechek y Madden (1999) señalan, que mediante la geoestadística, realizaron el modelaje espacial del daño causado por la enfermedad *Mycosphaerella fragariae* en hojas de fresa en distintas fechas, así mismo Sciarretta *et al.* (2008), indica que mediante la geoestadística identificó la distribución espacial de *Lobesia botrana* en parcelas de uva.

Con respecto a los semivariogramas que se ajustaron a los modelos gaussianos, estos indican el comportamiento de mancha de hierro en las parcelas se presentó de manera continua, ya que la infestación del hongo, con respecto a su avance es entre los arboles vecinos, lo que surge que inicia hoja por hoja, este fenómeno fue observado por Tapia-Rodríguez *et al.* (2020), en antracnosis en el cultivo de aguacate, la cual presenta una distribución espacial agregada en el cultivo, teniendo semivariogramas ajustados al modelo gaussiano, interpretando que la enfermedad presenta un crecimiento acelerado a través de tiempo de manera continua.

Investigaciones como las de Acosta-Guadarrama *et al.*, (2017) en la plaga de trips el ajuste fue principalmente gaussiano lo que indica una expresión continua del insecto dentro de las plantaciones de aguacate.

Por otro lado los modelos ajustados al modelo esférico, indican que las poblaciones de la mancha de hierro se presentan en mayor presencia en ciertas zonas de la parcela, al resto de puntos considerados en el muestro; es decir, los centros de agregación son aleatoria, dentro de la zona de infestación en la parcela, Esquivel y Jasso (2014) señalaron que los semivariogramas ajustados al modelo esférico, los centros de agregación de gusano soldado son aleatorios, dentro de la zona de infestación, con un crecimiento rápido cercano al origen.

Por último los modelos exponenciales, indican que la agregación en la enfermedad se da en límites irregulares en la parcela, exponiendo una distribución espacial discontinua; asimismo, Ramírez-Dávila *et al.* (2011), señala que los modelos exponenciales que se obtuvieron en los muestreos de *B. cockerelli* presentó puntos específicos dentro de la parcela de forma discontinua; por otra parte, Paz y Arrieche (2017) indican que los muestreos realizados a *Thrips tabaci*, se obtuvieron modelos exponenciales, concluyendo que la distribución especial responde a un patrón agregado pasando de áreas dispersas a áreas bien definidas.

Con respecto el efecto pepita en todos los modelos fue igual a cero, permitiendo considerar que el error fue mínimo y la escala de muestro fue adecuada (Ramírez-Dávila *et al.*, 2011; Tapia-Rodríguez *et al.*, 2020). El alto nivel de la dependencia espacial es conocido a través del valor resultante, de la división del valor del efecto pepita y el valor de la meseta, indicando menos de 25% en todos los muestreos.

Los valores indican una alta dependencia espacial, lo que permite indicar que los parches de infección de mancha de hierro dependan entre si y su nivel de agregación. Esto también fue observado por Maldonado *et al.* (2016) que señalan que la distribución espacial de trips es similar a la que presenta la mancha de hierro.

Superficie infectada

En la Cuadro 2, se detallan los resultados obtenidos en el municipio de Temascaltepec con respecto a la superficie infestada; observando que en ningún muestreo llegó la infección al 100%, con respecto al mayor porcentaje este se registró con el 70%, siendo el caso de la parcela tres en el muestreo seis, los menores porcentajes se registraron con el 53%, en la parcela cuatro muestreo once; lo descrito anteriormente resulta relevante para el manejo integrado de la mancha de hierro en los cafetales del municipio de Temascaltepec, ya que permitirá aplicaciones directas sobre las áreas específicas de infección.

Cuadro 2. Porcentaje de superficie infestada y no infestada por mancha de hierro.

Fecha	Parcela 1		Parcela 2		Parcela 3		Parcela 4	
	Su In (%)	Su no In (%)	Su In (%)	Su no In (%)	Su In (%)	Su no In (%)	Su In (%)	Su no In (%)
1) Sep 1	60	40	64	36	67	33	56	44
2) Sep 2	61	39	66	34	68	32	58	42
3) Oct 1	62	38	66	34	69	31	59	41
4) Oct 2	62	38	67	33	69	31	59	41
5) Nov 1	62	38	67	33	69	31	59	41
6) Nov 2	63	37	67	33	70	30	60	40
7) Dic 1	61	39	65	35	69	31	58	42
8) Dic 2	60	40	64	36	67	33	57	43
9) Ene 1	60	40	63	37	67	33	57	43
10) Ene 2	59	41	63	37	66	34	56	44
11) Feb 1	58	42	62	38	65	35	53	46
12) Feb 2	58	42	61	39	65	35	54	46

Su In= superficie infestada; Su no In= superficie no infestada.

Una vez que los semivariogramas teóricos correspondientes fueron validados se utilizó el método geoestadístico denominado krigeado ordinario para la elaboración de los mapas de densidad, permitiendo visualizar el comportamiento de los focos de agregación en las parcelas muestreadas, en este sentido Pino-Miranda *et al.* (2022) en su trabajo distribución espacial de *Mycena citricolor* en cafetales, generó mapas a través del krigeado ordinario, estimando los porcentajes de superficie infectada y los valores asociados a puntos no muestreados, por otra parte, de acuerdo con Cárdenas *et al.* (2017), en su estudio espacial sobre la incidencia de enfermedades en distintos

tipos de cacao, señala que los mapas de krigeado permiten estimar la distribución, espacial de áreas de influencia con niveles específicos de prevalencia. Otros autores como Lara *et al.* (2018), indican que los mapas obtenidos con la técnica del krigeado ordinario permiten identificar los lugares donde se concentran las poblaciones, pues se hace una interpolación que describe la variación espacial y se tiene una capacidad de predicción.

Esto generó beneficios tanto ecológicos como económicos, pues se reduce la frecuencia de aplicar plaguicidas, se ahorra combustible y se puede hacer un manejo más preciso con estos mapas. Se observa en el Cuadro 2, el porcentaje de la superficie infestada por mancha de hierro, en ella se puede observar que la distribución de la agregación de la incidencias o focos de infestación de mancha de hierro en ningún momento llegó a infestar el total de la parcela.

Otro estudio de García y Flego (2008), indican que la agricultura de precisión se basa en aplicar la cantidad correcta de insumos, en el momento adecuado y en el lugar exacto, involucrando el uso de sistemas de posicionamiento global (GPS) y otros medios electrónicos para obtener datos del cultivo.

Los mapas generados a través del krigeado permiten identificar focos de infección de las enfermedades y de esta manera contribuir a la toma de decisiones precisas y oportunas, contribuyendo a la generación de estrategias de manejo integrado, el control del hongo *Mycosphaerella* según Sepúlveda (2016) requiere cada vez la aplicación de una mayor cantidad de fungicidas debido a la resistencia que este patógeno ha desarrollado, por otro lado Pérez (2023) señala que con el uso de los mapas de infestación se puede sugerir a los productores llevar a cabo un manejo integrado de la plaga en la que se pueden emplear métodos de control tales como el biológico y cultural, diferente al químico, reduciendo en gran medida la contaminación al medio.

Conclusiones

La presencia de *Mycosphaerella coffeicola*, se detectó en todos los meses muestreados, no obstante, su incidencia fue variable entre meses, relacionándose con los cambios en las temperaturas, lluvias y humedad relativa. La mancha de hierro presentó un comportamiento espacial agregado, encontrándose en centros de agregación claramente determinados, los cuales se mantuvieron constantes durante los seis meses de muestreo, la distribución espacial se ajustó a modelos gaussianos, exponenciales y esféricos, permitiendo explicar la dependencia espacial.

Con la técnica del krigeado ordinario, se pueden visualizar los centros de agregación, llegando a conocer en tiempo real su comportamiento, permite visualizar la variabilidad poblacional, pudiendo conducir el manejo con precisión con dichos mapas.

Bibliografía

- 1 Acosta-Guadarrama, A. D.; Ramírez-Dávila J. F.; Rivera-Martínez R.; Figueroa-Figueroa, D. K.; Lara-Díaz, A. V.; Maldonado-Zamora, F. I.; Tapia-Rodríguez, A. 2017. Distribución espacial de *Trips* spp. (Thysanoptera) y evaluación de su control mediante el depredador *Amblyseius swirskii* en el cultivo de aguacate en México. *Entomólogo del Suroeste*. 42(2):435-446. <https://doi.org/10.3958/059.042.0214>.
- 2 Arteaga-Luna, S. P. 2013. Eficacia de dos productos a base de *Trichoderma*, en tres dosis de aplicación para el control de la mancha de hierro (*Cercospora coffeicola*) en plantas de café (*Coffea canephora*) Variedad robusta a nivel de vivero en el cantón. Francisco de Orellana, provincia de Orellana Bachelor's . tesis de pregrado, maestría o doctoral, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. <http://dspace.espace.edu.ec/handle/123456789/4828>.
- 3 Chand, R.; Singh, V.; Kumar, P.; Pal, C. and Chowdappa, P. 1954. The genus *Cercospora*: biology and taxonomy. *Fungal leaf spot diseases of annual and perennial crops*. Westville Publishing House, New Delhi. 2-8 pp.

- 4 Cambardella, C.; Moorman, T.; Novak, J.; Parkin, T.; Karlen, D.; Turco, R. and Konopka A. 1994. Field scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58(5):1501-1511. Doi:10.2136/sssaj1994.03615995005800050033x.
- 5 Cárdenas, N. J.; Darghan, A.; Sosa, M. D. y Rodríguez, A. 2017. Análisis espacial de la incidencia de enfermedades en diferentes genotipos de cacao (*Theobroma cacao* L.) en El Yopal (Casanare), Colombia. *Acta Biológica Colombiana.* 22(2):209-220. Doi: <http://dx.doi.org/10.15446/abc.v22n2.61161>.
- 6 Cup of Excellence. 2022a. Ganadores Nacionales. 2022. <https://cupofexcellence.org/mexico-2021/>.
- 7 Cup of Excellence. 2022b. Ganadores Nacionales. 2022. <https://cupofexcellence.org/mexico-2019/>.
- 8 Cup of Excellence. 2022c. Ganadores Nacionales. 2022. <https://cupofexcellence.org/mexico-2018>.
- 9 Esquivel, H. V. y Jasso, G. Y. 2014. Distribución espacial y mapeo de gusano soldado en seis localidades del Estado de México, en el año 2011. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas.* 5(6):923-935. <https://doi.org/10.29312/remexca.v5i6.879>.
- 10 García, E. y Flego, F. 2008. Agricultura de precisión. *Revista Ciencia y Tecnología.* 8:99-116. <https://www.foroconsultivo.org.mx/incytu/documentos/expres/ie015agricultura%20de%20presicion.pdf>.
- 11 Guzmán, O. A. y Rivillas, L. A. 2008. Relación de *Glomus manihotis* y *G. fasciculatum* con el crecimiento de plantas de café y la severidad de la mancha de hierro. *Revista del Centro Nacional de Investigaciones de Café Cenicafé.* 58(3):236-251. [https://www.cenicafe.org/es/publications/arc058\(03\)236-257.pdf](https://www.cenicafe.org/es/publications/arc058(03)236-257.pdf).
- 12 Guzmán-Piedrahita, O. A. y Rivillas-Osorio, C. A. 2005. Producción *in vitro* de conidios de *Cercospora coffeicola*. *Cenicafé.* 56(1):67-78. [https://www.cenicafe.org/es/publications/arc056\(01\)067-078.pdf](https://www.cenicafe.org/es/publications/arc056(01)067-078.pdf).
- 13 Kermack, W. O. and McKendrick. A. G. 1927. Contributions to the mathematical theory of epidemics. *Proceedings of the Royal Society of London.* 115:700-721. <https://www.jstor.org/stable/94815>.
- 14 Lara, F.; Ramírez, J. F.; Rubí, M.; Morales, E. J.; Figueroa, D. K.; Acosta, A. D. y Rivera, R. 2018. Distribución espacial de araña roja *Oligonychus punicae* Hirst en el cultivo del aguacate, en dos municipios del Estado de México. *Southwestern Entomologist.* 43(3):743-759. Doi: <https://doi.org/10.47163/agrociencia>.
- 15 Maldonado, F. I.; Ramírez, J. F.; Rubí, M.; Némiga, X. y Lara V. A. 2016. Distribución espacial de trips en aguacate en Coatepec Harinas, Estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas.* 7(4):845-856. <https://doi.org/10.29312/remexca.v7i4.259>.
- 16 Paz, R. y Arrieche, N. 2017. Distribución espacial de *Thrips tabaci* (Lindeman) 1888 (thysanoptera: thripidae) en Quibor, Estado Lara, Venezuela. *Bioagro.* 29(2):123-128. <https://ve.scielo.org/pdf/ba/v29n2/art06.pdf>.
- 17 Pérez-Constantino, A.; Ramírez-Dávila, J. F.; Gutiérrez-Rodríguez, F. y Pérez-López, D. D. J. 2023. Comportamiento espacial de roya del cafeto en Amatepec, Estado de México. *Acta Universitaria* 33. <https://doi.org/10.15174/au.2023.3870>.
- 18 Pino-Miranda, E.; Ramírez-Dávila, J. F.; Serrato-Cuevas, R.; Mejía-Carranza, J. y Tapia-Rodríguez, A. 2022. Distribución espacial y temporal del ojo de gallo (*Mycena citricolor*) en cafetales del Estado de México. *Revista Mexicana de Fitopatología.* 40(3):433-446. Doi:<https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.2204-2>.
- 19 Ramírez-Dávila, J. F.; Gonzales-Andujar, J. L. y Porcayo-Camargo, E. 2008. Distribución espacial de las larvas del mosquito verde en un viñedo de regadío en Andalucía, España, utilizando el método de SADIE. *Boletín de Sanidad Vegetal.* 34(4):607-614. <https://www.researchgate.net/publication/41126167>.
- 20 Ramírez-Dávila, J. F.; Sánchez-Pale, J. R. y León, C. D. 2011. Estabilidad espacio temporal de la distribución del carbón de la espiga del maíz (*Sporisorium reilianum*) en el Estado

- de México, México. Revista Mexicana de Fitopatología. 29(1):1-14. <https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S018533092011000100001&script=sci-abstract&tlng=pt>.
- 21 Ramírez-Dávila, J. F.; Sánchez-Pale, J. R. y León, C. D. 2011. Estabilidad espacio temporal de la distribución del carbón de la espiga del maíz (*Sporisorium reilianum*) en el Estado de México, México. Revista Mexicana de Fitopatología. 29(1):1-14. <https://scielo.org.mx/pdf/rmfi/v29n1/v29n1a1.pdf>.
 - 22 Rengifo, H. G.; Leguizamon, J. E. y Riaño, N. M. 2002. Algunos aspectos biológicos de *Cercospora coffeicola* Chinchiná (Colombia). Rev. Cenicafe. 53(3):169-177. <https://www.cenicafe.org/es/publications/arc053%2803%29169-177.pdf>.
 - 23 Sciarretta, A.; Zinni, A.; Mazzocchetti, A. y Trematerra, P. 2008. Análisis espacial de la población de machos de *Lobesia botrana* (Lepidoptera: Tortricidae) en un paisaje agrícola mediterráneo en el centro de Italia. Entomología ambiental 37(2):382-390. Doi:10.1603/0046-225x(2008)37[382:saolbl]2.0.co;2.
 - 24 Sepúlveda, L. 2016. Caracterización fenotípica de *Mycosphaerella fijiensis* y su relación con la sensibilidad a fungicidas en Colombia. Revista Mexicana de Fitopatología 34(1):1-21. Doi:<https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1507.8>.
 - 25 SIAP. 2023. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Anuario estadístico de la producción agrícola. <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119>.
 - 26 Tapia-Rodríguez, A.; Ramírez-Dávila, J. F.; Figueroa-Figueroa, D. K, Salgado-Siclan, M. L. y Serrato R. 2020. Análisis espacial de antracnosis en el cultivo de aguacate en el Estado de México. Revista Mexicana de Fitopatología 38(1):132-145. Doi: <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1911-1>.
 - 27 Turechek, W. W. and Madden, L. V. 1999. Spatial pattern analysis and sequential sampling for the incidence of leaf spot on strawberry in Ohio. Plant Disease 83(11):992-1000. Doi:10.1094/PDIS.1999.83.11.992.



Variabilidad espacial de poblaciones de *Mycosphaerella coffeicola* (Cooke) en cafetales, Estado de México

Journal Information
Journal ID (publisher-id): remexca
Title: Revista mexicana de ciencias agrícolas
Abbreviated Title: Rev. Mex. Cienc. Agríc
ISSN (print): 2007-0934
Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Article/Issue Information
Date received: 01 April 2025
Date accepted: 01 July 2025
Publication date: 18 September 2025
Publication date: Aug-Sep 2025
Volume: 16
Issue: 6
Electronic Location Identifier: e3798
DOI: 10.29312/remexca.v16i6.3798

Categories

Subject: Artículo

Palabras clave:

Palabras clave:

Mycosphaerella coffeicola
agregación
geoestadística
krigeado ordinario
semivariogramas

Counts

Figures: 2

Tables: 2

Equations: 0

References: 27

Pages: 0