



## DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA ESCAMA VERDE Y FUMAGINA EN CAFETALES DE AMATEPEC, ESTADO DE MÉXICO

### SPATIAL DISTRIBUTION OF GREEN SCALE AND SOOTY MOULD IN COFFEE PLANTATIONS IN AMATEPEC, STATE OF MEXICO

Dulce Karen Figueroa-Figueroa<sup>1</sup>, José Francisco Ramírez-Dávila<sup>1\*</sup>, Fidel Lara-Vázquez<sup>1</sup>, Maricela Mora-Escamilla<sup>1</sup> y Federico Benjamín Galacho-Jiménez<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma del Estado de México, Campus El Cerrillo, Facultad de Ciencias Agrícolas, Piedras Blancas, Toluca, Estado de México, México.

<sup>2</sup>Universidad de Malaga, Facultad de Geografía, Málaga, España.

\*Autor de correspondencia (jframirez@uaemex.mx)

#### RESUMEN

El presente documento muestra el uso de métodos geoestadísticos para obtener mapas de incidencia de escama verde [*Coccus viridis* (Green); Homoptera: Coccidae], una de las principales plagas del café (*Coffea arabica*); este insecto, además de causar daño directo, produce el medio para el desarrollo del hongo *Capnodium* sp., causante de la fumagina. Se seleccionaron cuatro parcelas de café con variedades Typica y Caturra; se georreferenciaron plantas al azar con muestreos quincenales. El objetivo del presente estudio fue analizar la distribución espacial de la escama verde y fumagina en el cultivo del café. Se detectó la presencia de focos de infestación e infección de escama verde y fumagina dentro de las parcelas y la correlación entre el insecto y el hongo causante de la enfermedad. Se obtuvieron semivariogramas teóricos ajustados a modelos Gaussiano, esférico y exponencial, con una distribución de tipo agregado en varios centros. La estimación de la superficie infestada e infectada por escama verde y fumagina se obtuvo a través del krigeado ordinario, y fue posible visualizar los meses de abril y mayo como los de mayor incidencia para escama verde y abril para fumagina, lo que coincide con los meses más importantes para la floración del café en la zona de estudio. Se encontró mediante análisis de correlación lineal simple para promedios aritméticos y coeficiente de correlación de Pearson que a mayor presencia de escama verde existe mayor concentración de fumagina.

**Palabras clave:** *Coccus viridis*, *Capnodium* sp., distribución espacial, relación plaga-enfermedad.

#### SUMMARY

This document shows the use of geostatistical methods for constructing maps of incidence of green scale [*Coccus viridis* (Green); Homoptera: Coccidae], one of the main pests of coffee (*Coffea arabica*); this insect, in addition to causing direct damage, produces the medium for the development of the fungus *Capnodium* sp. causing sooty mould. Four coffee plots were selected with varieties Typica and Caturra georeferencing plants randomly with samplings every two weeks. The objective of this study was to analyze the spatial distribution of green scale and sooty mould in coffee plantations. The presence of outbreaks of infestation and infection of green scale and sooty mould within the plots as well as the correlation between the insect and the fungus causing the disease were detected. Theoretical semivariograms adjusted to Gaussian, spherical and exponential models were obtained, with an aggregate-type distribution in several centers. The estimation of the area infested and infected by green scale and sooty mould was obtained through ordinary kriging, and it was possible to visualize the months April and May

as those with the highest incidence for green scale and April for sooty mould, which coincides with the most important months for coffee flowering in the studied area. It was found by simple linear correlation analysis for arithmetic averages and Pearson correlation coefficient that the greater the presence of green scales, the higher the sooty mould concentration.

**Index words:** *Coccus viridis*, *Capnodium* sp., pest-disease relationship, spatial distribution.

#### INTRODUCCIÓN

El cultivo del café tiene gran importancia económica, ecológica y social; es el segundo bien más comercializado a nivel mundial y el tercer cultivo estratégico en México, donde representa el 0.66 % del PIB agrícola nacional y el 1.34 % de producción de bienes agroindustriales (SAGARPA, 2017). El Estado de México ocupa el onceavo lugar en producción nacional, con una superficie sembrada de 530.8 ha (SIAP, 2022); este grano es producido en alturas mayores de 1500 msnm; es considerado un café de altura, con características organolépticas particulares que le dan un potencial de calidad importante, lo que ha permitido a algunos productores de la región obtener buenos resultados en el certamen de taza de excelencia nacional (Alliance for Coffee Excellence, 2018; 2019; 2021).

Uno de los principales problemas que enfrentan los productores de café son las plagas y enfermedades, entre ellas la escama verde (*Coccus viridis*); ésta es una plaga de importancia económica en cultivos con altas densidades en época de secas (Jackson *et al.*, 2012). Este insecto se distribuye en numerosas colonias que cubren las nervaduras por el envés de las hojas, así como el peciolo y la corteza de ramas y tallos. Es una plaga cosmopolita que ataca mediante la succión de la savia; además, secreta una sustancia azucarada que cubre las hojas, favoreciendo el crecimiento del hongo *Capnodium* sp., denominado comúnmente como fumagina. El color característico de este hongo es negro, mismo que toma por sus estructuras

reproductoras, haciendo impenetrable la luz, necesaria en el proceso de fotosíntesis, por lo que en casos severos existe una defoliación que afecta el rendimiento de grano. Cuando la escama verde o la fumagina están presentes en el grano se afecta su madurez y se deprecia su valor, al grado de no ser comercializable debido a que ambos afectan el sabor en taza (Fernandes *et al.*, 2012).

El monitoreo de las poblaciones de escama verde y fumagina es una estrategia importante para realizar un buen manejo y control de estos problemas fitosanitarios. Para un correcto monitoreo es necesario establecer puntos de muestreo que generen datos confiables para la elaboración de mapas indicativos de la distribución de estos organismos (Ramírez y Porcayo, 2010). El objetivo del presente estudio fue analizar la distribución espacial de la escama verde y fumagina en el cultivo del café y determinar la correlación existente entre la presencia del insecto y el hongo que causa la enfermedad.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

El municipio de Amatepec se localiza en el extremo sur de la porción occidental del Estado de México, a 1820 msnm, con una temperatura media anual de 22 ° C, precipitación de 1100 a 2000 mm, humedad relativa promedio de 58.7 %, con una superficie sembrada con café de 530.8 ha (SIAP, 2022).

### Muestreo

Se seleccionaron cuatro parcelas de 0.5 ha de café con las variedades Typica y Caturra. El manejo fue en policultivo convencional con árboles maderables como sistema de sombra; todas las parcelas con una gestión agrícola similar. Cada parcela se dividió en cuadrantes de 10 × 10 m para un total de 50 cuadrantes, de cada uno se seleccionaron y georreferenciaron cuatro plantas al azar con un sistema de posicionamiento global diferencial (DGPS, modelo Trimble SPS361, Westminster, Colorado, EUA). Los muestreos se realizaron quincenalmente; para fumagina, los árboles de café se dividieron en estratos (bajo, medio y alto), en cada uno se seleccionaron cuatro ramas en dirección a cada punto cardinal para muestrear tres hojas de cada rama para un total de 36 hojas por cafeto.

### Datos registrados

Se registró el número de hojas con presencia de fumagina. Para el caso de la escama, se muestreo la totalidad de individuos presentes en tallos y ramas. Se tomaron muestras del insecto y la enfermedad y se corroboró

su identificación en los Laboratorios de Entomología y Microbiología, respectivamente, de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México (Pino-Miranda *et al.*, 2022; Tapia *et al.*, 2020).

### Análisis estadístico

Con los registros, se procedió a realizar la estimación de los semivariogramas experimentales de cada muestreo, tanto de escama verde como de fumagina. Se utilizó el software Variowin 2.2 (Software for spatial data analysis in 2D. New York, EUA). Los semivariogramas fueron ajustados a modelos teóricos.

La validación del modelo teórico se realizó de forma interactiva, variando los valores 'Co' (efecto de pepita), 'C + Co' (meseta) y 'a' (alcance), hasta coincidir con el mejor ajuste. Una vez que los semivariogramas experimentales fueron ajustados a algunos de los modelos teóricos fue necesario validar estadísticamente estos modelos ajustados. La validación de los diferentes modelos teóricos ajustados a los semivariogramas experimentales se realizó con el procedimiento de validación cruzada, siendo éstos: Media de los Errores de Estimación (MEE), donde la MEE no debe ser significativamente distinta de 0 (prueba de t), en cuyo caso indicaría que el modelo de semivariograma permite el cálculo de estimadores no sesgados, Error Cuadrático Medio (ECM), donde se considera adecuado si, como regla práctica, el valor del estadístico es cercano a cero y Error Cuadrático Medio Adimensional (ECMA), donde 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 de la varianza muestral (Gutiérrez-López *et al.*, 2011; Lara *et al.*, 2019; Maldonado *et al.*, 2017; Samper y Carrera, 1996; Tapia *et al.*, 2020).

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

Una vez que los modelos de los semivariogramas correspondientes fueron validados, se utilizó el método geoestadístico de krigeado para la elaboración de los mapas de densidad (Moral, 2004) en cada parcela en las diferentes fechas de muestreo mediante el uso del programa Surfer 9 (Surface Mapping System, Golden Software, Golden, Colorado, EUA). Los cálculos de la superficie infestada se realizaron con base en mapas

de densidad después de validar los semivariogramas (Gallardo, 2006).

Se midió el grado de asociación espacial entre escama verde y fumagina mediante análisis de correlación lineal simple para promedios aritméticos, con un margen de 95 %; se usó el software estadístico Minitab 19; para estimar los coeficientes de correlación de Pearson, cuya hipótesis nula  $r = 0$  ( $P \geq 0.05$ ), la interpretación de la magnitud de este coeficiente se plantea en valor absoluto en la escala siguiente:  $0.10 \leq |r| < 0.30$  débil;  $0.30 \leq |r| < 0.50$  moderada;  $0.50 \leq |r| < 1.00$  fuerte (Dagnino, 2014). Los resultados fueron validados con el programa estadístico SAS v. 9.4.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En todas las fechas de muestreo se encontró un nivel de dependencia espacial alto, tanto para fumagina como para escama verde (Cuadros 1 y 2), lo que indica la existencia de una relación espacial entre cada punto de muestreo, con efecto pepita igual a cero en todas las fechas de muestreo en las parcelas, concluyendo que el error de muestreo fue mínimo y la escala que se utilizó fue la adecuada (Acosta-Guadarrama *et al.*, 2017).

Se elaboró un total de 96 semivariogramas, 48 para fumagina y 48 para escama verde, donde el insecto escama verde y la enfermedad fumagina presentaron una distribución espacial de tipo agregado. Todos los semivariogramas fueron validados con el método de validación cruzada. Para el caso de fumagina, el modelo predominante fue exponencial 61 % (29), seguido del modelo esférico 29 % (14) y finalmente el modelo Gaussiano 10 % (5); con respecto a la escama verde, el modelo predominante también fue el modelo exponencial 52 % (25), seguido del modelo esférico 29 % (14) y finalmente el modelo Gaussiano 19 % (9) (Cuadros 1 y 2).

Los modelos de tipo exponencial indican que la agregación en términos biológicos se da en límites irregulares en las parcelas, exponiendo una distribución espacial discontinua; Ramírez *et al.* (2013) concluyeron que los modelos exponenciales son indicativos de que la agregación se presenta en puntos específicos dentro de la parcela; por otra parte, Paz y Arrieche (2017) indicaron que a pesar de que existan cambios en el comportamiento espacial, si la mayoría de los modelos se ajustan al modelo exponencial se puede interpretar que la distribución responde a un patrón de distribución agregado pasando de áreas dispersas a áreas bien definidas.

Tanto para escama verde como para fumagina se obtuvieron modelos del tipo esférico, lo cual indica que las poblaciones se presentan en mayor cantidad en

ciertas zonas de la parcela respecto al resto de los puntos considerados en los muestreos; es decir, los centros de agregación son aleatorios, estando dentro de la zona de infestación de la parcela, posiblemente causada por el tipo de diseminación o por factores climáticos. Pino-Miranda *et al.* (2022) describieron modelos esféricos en la enfermedad 'ojo de gallo' (*Mycena citricolor*) en café, lo que indica que las poblaciones se presentan en mayor cantidad en ciertas zonas de la parcela; asimismo, Esquivel y Jasso (2014) señalaron que cuando los semivariogramas se ajustaron al modelo esférico, los centros de agregación son aleatorios, dentro de la zona de infestación, posiblemente como resultado del tipo de propagación del insecto, que se da a través de un crecimiento rápido cercano al origen, lo cual origina infestaciones en zonas específicas.

Las parcelas que se ajustaron al modelo Gaussiano indican que el comportamiento de agregación de escama verde y fumagina se presenta de forma continua dentro de las parcelas de café, ya que la infestación, con respecto a su avance es entre los árboles vecinos, lo cual sugiere que inicia hoja por hoja. Ramírez *et al.* (2013) indicaron que los muestreos en los que se obtuvieron modelos de tipo Gaussiano la agregación se expresa en forma continua dentro de las parcelas; por otra parte, Tapia *et al.* (2020), en su estudio, indican resultados similares y mencionan que se distribuye en individuos cercanos, no en individuos alejados.

El rango se puede interpretar como el alcance de la plaga o enfermedad, que para el caso de fumagina varió entre 18.95 y 37.00 m (Cuadro 1), mientras que, para escama verde, el rango va de 16.16 a 80.10 m (Cuadro 2). Tapia *et al.* (2020) indicaron que los valores de alcance de la enfermedad antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides*) en huertos de aguacate van desde 19.2 hasta 28 m.

El nivel de dependencia espacial es un parámetro importante, ya que permite identificar el error de muestreo y el nivel de agregación. Los resultados muestran una dependencia espacial alta para todos los muestreos (Cuadros 1 y 2). Este parámetro involucra el efecto pepita, que fue igual a cero en todos los muestreos tanto para fumagina como para escama verde, lo que permite considerar que el error de muestreo fue mínimo y la escala de muestreo fue la adecuada (Ramírez *et al.*, 2013), exhibiendo una alta dependencia espacial, lo cual permite suponer que las poblaciones de escama verde y fumagina dependen una de la otra y su nivel de agregación es alto.

Los resultados del (Cuadro 3) corresponden a valores de  $r = 0.32, 0.97, 0.67$  y  $0.91$  para las parcelas 1, 2, 3 y 4, respectivamente. En este contexto, se infiere que existe un problema fitosanitario importante, causado por la

**Cuadro 1. Parámetros del semivariograma de los muestreos de fumagina por parcela de enero a junio de 2022, Municipio de Amatepec, Edo. de México.**

PA1	MED.	VAR.	MODELO	P.	MES.	RAN.	P/M	D.E.	PA2	MED.	VAR.	MODELO	P.	MES.	RAN.	P/M	D.E.
1.E1	0.22	1.62	Esférico	0	1.61	37.00	0	Alta	1.E1	0.12	0.31	Esférico	0	2.58	35.02	0	Alta
2.E2	0.44	4.10	Exponencial	0	3.73	21.66	0	Alta	2.E2	0.21	0.69	Exponencial	0	4.55	23.17	0	Alta
3.F1	0.56	6.81	Exponencial	0	6.80	19.51	0	Alta	3.F1	0.64	10.34	Exponencial	0	20.83	9.75	0	Alta
4.F2	0.87	16.66	Esférico	0	12.49	20.51	0	Alta	4.F2	0.43	5.36	Esférico	0	10.34	15.4	0	Alta
5.M1	0.72	9.00	Esférico	0	16.64	27.36	0	Alta	5.M1	0.74	11.66	Exponencial	0	5.85	23.1	0	Alta
6.M2	1.06	16.76	Exponencial	0	15.47	20.786	0	Alta	6.M2	2.37	20.59	Exponencial	0	11.12	23.99	0	Alta
7.A1	2.24	65.35	Exponencial	0	63.36	20.02	0	Alta	7.A1	4.77	88.68	Esférico	0	74.82	16.5	0	Alta
8.A2	1.83	37.49	Exponencial	0	34.55	18.95	0	Alta	8.A2	5.09	86.98	Esférico	0	74.18	16.61	0	Alta
9.M1	1.45	26.05	Gaussiano	0	23.14	19.8	0	Alta	9.M1	5.15	86.27	Exponencial	0	52.82	15.85	0	Alta
10.M2	1.50	17.79	Exponencial	0	16.38	26.40	0	Alta	10.M2	4.89	78.35	Esférico	0	84.93	20.36	0	Alta
11.J1	1.77	25.79	Exponencial	0	24.18	20.99	0	Alta	11.J1	4.96	82.39	Esférico	0	74.38	13.39	0	Alta
12. J2	1.75	23.44	Exponencial	0	15.64	21.99	0	Alta	12. J2	4.21	56.73	Exponencial	0	52.84	17.6	0	Alta
PA3	MED.	VAR.	MODELO	P.	MES.	RAN.	P/M	D.E.	PA4	MED	VAR.	MODELO	P.	MES	RAN	P/M	D.E.
1.E1	0.12	0.31	Exponencial	0	0.28	29.18	0	Alta	1.E1	0.05	0.06	Esférico	0	0.5	28.03	0	Alta
2.E2	0.21	0.69	Exponencial	0	0.64	28.67	0	Alta	2.E2	0.16	0.63	Esférico	0	0.5	29.56	0	Alta
3.F1	0.2	0.9	Exponencial	0	3.65	14.61	0	Alta	3.F1	0.19	0.90	Exponencial	0	0.84	26.94	0	Alta
4.F2	0.43	5.36	Esférico	0	4.96	7.72	0	Alta	4.F2	0.34	2.98	Exponencial	0	2.97	22.39	0	Alta
5.M1	0.62	8.85	Esférico	0	8.5	12.1	0	Alta	5.M1	0.77	7.57	Gaussiano	0	14.7	15.64	0	Alta
6.M2	2.37	20.59	Exponencial	0	7.78	35.63	0	Alta	6.M2	1.57	29.05	Gaussiano	0	29	19.96	0	Alta
7.A1	4.77	88.68	Exponencial	0	86.11	22.94	0	Alta	7.A1	4.77	88.68	Exponencial	0	61.74	20	0	Alta
8.A2	2.91	54.29	Exponencial	0	48.2	22.08	0	Alta	8.A2	3.13	62.33	Exponencial	0	62.37	27.25	0	Alta
9.M1	3.5	71.67	Exponencial	0	34.13	27.72	0	Alta	9.M1	3.5	71.67	Exponencial	0	71.28	14.55	0	Alta
10.M2	3.22	66.47	Exponencial	0	30.63	32.98	0	Alta	10.M2	3.22	66.47	Gaussiano	0	65	18.36	0	Alta
11.J1	3.32	49.2	Esférico	0	45.28	26.89	0	Alta	11.J1	4.16	59.01	Exponencial	0	58.41	19.33	0	Alta
12. J2	1.95	35.07	Gaussiano	0	32.49	22.8	0	Alta	12. J2	2.97	51.45	Exponencial	0	49.88	17.44	0	Alta

PA1: Parcela 1, PA2: Parcela 2, PA3: Parcela 3, PA4: Parcela 4, E1: primer muestreo, E2: segundo muestreo..., MED: media, VAR: varianza, P: pepita, MES: meseta, RAN: rango, P/M: pepita/meseta, D.E.: dependencia espacial.

**Cuadro 2. Parámetros del semivariograma de los muestreos de escama verde por parcela, de enero a junio de 2022 del municipio de Amatepec, Edo. de México.**

PA1	MED.	VAR.	MODELO	P.	MES.	RAN.	P/M	D.E.	PA2	MED.	VAR.	MODELO	P.	MES	RAN	P/M	D.E.
1.E1	3.42	219.69	Exponencial	0	215.33	24.78	0	Alta	1.E1	4.47	202.15	Esférico	0	132.54	14.89	0	Alta
2.E2	3.81	256.49	Exponencial	0	250.50	17.40	0	Alta	2.E2	2.57	182.43	Esférico	0	127.8	14.89	0	Alta
3.F1	3.58	264.44	Exponencial	0	258.32	20.65	0	Alta	3.F1	3.12	264.38	Exponencial	0	131.99	26.06	0	Alta
4.F2	4.09	315.81	Exponencial	0	303.35	23.26	0	Alta	4.F2	2.08	262.43	Gaussiano	0	48.88	53.02	0	Alta
5.M1	5.15	411.99	Exponencial	0	334.69	20.01	0	Alta	5.M1	4.02	539.61	Esférico	0	484.90	14.79	0	Alta
6.M2	6.35	532.35	Exponencial	0	417.41	28.53	0	Alta	6.M2	6.69	710.05	Esférico	0	671.61	22.95	0	Alta
7.A1	5.66	578.41	Exponencial	0	407.78	33.99	0	Alta	7.A1	12.93	1632.99	Esférico	0	1472.77	21.25	0	Alta
8.A2	6.78	611.05	Exponencial	0	434.46	26.94	0	Alta	8.A2	12.27	1472.22	Gaussiano	0	1436.35	19.04	0	Alta
9.M1	6.06	606.79	Esférico	0	484.52	16.66	0	Alta	9.M1	13.04	1425.11	Exponencial	0	1335	19.84	0	Alta
10.M2	4.39	434.83	Exponencial	0	402.34	31.20	0	Alta	10.M2	12.98	1634.30	Esférico	0	1453.67	15.60	0	Alta
11.J1	3.44	341.51	Exponencial	0	192.69	75.72	0	Alta	11.J1	12.93	1632.99	Esférico	0	1522.35	16.39	0	Alta
12. J2	2.68	292.61	Exponencial	0	185.43	80.10	0	Alta	12. J2	13.78	1867.74	Gaussiano	0	1799.55	21.27	0	Alta
PA3	MED.	VAR.	MODELO	P.	MES.	RAN.	P/M	D.E.	PA4	MED	VAR.	MODELO	P.	MES	RAN	P/M	D.E.
1.E1	0.73	10.64	Gaussiano	0	9.98	14.73	0	Alta	1.E1	3.17	269.60	Gaussiano	0	239.64	29.72	0	Alta
2.E2	2.37	116.66	Exponencial	0	110.92	25.12	0	Alta	2.E2	4.45	460.34	Exponencial	0	324.35	31.28	0	Alta
3.F1	4.10	270.60	Exponencial	0	258.54	19.24	0	Alta	3.F1	5.62	570.29	Exponencial	0	400.27	51.86	0	Alta
4.F2	6.55	722.67	Exponencial	0	661.82	20.38	0	Alta	4.F2	6.12	821.85	Exponencial	0	425.13	53.12	0	Alta
5.M1	7.15	758.98	Gaussiano	0	444.38	35.78	0	Alta	5.M1	5.25	764.68	Exponencial	0	466.24	56.91	0	Alta
6.M2	10.46	1113.53	Exponencial	0	971.52	23.10	0	Alta	6.M2	6.89	906.11	Esférico	0	740.22	39.56	0	Alta
7.A1	12.69	1271.39	Exponencial	0	1167.88	30.96	0	Alta	7.A1	8.70	1030.67	Gaussiano	0	456.97	29.96	0	Alta
8.A2	10.22	1046.84	Exponencial	0	909.41	21.12	0	Alta	8.A2	8.01	929.13	Esférico	0	541.88	18.41	0	Alta
9.M1	5.83	547.46	Exponencial	0	409.99	38.42	0	Alta	9.M1	8.01	929.12	Esférico	0	530.44	49.53	0	Alta
10.M2	5.22	503.81	Gaussiano	0	409.97	38.30	0	Alta	10.M2	8.53	945.72	Esférico	0	523.61	29.79	0	Alta
11.J1	6.41	480.39	Exponencial	0	399.47	32.66	0	Alta	11.J1	8.64	972.12	Esférico	0	519.86	30.35	0	Alta
12. J2	5.18	321.49	Gaussiano	0	262.99	35.83	0	Alta	12. J2	8.01	929.13	Esférico	0	500.68	24.64	0	Alta

PA1: Parcela 1, PA2: Parcela 2, PA3: Parcela 3, PA4: Parcela 4, E1: primer muestreo, E2: segundo muestreo..., MED: media, VAR: varianza, P. pepita, MES: meseta, RAN: rango, P/M): pepita/meseta, D.E.: dependencia espacial.

presencia tanto de escama verde como de fumagina. Estos resultados coinciden con la afirmación de que valores de  $r$  cercanos a 1 presentan fuerte correlación positiva. Por otra parte, el coeficiente de correlación de Pearson fue útil para validar la asociación previamente incluida con un margen de error de 5 %, lo que implica que a mayor presencia de escama verde hay mayor concentración de fumagina, pero en la parcela 1, la correlación fue menor y no significativa ( $P \geq 0.05$ )  $r = 0.29$ , lo que indica que entre parcelas existen diferentes condiciones edafoclimáticas que condicionan el porcentaje de agregación de escama verde y fumagina, tal como lo indicaron Dagnino (2014), Lalinde *et al.* (2018) y Fernández *et al.* (2012), debido a que la escama verde se alimenta de la savia de la planta y excreta melaza que contribuye a un mayor desarrollo de fumagina.

En cuanto a la superficie infestada por escama verde y fumagina, se encontraron porcentajes máximos entre parcelas que van de 39 a 75 % en fumagina (Cuadro 4). Con respecto a escama verde, los porcentajes máximos de superficie infestada por parcela fueron de 25 % a 34 %; esto también fue observado por Pino-Miranda *et al.* (2022), quienes reportaron que en las parcelas con ojo de gallo en cafetales, el porcentaje de superficie infestada por parcela varía entre 64 y 85 %.

De los mapas obtenidos con la técnica de Krigeado (Figuras 1 y 2), se pueden visualizar los centros de agregación de las poblaciones de escama verde y fumagina. Los mapas con la enfermedad generados en la parcela 2 en los meses de enero a marzo muestran que los puntos o centros de agregación de la enfermedad se mantienen

**Cuadro 3. Correlación lineal simple y correlación de Pearson para escama verde (*Coccus viridis*) y fumagina (*Capnodium* sp.).**

Parcela	Muestra 1	Muestra 2	Correlación lineal	Correlación de Pearson (r)
1	Escama verde	Fumagina	0.32 ns	0.29 ns
2			0.97 **	0.97 **
3			0.67 **	0.67 **
4			0.91 **	0.91 **

ns: no significativo ( $P > 0.05$ ), \*: significativa ( $P \leq 0.05$ ), \*\*: altamente significativa ( $P \leq 0.01$ )

**Cuadro 4. Porcentaje de superficie infestada de escama verde y porcentaje de superficie infectada de fumagina de los muestreos por parcela de enero a junio de 2022, Amatepec, Estado de México.**

Muestreo	(%) Escama verde				Muestreo	(%) Fumagina			
	Parcela 1	Parcela 2	Parcela 3	Parcela 4		Parcela 1	Parcela 2	Parcela 3	Parcela 4
1.E1	15	19	12	13	1.E1	18	20	15	0
2.E2	16	19	14	15	2.E2	22	21	17	7
3.F1	18	20	18	16	3.F1	25	19	23	8
4.F2	20	21	21	18	4.F2	26	17	25	10
5.M1	21	23	24	19	5.M1	26	18	27	16
6.M2	22	24	25	21	6.M2	31	20	68	20
7.A1	22	19	26	23	7.A1	34	49	70	35
8.A2	24	26	29	26	8.A2	35	51	72	33
9.M1	25	28	28	27	9.M1	36	58	73	32
10.M2	24	29	29	27	10.M2	36	62	74	34
11.J1	23	32	29	29	11.J1	37	64	75	37
12. J2	21	34	30	31	12. J2	39	69	72	35

E1: Enero primer muestreo, E2: Enero segundo muestreo.





Figura 1. Modelización y mapeo de la distribución espacial de fumagina (*Capnodium* sp.) correspondientes de los muestreos de enero a junio 2022 de las parcelas de café 1, 2, 3 y 4 en el municipio de Amatepec, Estado de México.

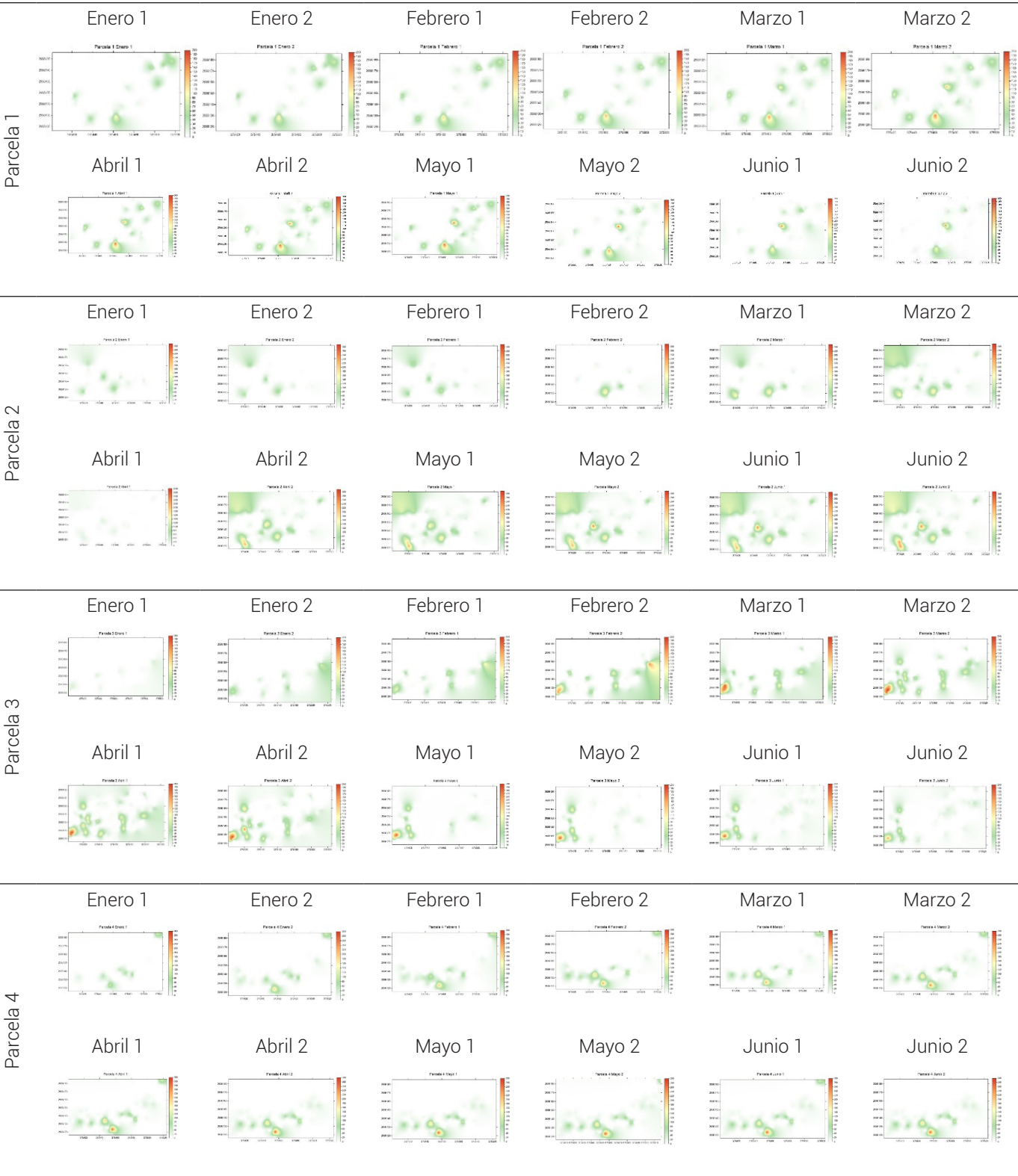


Figura 2. Modelización y mapeo de la distribución espacial de escama verde (*Coccus viridis*) correspondientes de los muestreos de enero a junio de 2022 de las parcelas de café 1, 2, 3 y 4 en el municipio de Amatepec, Estado de México.



de manera constante, cabe señalar que en el mes de marzo en la región de estudio inicia la floración; para el mes de abril y el primer muestreo de mayo se observó un incremento en la incidencia de la enfermedad. Para el segundo muestreo del mes de mayo se nota un aumento en los focos de infección; es importante indicar que en la región de estudio la brotación se presenta durante todo el año, siendo abril y mayo los meses donde hay mayor tasa de brotación.

Por otra parte, en el primer muestreo del mes de junio hay una disminución y en el segundo muestreo de junio se vuelven a incrementar los focos de infección de la enfermedad, que en la región de estudio se dan al final de la floración en el mes de junio. En las parcelas restantes la enfermedad tuvo un comportamiento similar (Figura 1). Los mapas obtenidos de la superficie con escama verde de la parcela 2 en los meses de enero a marzo indicaron que los focos de agregación del insecto se mantuvieron constantes; con respecto al primer muestreo de abril, hubo una disminución significativa de la incidencia en los centros de agregación; no obstante, para el segundo muestreo de abril hubo un aumento en los centros de agregación o focos de infestación, los cuales se mantuvieron similares en los muestreos restantes (Figura 2). La elaboración de mapas a partir del método de Krigeado ordinario se utiliza en estudios de comportamientos espacial de plagas, como lo reportan Esquivel y Jasso (2014); algo similar menciona Maldonado *et al.* (2017), ya que con éstos se pueden implementar medidas de control focalizado, permitiendo reducir de manera significativa las pérdidas por plagas. Por otra parte, Tapia *et al.* (2020) mencionaron que los mapas generados a través del krigeado permiten identificar focos de infección de las enfermedades, similar a lo que indicaron Acosta-Guadarrama *et al.* (2017) con respecto a la elaboración de mapas de densidad, en el sentido de que son de gran utilidad para realizar medidas de control dirigidas en las plantaciones, y de esta manera ayudar en la toma de decisiones precisas y oportunas, contribuyendo a la generación de estrategias de manejo integrado; a su vez, Ramírez y Porcayo (2010) sugieren que la geoestadística tiene la ventaja de caracterizar la distribución espacial, ya que considera la exacta ubicación de muestras, sin deficiencia y limitaciones de localización como los métodos de estadística no espacial (Binomial negativa, Poisson y Green).

## CONCLUSIONES

La escama verde, al igual que la fumagina, presentan un comportamiento espacial agregado, presentes en focos de infección e infestación determinados en las parcelas de Amatepec, México, los cuales se mantuvieron constantes durante los seis meses de muestreo. La distribución

espacial de escama verde y fumagina se ajustó a los modelos gaussianos, exponenciales y esféricos, permitiendo explicar la dependencia espacial que se presenta. La ocurrencia de escama verde y fumagina estuvo correlacionada en tres de cuatro parcelas, lo que indica que a mayor presencia de escama verde hay mayor concentración de fumagina.

## BIBLIOGRAFÍA

- Acosta-Guadarrama A. D., J. F. Ramírez-Dávila, R. Rivera-Martínez, D. K. Figueroa-Figueroa, A. V. Lara-Díaz, F. I. Maldonado-Zamora and A. Tapia-Rodríguez (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>
- Alliance for Coffee Excellence (2018) México 2018. Alliance for Coffee Excellence. Portland, Oregon, USA. <https://allianceforcoffeexcellence.org/mexico-2018/> (December 2023).
- Alliance for Coffee Excellence (2019) México 2019. Alliance for Coffee Excellence. Portland, Oregon, USA. <https://allianceforcoffeexcellence.org/mexico-2019/> (December 2023).
- Alliance for Coffee Excellence (2021) México 2021. Alliance for Coffee Excellence. Portland, Oregon, USA. <https://allianceforcoffeexcellence.org/mexico-2021/> (December 2023).
- Cambardella C. A., T. B. Moorman, J. M. Novak, T. B. Parkin, D. L. Karlen, R. F. Turco and A. E. Konopka (1994) Field-scale variability of soil properties in Central Iowa Soils. *Soil Science Society of America Journal* 58:1501-1511, <https://doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800050033x>
- Dagnino S. J. (2014) Correlación. *Revista Chilena de Anestesia* 43:150-153, <https://doi.org/10.25237/revchilanstv43n02.15>
- Esquivel H. V. y Y. Jasso G. (2014) Distribución espacial y mapeo de gusano soldado en seis localidades del Estado de México, en el año 2011. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5:923-935, <https://doi.org/10.29312/remexca.v5i6.879>
- Fernandes F. L., M. C. Picanço, M. E. S. Fernandes, R. B. Queiroz, V. M. Xavier and H. E. P. Martinez (2012) The effects of nutrients and secondary compounds of *Coffea arabica* on the behavior and development of *Coccus viridis*. *Environmental Entomology* 41:333-341, <https://doi.org/10.1603/EN11003>
- Gallardo A. (2006) Geoestadística. *Ecosistemas* 15:48-58.
- Gutiérrez-López A., A. I. Ramírez, T. Lebel, O. Santillán y C. Fuentes (2011) El variograma y el correlograma, dos estimadores de la variabilidad de mediciones hidrológicas. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia* 59:193-202.
- Jackson D., J. Skillman and J. Vandermeer (2012) Indirect biological control of the coffee leaf rust, *Hemileia vastatrix*, by the entomogenous fungus *Lecanicillium lecanii* in a complex coffee agroecosystem. *Biological Control* 61:89-97, <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2012.01.004>
- Lalinde D. H., F. E. Castro, J. E. Rodríguez, G. C. Rangel, A. T. Sierra, K. A. Torrado y J. B. Pirela (2018) Sobre el uso adecuado del coeficiente de correlación de Pearson: definición, propiedades y suposiciones. *Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica*, 37:587-595.
- Lara D. A. V., J. F. Ramírez D., M. Rubí A., J. Campos A., F. I. Maldonado Z. y R. Rivera M. (2019) Modelización espacial de *Oligonychus perseae* (Tuttle, Baker y Abbatiello) mediante técnicas geoestadísticas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 10:1405-1416, <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i6.1951>
- Maldonado Z. F. I., J. F. Ramírez D., M. Rubí A., X. Antonio N. y A. V. Lara D. (2017) Distribución espacial de trips en aguacate en Coatepec Harinas, Estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 7:845-856, <https://doi.org/10.29312/remexca.v7i4.259>
- Moral G. F. J. (2004) Aplicación de la geoestadística en las ciencias

- ambientales. *Ecosistemas* 13:78-86.
- Paz R. y N. Arrieche (2017) Distribución espacial de *Thrips tabaci* (Lindeman) 1888 (Thysanoptera: Thripidae) en Quibor, Estado Lara, Venezuela. *Bioagro* 29:123-128.
- Pino-Miranda E., J. F. Ramírez-Dávila, R. Serrato-Cuevas, J. Mejía-Carranza and A. Tapia-Rodríguez (2022) Spatial and temporal distribution of ojo de gallo (*Mycena citricolor*) in coffee plantations of the State of Mexico. *Revista Mexicana de Fitopatología* 40:433-446, <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.2204-2>
- Ramírez D. J. F. y E. Porcayo C. (2010) Estudio comparativo de la distribución espacial del muérdago enano (*Arceuthobium* sp.) en la ladera norte del Parque Nacional Nevado de Toluca, México. *Bosque (Valdivia)* 31:28-38, <https://doi.org/10.4067/S0717-92002010000100004>
- SAGARPA, Secretaría de Agricultura Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (2017) Planeación Agrícola Nacional 2017-2030. Secretaría de Agricultura Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Ciudad de México, México. 62 p.
- Samper C. F. J. y J. Carrera R. (1996) Geoestadística: Aplicaciones a la Hidrología Subterránea. Segunda edición. Centro Internacional de Métodos en Ingeniería. Barcelona, España. 484 p.
- SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2022). Escenario mensual de productos agroalimentarios: Café cereza. Dirección de Análisis Estratégico, Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Ciudad de México, México. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/732617/Caf\\_Mayo.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/732617/Caf_Mayo.pdf). (Marzo 2022).
- Tapia R. A., J. F. Ramírez D., M. L. Salgado S., Á. Castañeda V., F. I. Maldonado Z. y A. V. Lara D. (2020) Distribución espacial de antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides* Penz) en aguacate en el Estado de México, México. *Revista Argentina de Microbiología* 52:72-81, <https://doi.org/10.1016/j.ram.2019.07.004>