

Comparación de la distribución espacial de Minador de la Hoja (*Leucoptera Coffeella*) en cafetales del Estado de México

Alejandra Barrera-Rojas¹
José Francisco Ramírez Dávila²
Martín Rubí Arriaga²
Delfina de Jesús Pérez López²

Introducción

El café es un cultivo básico y tradicional, con años de encontrarse en la agricultura nacional, en México es una de las bebidas más populares cuya producción en el país es tan extensa que actualmente ocupa el onceavo lugar en producción a nivel mundial y el primero en productor mundial de café orgánico. El producir café es una manera generosa de generar empleos de manera directa o indirecta, cabe recalcar que no solamente es un cultivo de gran trascendencia, ya que este se ha convertido en el cultivo acorde para el desarrollo de programas de apoyo al sector cafetalero; sino que cultural y ecológico ya que por sus plantaciones bajo sombra principalmente nos ayuda a conservar el medio ambiente.

México es un gran productor de café de buena calidad gracias a la altura, clima, topografía, suelo y a las variedades producidas; donde la especie “Arábica” es la que principalmente se produce, utilizando la mayoría de sus variedades como lo son Bourbon, Caturra, Maragogipe, Mundo Nuevo, Garnica y Typica; siendo esta última la más destacada, sin embargo, hoy en día se están comenzando a utilizar variedades de porte bajo y con mayor producción como lo es Catimor y Catai; variedades que gozan de más calidad, volumen producido, rendimiento, aroma, acidez y algo muy importante, resistentes a plagas y enfermedades.

¹ Estudiante del Programa de Maestría en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales. Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México. Campus Universitario “El Cerrillo”, El Cerrillo, Piedras Blancas. Toluca, Estado de México. Carretera Federal: Toluca-Ixtlahuaca Km. 115. CP. 50200. Tel. 7222965529. E-mail: abarrerar002@alumno.uaemex

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

Una de las plagas de mayor importancia es el llamado minador de la hoja, se trata de un insecto de la familia *Lyonetiidae* del género *Leucoptera* y especie *coffeella* considerado una plaga de época seca, en la cual la larva del minador se alimenta de la hoja, causando daños a la planta. La hembra coloca huevecillos fértiles sobre el haz de la hoja de la planta de café, de forma unitarios, cuando se observan varios huevos juntos significa que varias hembras ovopositaron allí. Si la larva no emerge en un lapso de 6 a 7 días indica que esta está alimentándose dentro, lo que realizara por 15 días generando minas en las hojas. Posteriormente, está larva sale de las minas y se dirige a pupar para desarrollarse posteriormente en adulto. Su ciclo de vida integro llega a ser de 26 -29 días (Minador de la hoja – Información – Panorama AGROPECUARIO, s/f). Si se presentan altas incidencias, esta plaga puede provocar defoliaciones, lo que ocasiona afectaciones en los procesos de floración y cuajado del fruto.

El manejo de la plaga debe realizarse de una manera integral, utilizando estrategias de muestreo, un control cultural, biológico, natural y químico, siendo este aspecto de relevancia, teniendo en cuenta el desembolso que los productores generan realizando esta actividad. En la implementación de un buen programa de manejo integrado para minador de la hoja, tendría que ser determinante conocer el comportamiento poblacional de este y a su vez determinar la forma en que oscila en el tiempo. Para este aspecto concreto la aplicación de la geoestadística resulta ser una herramienta eficaz y pertinente, que puede ser de gran ayuda para el control de esta plaga.

La Geoestadística es considerada una rama de la estadística aplicada que se caracteriza por el análisis y la modelización de variables espaciales en ciencias de la tierra. Donde su principal estudio hoy en día se considera el análisis y la predicción de manifestaciones en el tiempo y/o espacio. Donde en oposición con la estadística clásica o convencional, los valores no se consideran independientes, es decir, existe una relación o dependencia espacial que nos dice que los valores están correlacionados; esta herramienta nos permite analizar la distribución espacial de poblaciones de insectos y así conocer su comportamiento en el espacio y en el tiempo para poder establecer un control adecuado.

El presente trabajo tiene como finalidad hacer la comparación de la distribución espacial de minador de la hoja (*Leucoptera coffeella*) en tres municipios productores de café en el estado de México, para tal efecto se modelizó la distribución espacial de las poblaciones de minador mediante la utilización de técnicas geoestadísticas y así realizar una

respectiva comparación. También se realizaron mapas de distribución espacial de las poblaciones de minador mediante la técnica del krigado ordinario y así se determinó el porcentaje de infestación de la plaga.

Materiales y métodos

El presente trabajo se llevó a cabo en municipios productores de café del estado de México abarcando Amatepec con altitud de 1813 metros, Temascaltepec con 2,200 metros y Sultepec con 2,314 metros sobre el nivel del mar, así como con temperaturas de entre 5 y 24° C y una precipitación media de 2,446 mm. Donde se muestrearon dos parcelas de media hectárea cada una, por municipio, considerando 200 arbustos (puntos de muestreo) distribuidos aleatoriamente en la parcela, cada arbusto seleccionado se etiqueto con una banda plástica de color rojo y se georreferencio mediante un sistema de posicionamiento DGPS (modelo SPS 351, Trimble) para establecer sus coordenadas geográficas. Se realizaron los muestreos cada catorcena para tener un total de 12 muestreos por parcela, por municipio. Para contabilizar el número de minadores se contaron la cantidad de hojas minadas en cuatro ramas (cada una por punto cardinal) de cada estrato del arbusto.

Obtenidos los datos de muestreo se realizó la comprobación de la normalidad de los datos con el objeto de poder cubrir este requisito importante para utilizar las técnicas geoestadísticas y de esta forma conocer el comportamiento espacial del insecto plaga y su daño el cual fue medido en cuanto al número de minas que presentaban las hojas. Para el estudio se consideraron las variables climáticas (temperatura, humedad, velocidad del viento y precipitación) en cada una de las parcelas seleccionadas, consultando estaciones meteorológicas cercanas.

El análisis geoestadístico comprende tres pasos principales (Isaaks y Srivastava, 1989). los cuales son:

1) La estimación del semivariograma. Esta se estimó con base a los datos obtenidos en cada uno de los muestreos, donde el valor experimental del semivariograma se estimó con la expresión (Moral García, 2004).

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

donde: $\gamma^*(h)$ es el valor experimental del semivariograma para el intervalo de distancia h ; $N(h)$ es el número de pares de puntos muestrales separados por el intervalo de distancia h ; $z(x_i)$ es el valor de la variable

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

En la realización del semivariograma experimental a cada muestreo de las zonas experimentales se empleó el programa Variowin 2.2 (Software for Spatial Data Analysis in 2D. Spring Verlag, New York, USA.)

2) La estimación de los parámetros del modelo de semivariograma. Obtenidos los semivariogramas experimentales en el muestreo de las poblaciones de minador de la hoja, se ajustaron a algún modelo teórico; los cuales no son más que funciones con una expresión analítica sencilla que se emplea para representar semivariogramas reales.

Los modelos teóricos más comunes y a los cuales se deberán ajustar los semivariogramas experimentales realizados son modelo esférico, modelo exponencial, modelo gaussiano, modelo logarítmico, modelo efecto pepita puro, modelo efecto agujero, modelo monómico (Sciarretta *et al.*, 2001); utilizando el programa Variowin versión 2.2 (Tapia Rodríguez *et al.*, 2020).

Ajustados los semivariogramas a alguno de los modelos mencionados fue necesario llevar a cabo la validación, la cual se llevó a cabo con el método de validación cruzada (Isaaks y Srivastava, 1989), a través de este procedimiento no paramétrico se elimina el valor muestral y se utiliza el método de interpolación geoestadístico llamado krigeado a la par con el modelo de semivariograma a validar, para poder calcular el valor de la variable de interés según el punto muestral a partir de los valores muestrales restantes. Esta sucesión se realizó continuamente en todos los sitios muestreados y la disimilitud entre los valores experimentales y los valores estimados se obtienen a través de los llamados estadísticos de validación cruzada (Hevesi *et al.*, 1992). Donde los parámetros a validar (C_0 , efecto pepita, C , meseta y a , rango o alcance) se modificaron con método de prueba error hasta lograr tener los estadísticos de validación cruzada adecuados (Maldonado Zamora *et al.*, 2017). Donde los estadísticos son los siguientes:

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

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

donde $z^*(x_i)$ es el valor estimado de la variable de interés en el punto x_i ; $z(x_i)$ es el valor medido de la variable de interés en el punto x_i y n es el número de puntos muestrales utilizado en la interpolación. La MEE no debe ser significativamente distinta de 0 (Prueba de t), en cuyo caso,

indica que le modelo de semivariograma permite el cálculo de estimadores no sesgados.

2) Error cuadrático medio (ECM):

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

Un modelo de semivariograma se considera adecuado si, como regla práctica, el ECM es menor que la varianza de los valores muestrales (Hevesi *et al.*, 1992).

3) Error cuadrático medio adimensional (ECMA):

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

La validez del modelo se cumple si el ECMA se encuentra entre los valores $1 \pm 2(2/N)^{0.5}$. Igualmente se debe cumplir que la varianza de los errores debe ser menor o igual que la varianza muestral (Samper y Carrera, 1996).

Validados los modelos se llevará a cabo una regresión simple entre número de minador de hoja de cada parcela y su respectivo valor del efecto pepita, para comprobar si hay o no una relación significativa.

Nivel de Dependencia Espacial

Para percibir el grado de relación que existe entre los datos o nivel de dependencia espacial se llevó a cabo la división del efecto pepita entre la meseta y el resultado obtenido se presenta en porcentaje. Donde si el resultado es menor a 25% el nivel de dependencia espacial es alta, si resultara entre 26% y 75% el nivel de dependencia sería moderado y si fuera mayor a 76% el nivel de dependencia estará bajo, según Sayad *et al.* (2017).

La Estimación de la Superficie (mapas) Utilizando el Krigeado

Obtenidos los modelos de semivariogramas ya validados se empleó el método geoestadístico llamado krigeado, que es un estimador exacto y sus ecuaciones no dependen de los valores medidos de las variables, sino solamente de sus posiciones y del semivariograma; a través de este método se elaboraron los mapas de densidad para las poblaciones de minador de la hoja de cada una de las parcelas y fechas de muestreo. El

krigeado es el método de interpolación que permite la estima no sesgada de puntos que no fueron muestreados.

El objetivo de este método es generar una estimación $Z^*(x)$, de $Z(x)$, como una mezcla lineal de valores medidos Z_i en los puntos de observación X_i . Así como también obtener la varianza del error de estimación. Lo que da origen a un sistema lineal de ecuaciones que se conoce como ecuaciones de krigado. Según menciona Trematerra *et al.* (2004) existen varios tipos de krigado que se basan en distintas hipótesis. En el presente trabajo se utilizará el krigado ordinario para obtener las estimaciones correspondientes, utilizando el software Surfer 16.0 (programa de interpolación) para la elaboración de los mapas de infestación.

Superficie Infestada

A través de estos mapas se continuo con el cálculo de la superficie infestada en cada muestreo y parcela, procedimiento que nos sirvió para conocer si la infestación se presenta en toda el área de estudio o no y así posteriormente realizar programas de manejo adecuados. Así como realizar un análisis de los gastos en cuanto a las aplicaciones dirigidas a el control de minador de la hoja, lo que nos permitió conocer el ahorro económico que se tendría con aplicaciones dirigidas a solo las zonas infestadas, demostrando que se puede tener un ahorro económico y de producto en cada una de las aplicaciones generadas; y esto si se manejara a nivel región generaría un beneficio en el cuidado del medio ambiente.

Ahorro Económico

Para este apartado, ya conocido el porcentaje de infestación de la plaga en cada mapa, se realizó un cálculo en el costo de una aplicación normal como es que la manejan los productores y de esta manera con el porcentaje de infestación se calculó el costo de una aplicación dirigida a solo las zonas infestadas, la diferencia entre ambos valores nos indicó el valor del ahorro económico obtenido mediante esta técnica aplicada.

Resultados y discusión

En el presente trabajo con la información recabada en cada uno de los muestreos catorceanales que se realizaron fue posible determinar la presencia de *Leucoptera coffeella* en los 12 muestreos realizados, en cada una de las seis parcelas de los tres municipios, donde en el pri-

mer muestreo del mes de septiembre de cada parcelas, se tuvo la mayor población de minador de la hoja; comenzando por la parcela de Amatepec, teniendo 11.8 individuos por arbusto, seguida por una segunda también de este municipio con 11.35 individuos (Tabla 1); posterior a este municipio se encuentra Sultepec y finalmente Temascaltepec con el menor número de individuos por arbusto. Siendo la época seca cuando más se llega a desarrollar esta plaga, ya que es a los cambios de temperatura a los que se le atribuye este incremento por que el minador de la hoja es una especie que prevalece en periodos de verano y durante fenómenos meteorológicos. Incluso se menciona que si la temperatura llega a aumentar un grado se obtiene una generación adicional al año (Constantino *et al.*, 2011)

Los modelos a los que se ajustaron los semivariogramas fueron en su mayoría esféricos el cual nos indica que la plaga tiene un comportamiento más estable con focos de infestación bien establecidos, solo para el mes de febrero en Amatepec y Sultepec se presentó el modelo gaussiano que hace referencia a la continuidad de la plaga (Tabla 1).

Los semivariogramas se ajustaron a los modelos esférico y gaussiano, de lo que se concluye que las parcelas que los modelos fueron esféricos nos indican que de las poblaciones de minador de la hoja se presentaron en mayor cantidad en zonas específicas de la parcela que el remanente de los puntos considerados en el muestreo, es decir, los centros de agregación son aleatorios, estando dentro de la zona infestada, ocasionado por las condiciones ambientales. Tapia Rodríguez *et al.* (2020) en su estudio de antracnosis en aguacate, mencionan que los modelos esféricos tienen una dependencia espacial alta; indicando que dentro de los huertos de estudio hay zonas donde hay mayor infección de antracnosis, y esto posiblemente a las condiciones agronómicas y del ambiente.

Para el caso de los modelos gaussianos, nos indican que el comportamiento de la agregación de minador de la hoja se presenta de manera continua en las parcelas, ya que la infestación de este insecto con relación a su avance es entre los arbustos vecinos, lo que nos indica que podría ser hoja por hoja ya que el arbusto presenta las condiciones para su desarrollo. También Quiñones Valdez *et al.*, 2020 en su estudio de distribución de *Trips*, describieron que la presencia de *trips* se ajusta a modelos gaussianos, ya que el comportamiento del insecto se expresa de forma continua en las plantaciones de gladiolo.

Tabla 1. Parámetros efecto pepita, meseta y rango, así como modelos ajustados a los semi-variogramas de minador de la hoja en tres municipios del estado de México

Parcela 1. Temascaltepec

Muestreo	Media	Modelo	Pepita	Meseta	Rango	Dependencia espacial
Septiembre 1	3.910	Esférico	0	15.92	9.6	Alta
Septiembre 2	3.264	Esférico	0	13.85	5.6	Alta
Octubre 1	3.162	Esférico	0	13.38	9	Alta
Octubre 2	3.175	Esférico	0	13.23	10.2	Alta
Noviembre 1	2.979	Esférico	0	12.15	11.4	Alta
Noviembre 2	2.544	Esférico	0	10.2	6.4	Alta
Diciembre 1	2.328	Esférico	0	9.22	8.4	Alta
Diciembre 2	2.230	Esférico	0	8.16	10.2	Alta
Enero 1	1.891	Esférico	0	9.17	9	Alta
Enero 2	1.919	Esférico	0	6.39	6.4	Alta
Febrero 1	1.610	Esférico	0	5.29	6.4	Alta
Febrero 2	1.498	Esférico	0	4.93	6	Alta
	2.5425					

Tabla 1. Continuación. Parcela 2. Temascaltepec

Muestreo	Media	Modelo	Pepita	Meseta	Rango	Dependencia espacial
Septiembre 1	3.875	Esférico	0	13.35	9.6	Alta
Septiembre 2	3.574	Esférico	0	12.25	8.4	Alta
Octubre 1	3.310	Esférico	0	11.27	9	Alta
Octubre 2	2.992	Esférico	0	8.49	9	Alta
Noviembre 1	2.787	Esférico	0	9.06	9	Alta
Noviembre 2	2.660	Esférico	0	8.45	8.4	Alta
Diciembre 1	2.487	Esférico	0	8.23	8.4	Alta
Diciembre 2	2.318	Esférico	0	7.30	9.6	Alta
Enero 1	2.166	Esférico	0	6.65	9	Alta
Enero 2	1.849	Esférico	0	5.87	8.4	Alta
Febrero 1	1.710	Esférico	0	5.18	7.8	Alta
Febrero 2	1.566	Esférico	0	5.02	8.4	Alta
	2.60783333					

Tabla 1. Continuación. Parcela 1. Amatepec

Muestreo	Media	Modelo	Pepita	Meseta	Rango	Dependencia espacial
Septiembre 1	12.374	Esférico	0	72.49	5.6	Alta
Septiembre 2	12.390	Esférico	0	70.81	6	Alta
Octubre 1	12.231	Esférico	0	68.59	5.6	Alta
Octubre 2	12.139	Esférico	0	62.83	8.4	Alta
Noviembre 1	12.060	Esférico	0	61.77	9	Alta
Noviembre 2	11.890	Esférico	0	60.30	9	Alta
Diciembre1	11.725	Esférico	0	58.42	7.8	Alta
Diciembre2	11.617	Esférico	0	58.56	7.2	Alta
Enero 1	11.498	Esférico	0	56.23	6	Alta
Enero 2	11.352	Esférico	0	56.21	5.6	Alta
Febrero 1	11.267	Gauss	0	50.96	6.24	Alta
Febrero 2	11.142	Esférico	0	49.05	7.2	Alta
	11.80708					

Tabla 1. Continuación. Parcela 2. Amatepec

Muestreo	Media	Modelo	Pepita	Meseta	Rango	Dependencia espacial
Septiembre 1	12.660	Esférico	0	56.60	9.6	Alta
Septiembre 2	12.365	Esférico	0	51.14	6	Alta
Octubre 1	12.095	Esférico	0	53.32	9	Alta
Octubre 2	11.952	Esférico	0	51.60	9	Alta
Noviembre 1	11.761	Esférico	0	48.18	9.6	Alta
Noviembre 2	11.482	Esférico	0	43.75	6.4	Alta
Diciembre1	11.230	Esférico	0	44.23	9.6	Alta
Diciembre2	10.942	Esférico	0	41.64	10.8	Alta
Enero 1	10.807	Esférico	0	41.43	9.6	Alta
Enero 2	10.452	Esférico	0	38.93	10.2	Alta
Febrero 1	10.329	Esférico	0	36.61	10.6	Alta
Febrero 2	10.180	Esférico	0	33.32	9.6	Alta
	11.35458					

Tabla 1. Continuación. Parcela 1. Sultepec

Muestreo	Media	Modelo	Pepita	Meseta	Rango	Dependencia espacial
Septiembre 1	5.488	Esférico	0	30.66	9	Alta
Septiembre 2	5.439	Esférico	0	28.711	6	Alta
Octubre 1	5.384	Esférico	0	26.97	9.59	Alta
Octubre 2	5.297	Esférico	0	25.845	9.6	Alta
Noviembre 1	5.281	Esférico	0	23.800	9.6	Alta
Noviembre 2	5.217	Esférico	0	22.523	9.6	Alta
Diciembre 1	4.866	Esférico	0	18.189	9.6	Alta
Diciembre 2	4.446	Esférico	0	17.041	5.76	Alta
Enero 1	4.315	Esférico	0	18.173	9.6	Alta
Enero 2	3.902	Esférico	0	14.203	10.2	Alta
Febrero 1	3.688	Esférico	0	19.675	6.48	Alta
Febrero 2	3.133	Gauss	0	12.310	5.4	Alta
4.70466667						

Tabla 1. Continuación. Parcela 2. Sultepec

Muestreo	Media	Modelo	Pepita	Meseta	Rango	Dependencia espacial
Septiembre 1	5.672	Esférico	0	19.55	7.2	Alta
Septiembre 2	5.307	Esférico	0	18.92	10.2	Alta
Octubre 1	4.925	Esférico	0	17.34	11.4	Alta
Octubre 2	4.698	Esférico	0	16.73	10.2	Alta
Noviembre 1	4.465	Esférico	0	16.10	10.2	Alta
Noviembre 2	4.267	Esférico	0	14.267	10.2	Alta
Diciembre 1	3.900	Esférico	0	12.64	10.2	Alta
Diciembre 2	3.487	Esférico	0	11.86	10.2	Alta
Enero 1	3.138	Esférico	0	11.13	9.44	Alta
Enero 2	2.832	Esférico	0	10.36	11.4	Alta
Febrero 1	2.756	Esférico	0	9.56	10.2	Alta
Febrero 2	2.339	Esférico	0	8.20	10.8	Alta
3.98216667						

Los modelos esféricos y gaussianos a los que se ajustaron los semi-variogramas nos indican que *Leucoptera coffeella* no tiene un comportamiento espacial definido, encontrándose en movimiento según las condiciones climáticas principalmente.

Se observa que en todas las fechas de muestreo se encontró un nivel de dependencia espacial alta, lo que nos indica que existe una fuerte relación espacial entre los datos obtenidos en los muestreos, lo que sugiere que los agrupamientos encontrados son estables en el tiempo (Tapia Rodríguez *et al.*, 2020).

Para el nivel de dependencia espacial que resulto ser alto, por la división del valor del efecto pepita entre el valor de la meseta, en donde el resultado obtenido es 25% para todos los semi-variogramas. Por lo que los valores del efecto pepita indicaron una alta dependencia espacial, lo cual permite suponer que las poblaciones de minador de la hoja dependen entre sí y su nivel de agregación es alto (Solares *et al.*, 2011).

Para el efecto pepita el resultado siempre fue cero en todas las fechas de muestreo lo que nos indica que el error de muestreo fue mínimo y la escala que se utilizo fue la adecuada, así como lo menciona Lara-Vázquez *et al.* (2018) en el análisis espacial de las poblaciones de araña roja en el cultivo de aguacate.

Los rangos de los muestreos para el municipio de Temascaltepec fluctuaron entre 5.6 para el muestreo de “septiembre 2” y 11.4 en el muestreo de “Noviembre 1” para la parcela 1 mientras que para la parcela 2 los rangos fueron de 5.02 para “febrero 2” a 9.6 en los meses de “septiembre 1” y “diciembre 2”.

Para el caso de Amatepec los rangos oscilaron entre 5.6 para los muestreos de “septiembre 1”, “octubre 1” y “enero 2”, a 9 en los muestreos de “noviembre 1 y 2” estos datos para la parcela de 1, mientras que para parcela 2 se presentó más la variación en los rangos, mostrando en todos los muestreos un rango diferente, y oscilando para esta parcela rangos de 6.4 en “noviembre 2” a 10.8 en “diciembre 2”.

En el municipio de Sultepec, los rangos oscilaron entre 5.4 para el mes de “febrero 2” a 10.8 para “enero 2” en la parcela 1, mientras que para la parcela 2 los rangos fueron de 7.2 en el mes de “septiembre 1” a 11.4 en “octubre 1”. El conocer el valor del rango nos ayuda a expresar la validez de los modelos ajustados, se extiende a distancias razonables en cuanto a la explicación del fenómeno de agregación de las poblaciones del insecto.

Una herramienta más, que resulta ser elemental para el análisis espacial de plagas, es la creación de mapas de densidad (Figuras 1, 2, 3,);

para lo que en el presente estudio los mapas de infestación nos indican de una manera más visual, cual fue el comportamiento del minador de la hoja en las zonas de estudio, donde en todos los mapas pudimos observar centros de agregación, los cuales también nos sirven para corroborar los modelos de los semivariogramas a los que se ajustaron los muestreos.

Para la superficie infestada de las parcelas (Tabla 2), se calculó con apoyo de los mapas de infestación (Figuras 1, 2, 3), herramienta que nos sirvió para conocer el porcentaje en nivel de infestación de minador de la hoja dentro de las parcelas, donde pudimos observar que en ninguna de las parcelas seleccionadas de los tres municipios se presenta minador de la hoja con infestaciones del 100%, destacando las parcelas de Sultepec por ser el municipio con el mayor porcentaje de infestación siendo este 86%, seguido por Sultepec con 79% y, finalmente, Amatepec con un 68%. Algo que no se debe de confundir es el porcentaje de infestación con el número de insectos por parcela ya que se pueden llegar a encontrar niveles de infestación grandes, pero tener una fluctuación poblacional baja, resaltando que el nivel de infestación solo se refiere a la presencia del insecto dentro de la parcela y o a su nivel poblacional, tal como lo menciona Higuera y García (2014) con la distribución de *trips* en tomate de cascara.

En cuanto al comportamiento espacial que presento este insecto se puede observar en los mapas que se realizaron con la técnica del krigeado, ya que nos permite visibilizar las áreas infestadas y las libres; por lo que en los mapas nos expresan que *Leucoptera coffeella* no se presenta al 100% en las superficies de las parcelas muestreadas. Lo anterior corresponde con Lara Vázquez *et al.* (2018) quienes observaron que las poblaciones de araña roja no presentan infestaciones del 100% en el cultivo de aguacate, indicando que se debe a diferentes factores del ambiente.

Es necesario que en el proceso agrícola se exploren diferentes opciones para manejar plagas en todos los cultivos, ya que resultaría de mayor utilidad y de importancia para el manejo equilibrado con el medio ambiente, como lo menciona Rivera (2016) donde dice que, si bien es cierto que hoy en día la agricultura no se alcanza en su punto máximo sin la utilización de agroquímicos, existen alternativas las cuales se pueden poner en marcha para generar un menor impacto en los ecosistemas.

Tabla 2. Valores de la superficie infestada y no infestada (%) extraídos de los muestreos de minador de la hoja en tres municipios del Estado de México

Muestreo	Temascaltepec						Amatepec						Sultepec	
	La Mina		La Cruz		Avelino 1		Avelino 2		Pedro		Luis Sánchez Flores		S.I. %	S.NO I. %
	S.I. %	S.NO I. %	S.I. %	S.NO I. %	S.I. %	S.NO I. %	S.I. %	S.NO I. %	S.I. %	S.NO I. %	S.I. %	S.NO I. %		
sep-01	86	14	66	34	64	36	68	32	77	23	79	21	79	21
sep-02	86	14	66	34	64	36	68	32	77	23	79	21	79	21
oct-01	85	15	64	36	63	37	67	33	76	24	78	22	78	22
oct-02	85	15	64	36	63	37	66	34	76	24	78	22	78	22
nov-01	84	16	64	36	62	38	66	34	75	25	76	24	76	24
nov-02	84	16	63	37	61	39	65	35	75	25	75	25	75	25
dic-01	84	16	63	37	61	39	65	35	75	25	75	25	75	25
dic-02	84	16	63	37	61	39	64	36	75	25	75	25	75	25
ene-01	84	16	62	38	60	40	63	37	75	25	74	26	74	26
ene-02	83	17	62	38	60	40	63	37	74	26	74	26	74	26
feb-01	83	17	64	36	60	40	63	37	74	26	74	26	74	26
feb-02	84	16	64	36	60	40	62	38	74	26	73	27	73	27

S.I.: Superficie Infestada S.NO I.: Superficie No Infestada

Figura 1. Mapas de densidad de las poblaciones de minador de la hoja en el municipio de Temascaltepec. Parcela 1

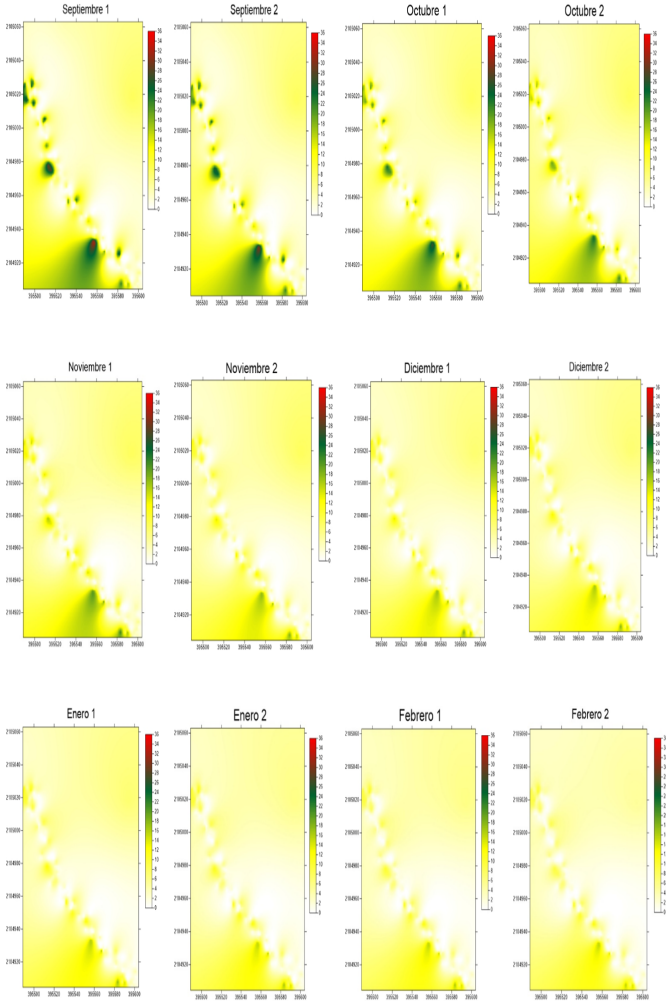


Figura 1. Continuación. Municipio. Temascaltepec. Parcela 2

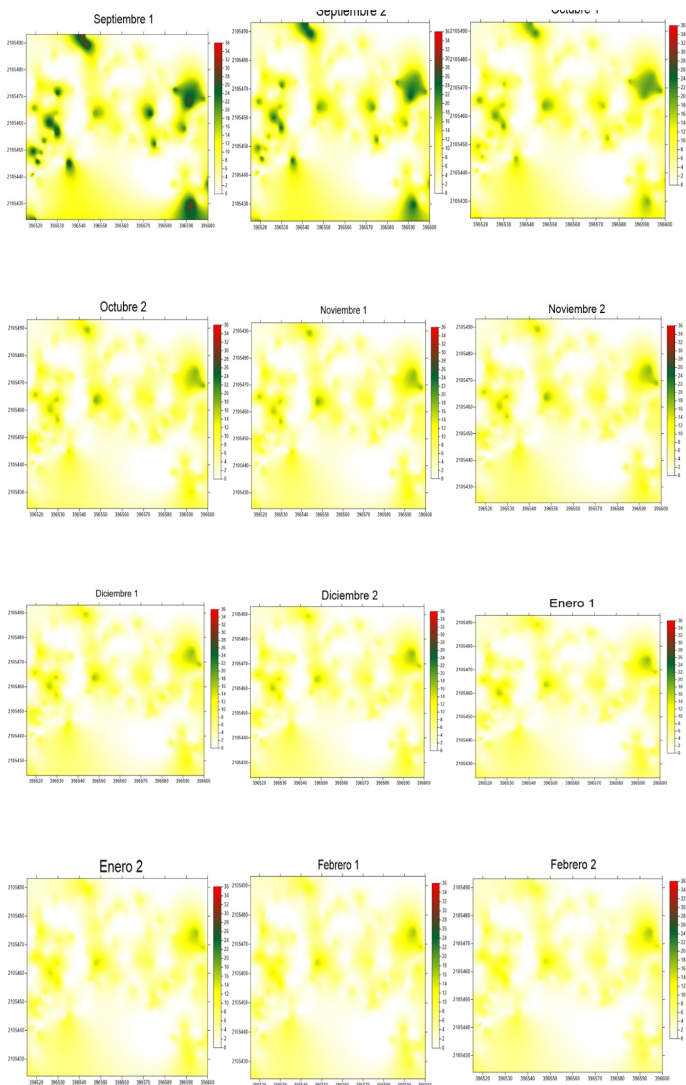


Figura 2. Mapas de densidad de las poblaciones de minador de la hoja en el municipio de Amatepec. Parcela 1

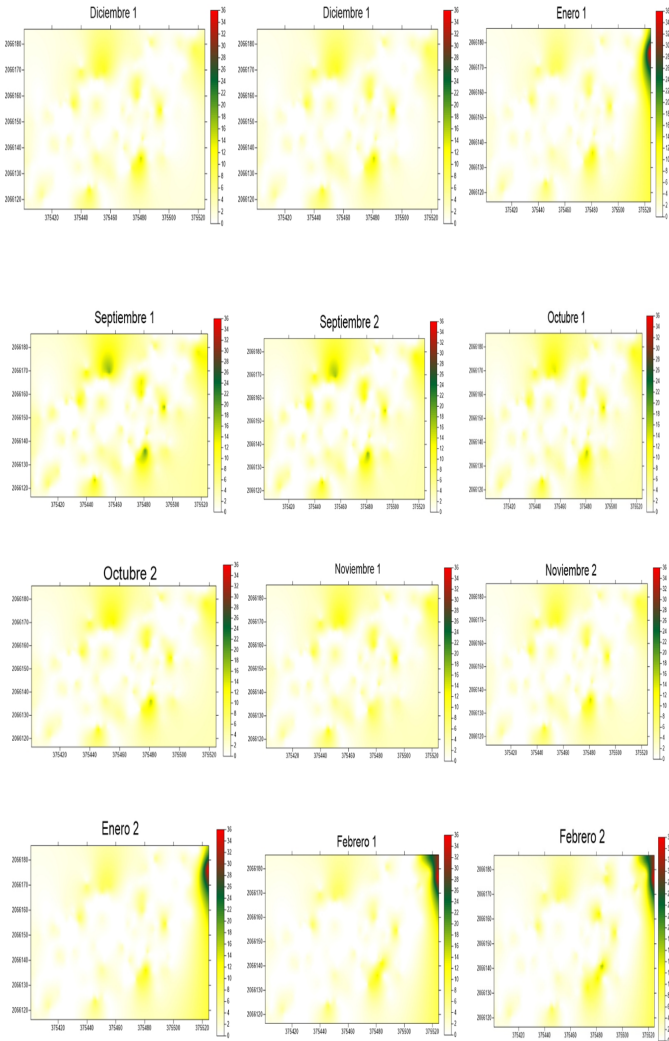


Figura 2. Continuación. Municipio de Amatepec. Parcela 2

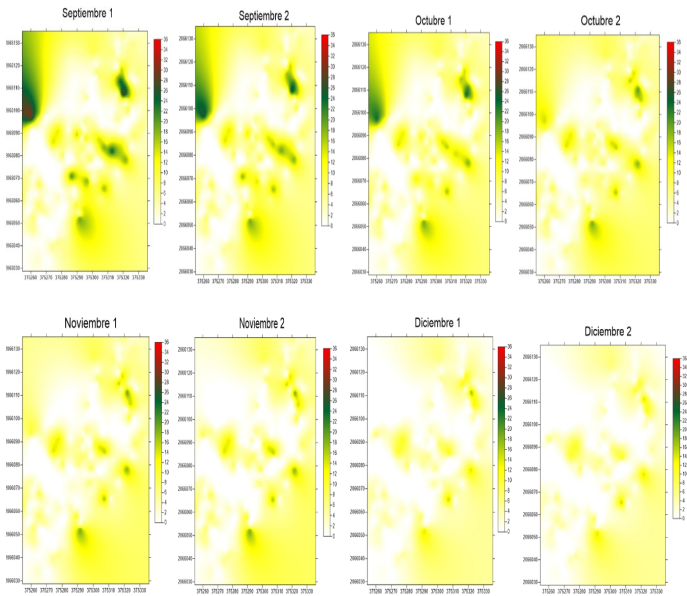


Figura 3. Mapas de densidad de las poblaciones de minador de la hoja en el municipio de Sultepec. Parcela 1

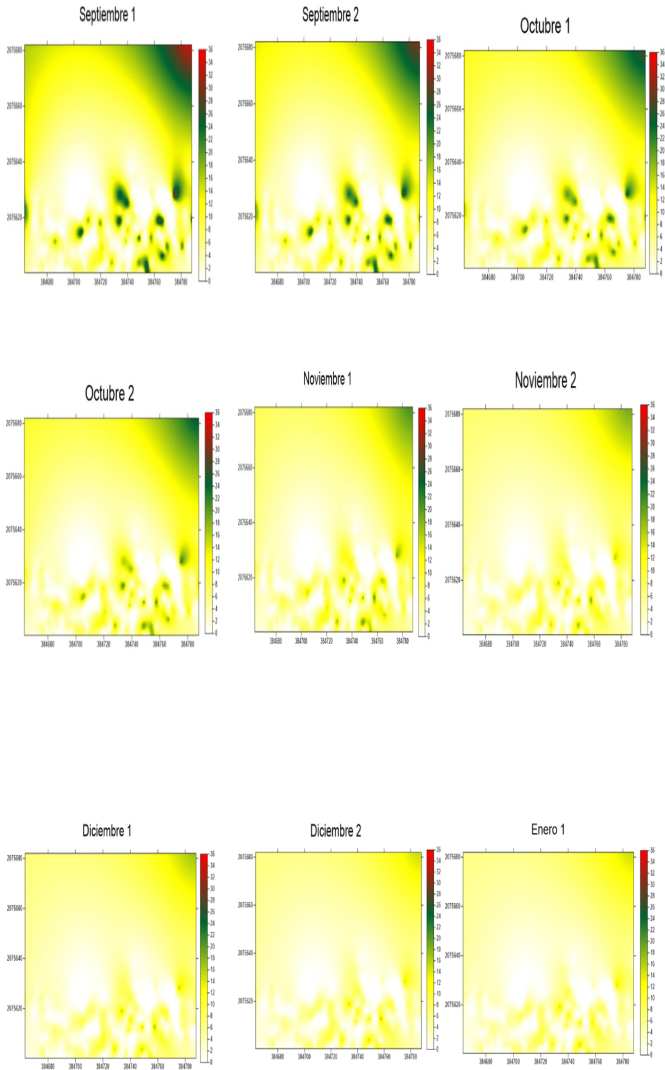


Figura 3. Continuación. Municipio de Sultepec. Parcela 1

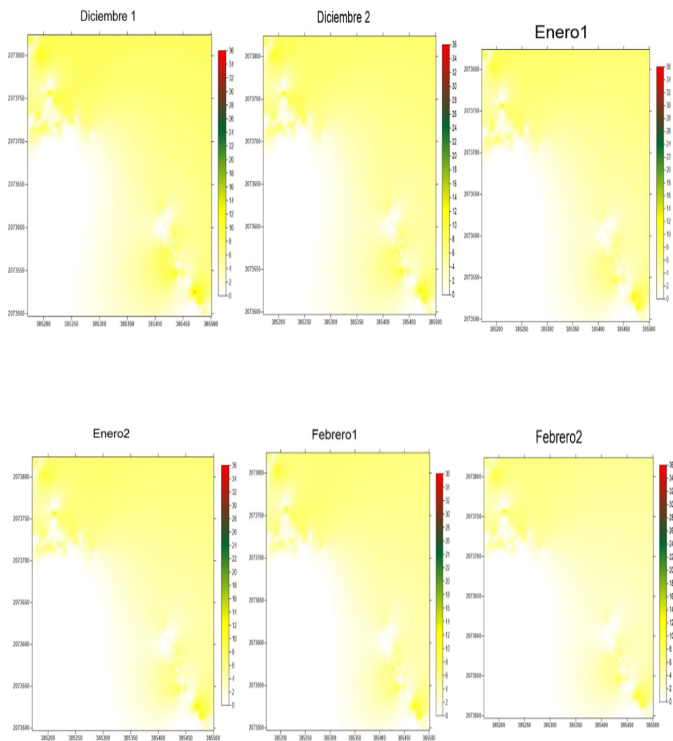


Figura 3. Continuación. Municipio de Sultepec. Parcela 1

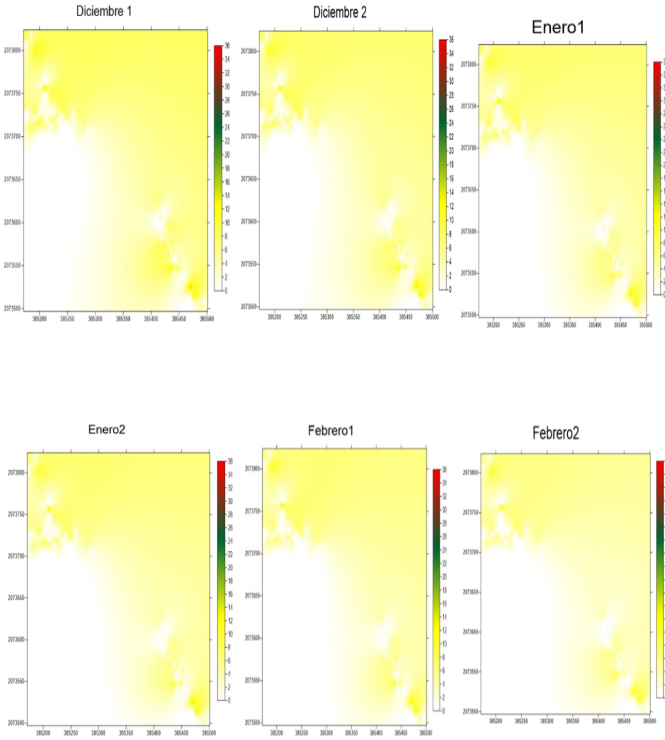
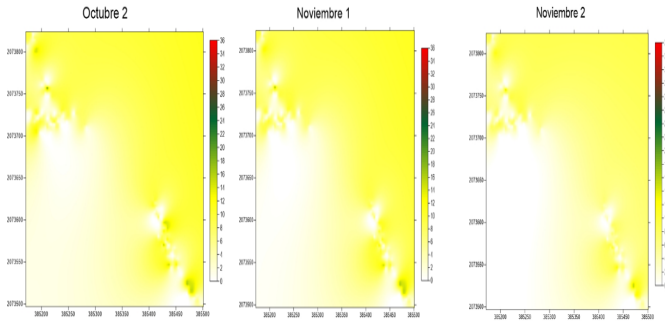


Figura 3. Continuación. Municipio de Sultepec. Parcela 2

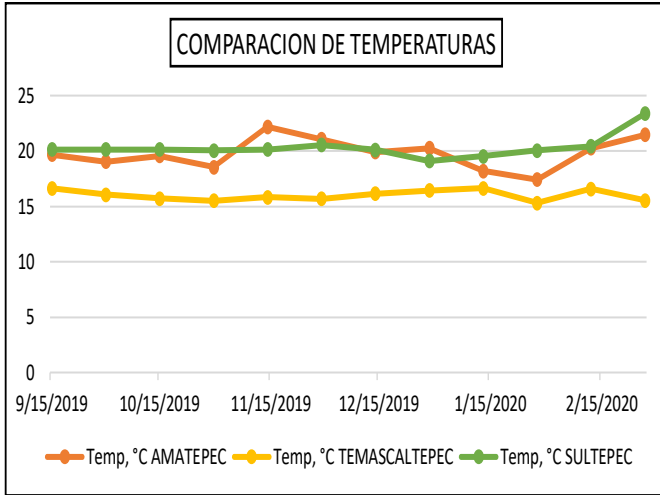


El objetivo de este trabajo fue comparar el comportamiento espacial de *Leucoptera coffeella* en tres municipios, lo cual ayudó a detectar que minador de la hoja muestra mayor presencia en los meses calurosos y secos (Septiembre, Octubre) y que para los meses más fríos el número de minador disminuye, pero se llega a mantener en el tiempo, tal como también lo mencionan Jarra *et al.* (2021) en la distribución de *Copturus aguacatae* en el cultivo de aguacate.

El poder moldear el comportamiento espacial de minador de la hoja en los cafetales mediante la geoestadística fue determinante, la cual nos permitió conocer que este insecto se encuentra de manera agregada en el cultivo. Jiménez C. *et al.* (2013) mencionan que estos métodos proporcionan una medida más directa de la dependencia espacial, ya que se toman en cuenta el origen bidimensional de la distribución a través de su específica localización espacial y es libre de la relación entre la media y la varianza. La geoestadística es una de las técnicas que resulta de gran utilidad para modelizar la distribución espacial tanto de plantas parásitas, insectos, ácaros y enfermedades (Maldonado *et al.*, 2017).

La oscilación de las poblaciones de minador de la hoja en cafetales se presentó durante todos los meses muestreados, siendo los meses calurosos donde se manifiesta el incremento de esta plaga, en el presente trabajo se presentaron las mayores densidades en diferentes meses según el promedio de las temperaturas de los municipios, para lo que en la Figura 4 se presentan los promedios por catorcena de los tres municipios muestreados, los cuales nos indican los meses en que se tuvo variación en temperatura; donde se observa que para los municipios de Amatepec y Sultepec se tuvieron temperaturas medias y altas a diferencia de Temascaltepec que estuvieron en un rango de 15 a 18 °C, aunque a lo contrario a esto se conoce que con el incremento de las temperaturas se tiene el aumento de poblaciones, nos que nos está indicando que es posible que algún otro factor climatológico sea el causante del incremento de las poblaciones de minador o que la presencia de maleza y cultivos cercanos sean el reservorio de minador de la hoja y cuando no se cuente con el alimento necesario en los arbustos migren a la maleza esto para el caso del municipio de Temascaltepec; como lo mencionan Esquivel Higuera y Jasso García (2014) con la distribución espacial y el mapeo de gusano soldado en el Estado de México, en el cultivo de maíz, el cual indica que se presentó una distribución agregada y se exhibió una estabilidad a corto plazo.

Figura 4. Gráfica de comparación de temperaturas de los tres municipios, según los muestreos



Sin embargo, en *Leptinotarsa decemlineata*, SayWeisz *et al.* (1996) mencionan que la movilidad innata de los insectos adultos en la estructura espacial debe ser considerada dinámica, es por eso que algunos otros factores pudieron ser los causantes del aumento o la disminución de minador de la hoja en los cafetales.

En cuanto al control de minador de la hoja los productores realizan aplicaciones homogéneas de productos químicos como lo es la abamectina y la ciromacina donde aplican dos veces por semestre, lo que genera un gasto a la producción, para lo que el si se hace uso de los mapas de infestación se podrían hacer aplicaciones dirigidas a solo las zonas de mayor infestación y de esta manera se tendría un ahorro económico y ambiental como se muestra en la Tabla 3. La Tabla anterior nos indica las dos aplicaciones realizadas en dos fechas importantes del ciclo del cultivo que son septiembre y octubre, donde el costo de la aplicación convencional llega a ser de 3,200 pesos por hectárea y la de precisión de 2,080 pesos por hectárea, y así podemos contrastar el ahorro en pesos por hectárea.

Tabla 3. Ahorro económico y de producto químico, según la superficie infestada

Parcela	Muestreo	Amatepec					
		Costo en agricultura de precisión (pesos/ha)		Ahorro (pesos/ha)	Cantidad de insecticida aplicado en agricultura de precisión (l/ha)		Ahorro en acaricida (l/ha)
		Convencional	Precisión		Convencional	Precisión	
Avelino 1	Sept 01-02	1600	1024	576	2.7	1.728	0.972
	Oct-03, 04	1600	1008	592	2.7	1.701	0.999
	Total	3200	2032	1168	5.4	3.429	1.971
Avelino 2	Sept 01-02	1600	1088	512	2.7	1.836	0.864
	Oct-03, 04	1600	1056	544	2.7	1.782	0.918
	Total	3200	2144	1056	5.4	3.618	1.782

Tabla 3. Continuación

Parcela	Muestreo	Sultepec					
		Costo en agricultura de precisión (pesos/ha)		Ahorro (pesos/ha)	Cantidad de insecticida aplicado en agricultura de precisión (l/ha)		Ahorro en acaricida (l/ha)
		Convencional	Precisión		Convencional	Precisión	
Pedro	Sept 01-02	1600	1232	368	2.7	2.079	0.621
	Oct 03-04	1600	1216	384	2.7	2.052	0.648
	Total	3200	2448	752	5.4	4.131	1.269
Luis Sánchez Flores	Sept 01-02	1600	1264	336	2.7	2.133	0.567
	Oct 03-04	1600	1248	352	2.7	2.106	0.594
	Total	3200	2512	688	5.4	4.239	1.161

Tabla 3. Continuación

Parcela	Muestreo	Temascaltepec					
		Costo en agricultura de precisión (pesos/ha)		Ahorro (pesos / ha)	Cantidad de insecticida aplicado en agricultura de precisión (l/ha)		Ahorro en acaricida (l/ha)
		Convencional	Precisión		Convencional	Precisión	
La Mina	Sept 01-02	1600	1376	224	2.7	2.322	0.378
	Oct 03-04	1600	1360	240	2.7	2.295	0.405
	Total	3200	2736	464	5.4	4.617	0.783
La Cruz	Sept 01-02	1600	1056	544	2.7	1.782	0.918
	Oct 03-04	1600	1024	576	2.7	1.728	0.972
	Total	3200	2080	1120	5.4	3.51	1.89

La segunda parte de la tabla nos muestra la cantidad de agroquímico que se aplica de las dos maneras, al igual muestra el ahorro en producto que se puede tener en los dos tipos de aplicaciones, esto para el caso de Temascaltepec pero se puede visualizar también en los otros dos municipios, lo cual nos indica que si se realiza de una manera más dirigida a las zonas afectadas se puede llegar a tener un ahorro económico y de agroquímicos, así como lo mencionan Quiñones Valdez *et al.* (2020) en el comportamiento de roya en el cultivo de gladiolo reconociendo que si se conoce la distribución espacial de plagas o enfermedades se pueden dirigir de mejor manera las medidas de control generando dos principales tipos de ahorros.

Con el uso de estas tecnologías podemos encaminar la cafecultura del Estado de México a una reducción del impacto ambiental, ya que con la aplicación de estas técnicas se podrá reducir el uso de productos químicos y por lo tanto se tendrán productos más inocuos logrando así una sustentabilidad en la actividad.

Conclusión

Como conclusión del presente trabajo se puede decir que la utilización de la Geoestadística resulta ser eficaz para establecer el comportamiento de las poblaciones de minador de la hoja en cafetales del Estado de México; así como mencionar que las poblaciones de minador de la hoja pueden llegar a presentar una estabilidad a corto plazo a través del tiempo, esto demostrado con los mapas realizados por la técnica del krigeado, que permitió lograr realizar mapas de infestación en los tres municipios para los 12 muestreos realizados. La temperatura resulta ser un factor influyente en el aumento de las poblaciones de minador de la hoja en los tres municipios del Estado de México. Y finalmente hay que mencionar que con las técnicas de precisión que se utilizaron en el presente trabajo se puede realizar programas de manejo integrado de minador de la hoja donde se pueda abarcar varias técnicas de control dentro de una misma unidad de producción.

Fuentes consultadas

Constantino, L. M., Flórez, J. C., Benavides, P., y Bacca, T. (2011). *Minador de las hojas del café Una plaga potencial por efectos del cambio climático*. CENICAFE. https://prod.senasica.gob.mx/SIRVEF/ContenidoPublico/Roya_cafeto/Fichas_tecnicas/Ficha_Técnica_de_Minador_de_la_hoja_del_cafeto.pdf

- Hevesi, J. A., Istok, J. D., y Flint, A. L. (1992). Estimación de precipitación en terreno montañoso mediante geoestadística multivariante. Parte I: Análisis Estructural. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 31, 661–676.
- Isaaks, E. H., y Srivastava, M. R. (1989). Applied geostatistics. *New York* : Oxford University Press, 0(0), 561.
- Maldonado, F. I., Ramirez, J. F., Lara, A. V., Acosta, D. A., Rivera, R., y Tapia Reyes, A. (2017). Mapeo de la distribución espacial de trips (Insecta: Thysanoptera) en parcelas comerciales de aguacate Var. Hass en Coatepec Harinas, Estado de México. *Ecosistemas*, 26(2), 52–60. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2017.26-2.06>
- Maldonado Zamora, F. I., Ramírez Dávila, J. F., Rubí Arriaga, M., Antonio Némiga, X., y Lara Díaz, A. V. (2017). Distribución espacial de trips en aguacate en Coatepec Harinas, Estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(4), 845. <https://doi.org/10.29312/remexca.v7i4.259>
- Minador de la hoja – Información – Panorama AGROPECUARIO (s/f). Recuperado el 4 de enero de 2021, de <https://panorama-agro.com/?p=1534>
- Moral García, F. J. (2004). Aplicación de la geoestadística en las ciencias ambientales. *Ecosistemas*, 13(0), 78–86.
- Quiñones Valdez, R., Sánchez Pale, J. R., Castañeda Vildozola, Á., Franco Mora, O., Johansen Naime, R., y Mejorada Gómez, E. (2020). Comportamiento espacial y temporal de Thrips simplex Morison (Thysanoptera: Thripidae) en la región norte del Estado de México. *ACTA ZOOLOGICA MEXICANA (N.S.)*, 36(1), 1–15. <https://doi.org/10.21829/AZM.2020.3611161>
- Samper, F. J., y Carrera, J. (1996). Geoestadística, aplicaciones a la hidrogeología. *Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería, España*, 484.
- Sayad, E., Boshkar, E., y Gholami, S. (2017). Different role of host and habitat features in determining spatial distribution of mistletoe infection. *Forest Ecology and Management*, 384, 323–330. <https://doi.org/10.1016/J.FORECO.2016.11.012>
- Sciarretta, A., Trematerra, P., y Baumgärtner, J. (2001). Geostatistical Analysis of *Cydia funebrana* (Lepidoptera: Tortricidae) Pheromone Trap Catches at Two Spatial Scales. *American Entomologist*, 47(0), 174–185.
- Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (2016). Manca de Hierro *Mycosphaerella coffeicola* (Cooke) J. A Stevens y Wellman. Ficha Técnica No. 40. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural.

- Solares, V., Ramírez, J. F., y Sánchez, R. (2011). Distribución espacial de trips (Insecta: Thysanoptera) en el cultivo de aguacate (*Persea americana* Mill.) Boletín del Museo de Entomología de la Universidad del Valle. 12 (2): 1-12.
- Tapia Rodríguez, A., Ramírez Dávila, J. F., Salgado Siclán, M. L., Castañeda Vildózola, Á., Maldonado Zamora, F. I., y Lara Díaz, A. V. (2020). Spatial distribution of anthracnose (*Colletotrichum gloeosporioides* Penz) in avocado in the State of Mexico, Mexico | Distribución espacial de antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides* Penz) en aguacate en el Estado de México, México. *Revista Argentina de Microbiología*, 52(1), 72–81. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2019.07.004>
- Weisz, R., Fleischer, S., y Smilowitz, Z. (1996). Site-Specific Integrated Pest Management for High-Value Crops: Impact on Potato Pest Management. *J. Econ. Entomol.*, 89(2), 501–509. <https://academic.oup.com/jee/article/89/2/501/2216461>