



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MÉXICO**



FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

**“Variabilidad espacial de la broca de café *Hypothenemus hampei* Ferrari, en
municipios cafetaleros del Estado de México”**

TESIS

PRESENTA

ULISES PATRICIO GÓMEZ

GENERACIÓN: 47, No DE CUENTA:1922951

ASESORES

DR. JOSÉ FRANCISCO RAMÍREZ DÁVILA

DR. FIDEL LARA VÁZQUEZ

El Cerrillo Piedras Blancas, 8 de abril de 2025

Resumen

El cultivo del café en México es de suma importancia ya que ayuda a mejorar la vida de los pequeños productores que producen cerca del 70 %, hay que mencionar que este cultivo enfrenta serios desafíos como lo es principalmente la broca del café, debido a esto, muchos productores tienden a utilizar productos químicos para su control, por lo que se pretende establecer y modelar mediante métodos de estadística espacial (Geoestadística e índices de distancia SADIE), el comportamiento espacial de las poblaciones de la broca del café en municipios cafetaleros del Estado de México, en donde se utilizaron trampas artesanales ECO-IAPAR, haciendo muestreos cada mes, en total se ocuparon 16 trampas a una distancia de 20 a 25 m, por tanto gracias a esto se pudo obtener mapas de distribución espacial mediante Krigado Ordinario y estimación de la superficie infestada, los resultados nos señalan que la incidencia de la broca de café es variable y se correlaciona con factores ambientales, la distribución es de tipo agregada, los semivariogramas teóricos se ajustaron: Gaussiano, Esférico y Exponencial, de esta forma la estadística espacial (geoestadística e índices de distancia SADIE) permiten identificar zonas de incidencia de las plagas ya que estas no se distribuyen en el total de la parcela, permitiendo identificar áreas infestadas y libres lo que a su vez facilita la creación de planes de manejo más eficientes y control de fenómenos fitosanitarios, teniendo un control más amigable con el ambiente, así como ahorros económicos por parte de los productores.

Abstract

Coffee cultivation in Mexico is of utmost importance as it helps to improve the livelihoods of small producers who produce about 70 %, It should be mentioned that this crop faces serious challenges, mainly the coffee berry borer, because of this, many producers tend to use chemicals for control, The aim is therefore to establish and model using spatial statistical methods (Geostatistics and distance indices SADIE), the spatial behaviour of coffee berry borer populations in coffee-growing municipalities in the State of Mexico, where handmade ECO-IAPAR traps were used, by sampling every month, In total, 16 traps were occupied at a distance of 20 to 25 m, therefore, it was possible to obtain spatial distribution maps by Ordinary Kriging and to estimate the infested area. the results indicate that the incidence of coffee berry borer is variable and correlates with environmental factors, the distribution is of an aggregate type, the semi-variograms theoretical models were adjusted: Gaussian, Spherical and Exponential, in this way, the spatial statistic (Geostatistics and distance indices SADIE) allow the identification of areas of pest incidence as pests are not distributed over the whole plot, allowing the identification of infested and free areas, which in turn facilitates the creation of more efficient management plans and control of phytosanitary phenomena, the result is more environmentally friendly control, as well as economic savings for the producers.

CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN	8
II. REVISION DE LITERATURA	10
2.1 Origen del café	10
2.2. Propagación de café.	11
2.3 Condiciones ambientales del cultivo del café	11
2.4 Descripción botánica del cultivo del café.	13
2.5 Calidad del café	13
2.6 Especies de café cultivadas.	14
2.7 Limitantes para el cultivo de café	14
2.8 Clasificación taxonómica de la broca del café	15
2.9 Broca del café	15
2.10 Distribución nacional de hospedantes	16
2.11 Ciclo biológico de la broca	16
2.12 Daños	16
2.13 Manejo integrado	17
2.14 Umbral de control químico (UCQ)	17
2.14.1 Control cultural	17
2.14.2 Control biológico natural	18
2.14.3 Control químico	18
2.15 Distribución espacial	18
2.16 Geoestadística	18
2.17 Fases de un estudio Geoestadístico	18
2.18 La semi varianza	19
2.19 Semivariograma	20
2.20 Efecto Pepita (Co)	21
2.21 Meseta	21
2.22 Rango	21

2.23 Krigado	21
2.24 Validación cruzada	22
2.25 Georreferenciación	22
2.26 Nivel de dependencia espacial	23
2.27 Análisis Espacial por Índices de Distancia (SADIE)	23
2.28 Índice I_a y J_a	23
III. OBJETIVOS:	24
3.1. Objetivo general:	24
3.2. Objetivos específicos:	24
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	25
4.1. Zona de estudio y Muestreo de la plaga	25
4.2. Medición de etapas fenológicas del cultivo	26
4.3. Análisis geoestadístico	26
4.4. Validación cruzada	27
4.5. Nivel de dependencia espacial	27
4.6. SADIE	28
4.7. Elaboración de mapas de incidencia (Krigado)	28
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	28
5.1. Análisis geoestadístico	30
5.2. Índices de distancia SADIE	46
5.3. Mapas de densidad	47
5.4. Superficie infestada	47
VI. Referencias	49
VII. Otros resultados:	61
7.1. Carta de recepción:	61
7.2. Artículo	62

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Medición del estado fenológico en cafetos, de la zona productora de café del Estado de México.....	29
Tabla 2. Parametros de los modelos teóricos ajustados a los semivariogramas de la broca del café <i>H. Hampei</i> Ferrari por sitios de muestreo.	44
Tabla 3. Valor de los índices <i>Ia</i> y <i>Ja</i> y sus respectivas probabilidades <i>Pa</i> y <i>Qa</i> en las poblaciones de broca del café <i>H. Hampei</i> Ferrari por sitios de muestreo.....	46
Tabla 4: porcentaje de superficie infestada y no infestada de las poblaciones de broca del café <i>H. Hampei</i> Ferrari, a través de Krigeado Ordinario, por sitios de muestreo.	47

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Semivariograma correspondiente al mes de enero, ajustado al modelo Gaussiano.....	33
Figura 2: Semivariograma correspondiente al mes de febrero, ajustado al modelo Gaussiano.	33
Figura 3: Semivariograma correspondiente al mes de marzo, ajustado al modelo Gaussiano.	34
Figura 4: Semivariograma correspondiente al mes de septiembre, ajustado al modelo Gaussiano.	34
Figura 5: Semivariograma correspondiente al mes de octubre, ajustado al modelo Exponencial.....	35
Figura 6: Semivariograma correspondiente al mes de noviembre, ajustado al modelo Esférico.....	35
Figura 7: Semivariograma correspondiente al mes de diciembre, ajustado al modelo Gaussiano.....	36

Figura 8: Mapa de incidencia de broca del café (<i>Hyphotenemus hampei</i> Ferrari) en el mes de enero.....	37
Figura 9: Mapa de incidencia de broca del café (<i>Hyphotenemus hampei</i> Ferrari) en el mes de febrero.....	38
Figura 10: Mapa de incidencia de broca del café (<i>Hyphotenemus hampei</i> Ferrari) en el mes de marzo.....	39
Figura 11: Mapa de incidencia de broca del café (<i>Hyphotenemus hampei</i> Ferrari) en el mes de septiembre.....	40
Figura 12: Mapa de incidencia de broca del café (<i>Hyphotenemus hampei</i> Ferrari) en el mes de octubre.....	41
Figura 13: Mapa de incidencia de broca del café (<i>Hyphotenemus hampei</i> Ferrari) en el mes de noviembre.....	42
Figura 14: Mapa de incidencia de broca del café (<i>Hyphotenemus hampei</i> Ferrari) en el mes de diciembre.....	43

I. INTRODUCCIÓN

En México, el cultivo de café representa una alternativa viable para mejorar las condiciones de vida de los pequeños productores cafetaleros (Fonseca, 2006), los productores de pequeña escala, junto a trabajadores rurales y familia producen cerca del 70 % de este cultivo, mientras las mujeres constituyen la mitad de la fuerza de trabajo y juegan un papel fundamental que por años ha pasado desapercibido (Panhuysen y Pierrot, 2014), la caficultura es una actividad de gran relevancia para la población campesina e indígena que habitan en las áreas montañosas del centro y sureste de México (Anta, 2006).

Es un cultivo de importancia económica a nivel mundial, puesto que sus semillas, tostadas, molidas y en infusión, constituyen la bebida no alcohólica más consumida en el mundo, hoy en día se calcula que su procesamiento y comercialización movilizan más de 70.000 millones de dólares al año y generan trabajo para más de 125 millones de personas (Jiménez, 2014), con respecto a México el 91.5 % de la producción de café durante el 2019 fue aportado por los estados de Chiapas (35.0 %) Veracruz (20.8 %), Oaxaca (18.9 %), Puebla (10.2 %) y Guerrero (6.5 %) (Tablas et al., 2021).

Este cultivo al igual que otro de interés comercial, es atacado por plagas de importancia fitosanitaria como lo es la broca del café, *Hypothenemus hampei* Ferrari; Coleoptera: Curculionidae. Es el insectos plaga más importantes en este cultivo, se han realizado trabajos por más de un siglo, cabe señalar que este insecto vive dentro del fruto del café, donde las hembras comienzan a construir sus galerías en el endospermo, para posteriormente depositar sus huevos, continuando con el ciclo buscando otra baya (Mendoza et al., 2021), la broca de café representa un desafío para los caficultores, esta plaga provoca daños significativos como la reducción de la cantidad de granos en la cosecha, a causa de la caída de los frutos antes de la maduración afectando directamente la calidad, resultando en la disminución del peso hasta en un 45 % (Molina, 2022). Se ha estimado pérdidas por más de \$500 millones dólares de manera anual en la producción mundial del café,

con respecto a México dichas pérdidas han oscilan en \$ 772.205 U.S. (Pérez et al., 2023 a). Los productores de café con frecuencia utilizan insecticidas sintéticos para controlar a *H. hampei*, como el Endosulfán y el Clorpirifos, los cuales se consideran altamente peligrosos y tóxicos ya que dañan el ambiente y causan daños a la salud de los productores y además se ven afectadas las comunidades aledañas a las plantaciones de café (Mendoza et al., 2021). Dada la magnitud del impacto de esta plaga, es fundamental implementar estrategias que permitan localizarla con precisión dentro de las parcelas. Aquí es donde herramientas como la geoestadística y los Índices de distancia (SADIE) toman relevancia ya que estas técnicas modelan la distribución espacial de plagas y enfermedades, permitiendo a los manejadores llevar a cabo estrategias de manejo específicas en cultivos económicamente importantes.

Los métodos geoestadísticos permiten medir la dependencia espacial de los insectos proporcionan una medida más directa de la dependencia espacial, debido a que tienen en cuenta la naturaleza bidimensional de la distribución de los organismos a través de su exacta localización espacial, además permite elaborar mapas a través del método del Krigeado Ordinario, esto ayuda a identificar áreas con alta o baja infestación, detectar patrones de agregación y con ello tomar decisiones informadas sobre el control y prevención de plagas, con esta información, se pueden implementar medidas de control en zonas críticas y priorizar recursos de manera eficiente más eficiente (Dávila et al., 2024). Por otra parte, los índices de distancia (SADIE) desarrollada por el Dr. Joe N. Perry en el Departamento de Entomología y Hematología de la Estación Experimental de Rothamsted en el Reino Unido, es una herramienta que facilita la comprensión de cómo se distribuyen los datos en dos dimensiones, utilizando índices de distancia. Este método no solo identifica patrones de agrupamiento, sino que también evalúa cuánto se desvían estos patrones de lo que sería una distribución aleatoria. Mediante un algoritmo que simula la dispersión de los individuos desde un punto de origen asignando a cada uno un territorio dinámico, lo que nos permite entender mejor su comportamiento y cómo se organizan en el espacio (González et al., 2022; Rivera et al., 2022). Por tanto, el presente trabajo tuvo por objetivo

determinar la variabilidad espacial de *H. hampei* en el cultivo de café mediante estadística espacial (geoestadística e índices de distancia SADIE) para con ello contribuir al conocimiento de su distribución espacial y poder dirigir acciones de control más eficientes contribuyendo a la disminución del impacto ambiental, así como ahorros económicos por parte de los pequeños productores, obteniendo productos más inocuos (Rivera Martínez 2022; González-Dávila 2022, Espinoza Zúñiga 2024).

II. REVISION DE LITERATURA

2.1 Origen del café

El café es una bebida global derivada de la semilla del cafeto, un arbusto de la familia Rubiaceae que prospera en climas cálidos. Su cultivo ha crecido considerablemente en diversas regiones, ampliando la variedad de especies disponibles. Esta bebida no solo es conocida por su sabor y cafeína, sino también por su importancia cultural y económica, siendo un símbolo de encuentro social y una fuente clave de ingresos para muchas comunidades agrícolas en todo el mundo (Morales, 2020).

El descubrimiento del café tal como lo conocemos, remonta al año 1140 en países como Abisinia, Etiopía o Arabia (INAES, 2019). Originario de Etiopía, específicamente del territorio conocido como "Kaffa", el café encontró su camino hacia Arabia, donde se estableció su cultivo (López-Chuquipoma, 2020). Posteriormente, los peregrinos que viajaban a la Meca introdujeron el café en Europa, aunque su aceptación y difusión fueron lentas, posiblemente debido a su color oscuro (Quispe-Huanca, 2016).

La palabra árabe "qahwa" fue adoptada para designar tanto al arbusto del cafeto como a la bebida, extendiéndose a Turquía y luego a Europa. En el siglo XVI, el término latino "*coffea*" se popularizó y se convirtió en el nombre universalmente aceptado tanto para la planta como para la bebida de café (David *et al.* 2014).

Hoy en día, el cultivo y producción de café se ha extendido a 16 estados de la República Mexicana, agrupados en cuatro grandes regiones que van desde la frontera sur que colinda con Guatemala, hasta el estado de Nayarit en el Pacífico Norte. Cada una de estas cuatro regiones muestra características propias, pero con condiciones adecuadas para la generación de café de calidad (Ponce, 2020).

2.2. Propagación de café.

Después de Arabia, Egipto fue el primer país en adoptar el café. Esta bebida se popularizó inicialmente en Arabia y pronto se extendió a Egipto. Posteriormente, su consumo se difundió hacia Asia Menor y llegó a Estambul, donde en el año 1554 se abrió el primer establecimiento público dedicado exclusivamente al consumo de café. Este evento marcó un hito importante en la historia del café, estableciendo un lugar donde la gente podía reunirse para disfrutar de esta nueva bebida.

Inicialmente, algunos sultanes intentaron prohibir el consumo de café debido a preocupaciones sobre sus efectos en la sociedad y la política. Sin embargo, eventualmente cambiaron de táctica y optaron por gravar impuestos sobre su venta. Esta decisión no solo permitió al gobierno generar ingresos adicionales, sino que también reguló el mercado del café, permitiendo su consumo de manera controlada. (Bravo *et al.* 2020).

El café llegó a México procedente de África Oriental en 1796, estableciéndose primero en la región de Córdoba, Veracruz. Posteriormente, se introdujo en Michoacán en 1823 y en Tuxtla Chico, Chiapas, en 1847. Sin embargo, según Salvador Novo, la introducción del cultivo del café en México data de alrededor de 1790, respaldada por una orden real española de 1792 que otorgaba exenciones fiscales a los utensilios para el azúcar y los molinos de café importados (Herrero *et al.* 2020).

2.3 Condiciones ambientales del cultivo del café

El cultivo del café es influenciado significativamente por las condiciones ambientales, las cuales son críticas para determinar la calidad y el rendimiento de los granos de café.

-Temperatura: Es fundamental que la temperatura se mantenga entre los 17 y 26°C. Temperaturas inferiores a 16°C pueden dañar los brotes, mientras que temperaturas superiores a 27°C aumentan el riesgo de deshidratación de la planta y reducen la fotosíntesis. (González *et al.* 2014).

Altitud: puede tener un efecto inmediato sobre la temperatura y las precipitaciones; la altitud adecuada para el cultivo del café se sitúa entre 500 y 1 700 metros sobre el nivel del mar (Sánchez *et al.*, 2018).

Vientos: Los vientos pueden afectar negativamente el cultivo si superan los 30 km/hr, causando daños como la caída de hojas, rotura de flores y frutos, y deshidratación de las yemas. (Rojas *et al.* 2021).

Lluvias: El café requiere de adecuadas cantidades de lluvias durante el año para su buen desarrollo especialmente en la floración, de aquello dependerá su producción es así que con menos de 1000 mm anuales el crecimiento de la planta va a hacer limitado, mientras que, con precipitaciones mayores a 3000 mm, se puede ver afectado la calidad física del café (Moran, 2023).

- **Humedad:** La humedad relativa del aire también es importante, ya que niveles superiores al 90 % pueden aumentar el riesgo de enfermedades fúngicas. Se recomienda que la humedad se mantenga entre el 65 % y el 90 % (Oliveros *et al.* 2014).

2.4 Descripción botánica del cultivo del café.

La planta del café se denomina cafeto. Fue descrito por Carlos Linneo, científico y botánico sueco, como perteneciente al género *Coffea* y a la familia de las Rubiaceae.

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Gentianales

Familia: Rubiaceae

Subfamilia: Ixoroideae

Tribu: Coffeae

Género:

Coffea

Citado a (Cronquist, 1980))

2.5 Calidad del café.

Según Aedo *et al.* (2023), indica que las etapas de producción desde el cultivo hasta el grano, en cuestión a calidad son las siguientes:

- 1- En la etapa del agricultor, la calidad del café se relaciona con la producción, el precio y la facilidad de cultivo.
- 2- En la etapa del exportador o importador, la calidad del café se evalúa según el tamaño del grano, la ausencia de defectos, la regularidad del suministro, la cantidad disponible, las características físicas y el precio.
- 3- En la etapa del tostador, la calidad del café se determina por factores como el contenido de humedad, la estabilidad de las características, el origen del café, el precio, los compuestos bioquímicos presentes y las características organolépticas. Es importante destacar que cada mercado o país puede tener sus propias preferencias en términos de sabor.
- 4- En la etapa del consumidor, la calidad del café abarca aspectos como el precio, el sabor, los efectos en la salud y el estado de alerta, el origen

geográfico, así como consideraciones ambientales y sociales, como el comercio justo o el café orgánico.

2.6 Especies de café cultivadas.

El café pertenece a la familia Rubiaceae, grupo que engloba unos 500 géneros y más de 6.000 especies, la mayoría árboles y arbustos tropicales. Dentro del género *Coffea* hay más de 100 especies, todas ellas autóctonas de África tropical y de algunas islas de Océano Índico, como Madagascar, todas son leñosas, pero comprenden desde arbustos hasta árboles de 5 a 10 metros de altura, las dos especies más importantes desde el punto de vista económico son *Coffea arabica* L. (café arábica) y *Coffea canephora* Pierre ex Froehner (café robusta), otra especie también conocida pero cultivada en menor escala es *Coffea liberica* (café libérica), *Coffea excelsa* y *Coffea dewevrei* también se producen comercialmente, pero recientemente se han identificado las especies de *C. liberica*. *C. arabica* supone más del 60 % de la producción mundial, frente a *C. canephora* que abarca prácticamente el resto. *C. liberica* supone menos del 1 % (Rojo-Jiménez y Perez-Urria, 2014).

Los cafetos pueden variar en tamaño desde pequeños arbustos hasta árboles de gran tamaño, con madera densa y dura. Tienen flores hermafroditas de corolas blancas o ligeramente rosadas, y sus bayas con dos semillas y mesocarpio azucarado (Merchán-Chavarría, 2023)

2.7 Limitantes para el cultivo de café

El cultivo extensivo de café como monocultivo conlleva varios desafíos relacionados con la salud de las plantas, especialmente en términos de plagas y enfermedades. Algunos de los problemas más comunes que afectan a las plantaciones de café incluyen:

Broca (*Hypothenemus hampei* Ferrari; Coleoptera: Curculionidae), Minador de la hoja del cafeto (*Leucoptera coffeella* Guérin Méneville), Roya (*Hemileia vastatrix* Verkeley & Brome; Pucciniales: Mikronegeriaceae), Ojo de Gallo (*Mycena citricolor* Berkeley & Curtis; Agaricales: Mycenaaceae) y Mancha de hierro (*Cercospora*

coffeicola (Cooke) J. A Stevens y Wellman; Capnodiales: Mycosphaerellaceae)
(Miranda y Jiménez-Martínez, 2020).

2.8 Clasificación taxonómica de la broca del café

Reino: Animalia

Phylum: Arthropoda

Clase: Insecta

Orden: Coleoptera

Familia: Curculionidae

Género: *Hypothenemus*

Especie: *Hampei*

(Leiva-Espinoza *et al.* 2019).

2.9 Broca del café

En 1978 la broca invadió México a través del Soconusco, Chiapas (Molina, 2022) señala que el insecto fue detectado en agosto de ese año en una cereza colectada en un beneficio de café húmedo colindante con el ejido Mixcum, y a principios de octubre, se le descubrió en cafetales del ejido 2 de mayo y en el predio El Recinto, municipio de Cacahoatán.

El primer reporte de la presencia de la broca del café en Mesoamérica fue para una finca de Chicacao, Suchitepéquez, Guatemala en 1971 (Muñoz-Belalcazar *et al.* 2021). A partir de este punto de la geografía guatemalteca, la plaga se distribuyó hacia otros países del istmo centroamericano y territorio mexicano.

2.10 Distribución nacional de hospedantes

En México, el café se cultiva en 15 entidades federativas (Chiapas, Veracruz, Oaxaca, Puebla, Guerrero, Hidalgo, Nayarit, San Luis Potosí, Jalisco, Colima, Tabasco, Estado de México, Querétaro, Morelos, y Michoacán),

Lo que equivale a un 84 % de la superficie nacional con un valor de producción de 5,202 millones de pesos (SIAP, 2014).

En el Estado de México desde el año 2017 solo se había reportado en uno de sus ocho municipios con producción de café. Con el objetivo de detectar la presencia y distribución de la plaga se realizó trampeo y muestreo de la broca en predios en la región cafetalera del sur del estado de México. Como resultado, en noviembre de 2021 se encontró presente en una parcela de la localidad del Rincón del Cristo en el municipio de Sultepec y en marzo de 2022 se encontró en la localidad de Las Joyas en el municipio de Amatepec, en ambos municipios los muestreos en ciclos anteriores realizados por el programa de café del SENASICA no habían detectado la presencia de la plaga (Pérez-Constantino, 2023).

2.11 Ciclo biológico de la broca

La broca pasa por cuatro etapas en su ciclo de vida: huevo, larva, pupa y adulto. El huevo tarda 6 días en incubarse y su fase promedio dura 4,21 días. La larva completa su desarrollo en 17 días, incluyendo un periodo de pre-pupa de 2,66 días en el cual no se alimenta. La pupa dura 6 días en promedio. Las hembras adultas viven aproximadamente 103,3 días. En total, el ciclo de huevo a adulto de la broca dura alrededor de 29 días (Fernández & Cordero, 2007).

2.12 Daños

Las estimaciones iniciales de las pérdidas causadas por la broca se basaron principalmente en el porcentaje de frutos perforados y granos dañados, según Castro-Mora en 2020. En la literatura, se menciona que estas pérdidas pueden alcanzar hasta un 80 %, aunque es probable que estas cifras estén sobreestimadas.

Algunos estudios más recientes se han centrado en estimar las pérdidas reales ocasionadas por este insecto en la cosecha. Cuando la broca perfora un fruto, se

puede observar la emisión de un aserrín o polvo oscuro, especialmente notorio en el café robusta. La cantidad y oscuridad de este polvillo aumenta con la población de broca en el fruto.

Al cortar un fruto perforado, se puede observar que uno o ambos granos pueden estar dañados. Esta observación directa ayuda a evaluar el verdadero impacto de la broca en los cultivos de café y otros productos agrícolas vulnerables a este insecto. (Orozco Ortiz, 2021)

2.13 Manejo integrado

El combate de la broca del café se basa en una estrategia de Manejo Integrado de la Broca (MIB), pues esta es la estrategia más promisoría para reducir las pérdidas ocasionadas por la broca del café (Vargas, 2022). La broca puede ser controlada sin usar insecticidas químicos, que pueden afectar al humano (Morocho-Vega, 2022).

2.14 Umbral de control químico (UCQ)

El control químico se reserva como última alternativa en el manejo de la broca del café. Se aplica específicamente en focos de infestación cuando la población de la broca alcanza el umbral económico (UE), que generalmente se establece cuando supera el 5% de infestación en los cultivos. (Molina Viera & Romero Suatunce 2023)

2.14.1 Control cultural

Prácticas como podar cafetos, regular la sombra, eliminar maleza, recolectar y destruir frutos infestados del suelo, y someter frutos infestados a temperatura de ebullición, forman parte del Manejo Integrado de Plagas (MIP) para controlar la broca del café. Estas acciones, combinadas con otras estrategias de MIP como el uso de trampas y el control biológico, pueden reducir significativamente la población de broca en las plantaciones, mejorando la calidad y el rendimiento del cultivo de manera sostenible (Barrera, 2005).

2.14.2 Control biológico natural

De los 50 enemigos naturales reportados para la broca, los únicos usados como agentes de control biológico han sido los parasitoides de origen africano *C. stephanoderis*, *P. nasuta* y *P. coffea* y los hongos entomopatógenos *B. bassiana* y *M. anisopliae*. Los tres parasitoides africanos fueron introducidos a México. *C. stephanoderis* y *B. bassiana* han sido los más utilizados para el control de la broca en México (Benavides-Machado, 2020).

2.14.3 Control químico

El endosulfan (comercializado como Thiodan 35 CE) es destacado por su eficiencia en el control de la broca del café, pero está siendo cuestionado severamente debido a efectos colaterales significativos. Este insecticida organoclorado ha mostrado ser altamente tóxico para peces y abejas, y también puede provocar plagas secundarias al eliminar a los enemigos naturales de la broca del café, según Granja-Sánchez et al. (2022).

2.15 Distribución espacial

El patrón de distribución espacial refiere la relación que existe entre la especie y su ambiente, la estructura de tamaños dentro de las poblaciones proporciona información sobre su composición en términos del sexo, la edad o tamaño y la reproducción de los individuos. Zepeda *et. al.*, 2017.

2.16 Geoestadística

La geoestadística es una rama especializada de la estadística aplicada que se centra en el análisis y modelado de la variabilidad espacial de fenómenos en ciencias de la tierra. Su objetivo principal es analizar y predecir fenómenos en el espacio y/o tiempo, como leyes de metales, porosidades y concentraciones de contaminantes. Aunque el prefijo "geo-" está comúnmente relacionado con la geología, la geoestadística tiene sus raíces históricas en la minería (Viera y González, 2002).

2.17 Fases de un estudio Geoestadístico

La geoestadística comprende a un conjunto de herramientas y técnicas que sirven para analizar y predecir los valores de una variable que se muestra distribuida en el

espacio o en el tiempo de una forma continua, todo trabajo geoestadístico tiene que llevarse a cabo en cuatro etapas:

En la Geoestadística, para la correcta obtención de un mapa de previsión de datos, se deben de cumplir cuatro fases claramente diferenciadas:

1. **Análisis Exploratorio de los datos:** esta primera fase incluye el proceso de verificación de los datos recolectados en campo, y de ser necesario se aplican pruebas de curtosis para regularlos.

2. **Análisis Estructural o Vario grafía:** ya obtenidas las bases de datos, se procede a este punto el cual es la creación del semivariograma experimental y su ajuste a modelos teóricos los cuales nos permiten explicar la naturaleza del fenómeno a estudiar. Los modelos a los que se puede ajustar pueden ser Gaussianos, Exponenciales, Esféricos, Logarítmicos,

3. **Interpolación o Estimación Espacial.** Krigeado

4. **Validación del Modelo Geoestadístico**

2.18 La semi varianza

La semi varianza es una medida estadística utilizada en geoestadística para cuantificar la variabilidad espacial de un fenómeno. Es complementaria al concepto de variograma y se utiliza para construirlo.

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

Donde $\gamma(h)$ es la semivarianza, $N(h)$ es el número de pares de observaciones comparadas en cada distancia (debe ser > 50), $Z(x_i)$ es el valor de la variable en el sitio x , y $Z(x_i + h)$ es el valor de la variable en un sitio ubicado a una distancia h del sitio x .

Para el análisis de semivarianza, el grupo de datos debe tener una distribución normal y estacionalidad de segundo orden o, por lo menos, presentar simetría en la

distribución y cumplir con la hipótesis intrínseca que sólo es violada cuando hay una tendencia obvia en la variable regionalizada, lo anterior implica que los datos deben ser al menos simétricos, si no se distribuyen normalmente, y que deben tener varianzas y medias homogéneas en todos los grupos de distancias definidos, sin embargo se han encontrado que la falta de estacionariedad en los datos no afecta apreciablemente el análisis de semivarianza y han reconocido que la semivarianza es más sensible a las distribuciones asimétricas de los datos y a la presencia de valores anómalos y/o extremos en ellos (Webster y Oliver 2007).

- **Uso en el variograma:** La semivarianza se calcula para múltiples pares de puntos a diferentes distancias y se utiliza para construir el variograma experimental. El variograma describe cómo varía la semivarianza con respecto a la distancia entre los puntos, lo cual proporciona información sobre la estructura de dependencia espacial del fenómeno.
- **Interpretación:** Una semivarianza alta indica que los valores del fenómeno están más dispersos o menos correlacionados a esa distancia, mientras que una semivarianza baja sugiere una mayor correlación o menos variabilidad a esa distancia. Webster y Oliver (2007).

2.19 Semivariograma

El semivariograma es una gráfica que relaciona los valores promedios de la semivarianza con el espaciamiento presente entre las muestras que se toman para hacer el estudio, cuando una propiedad tiene dependencia espacial, la semivarianza aumenta, a medida que aumenta la distancia entre muestras y la semivarianza puede llegar a estabilizarse a una determinada distancia, situación en la que se tiene un semivariograma limitado, cuando la semivarianza aumenta monótonamente con la distancia y no se estabiliza dentro del rango de distancias utilizadas para el muestreo, se tiene un semivariograma no transicional (Webster y Oliver, 2007).

2.20 Efecto Pepita (Co)

El efecto pepita se refiere a la variabilidad espacial que no puede ser capturada por el muestreo o la resolución espacial de los datos. Es la parte del semivariograma que indica que hay variabilidad aleatoria o estructura espacial a una escala menor que la distancia más corta entre puntos de datos. (Parra y Benítez, 2021).

2.21 Meseta

La meseta se presenta cuando el variograma mantiene o alcanza un valor constante. Así mismo define el Sill o Meseta como la máxima semivarianza entre pares (Parra y Benítez, 2021).

2.22 Rango

El rango se define como la distancia en la cual la semivarianza se detiene o deja de crecer, así mismo indica la distancia a partir de la cual las muestras son espacialmente independientes unas de otras Figura 1 (Parra y Benítez, 2021).

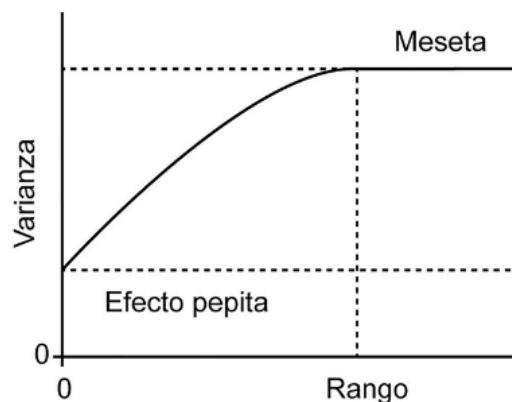


Figura 1. Modelo de variograma mostrando las partes: meseta, pepita, y rango. Modificado de Webster y Oliver (2007).

2.23 Kriging

Es un método de interpolación espacial basado en el modelo de variograma, que describe la estructura de dependencia espacial de los datos. Utiliza la información del semivariograma para realizar una estimación ponderada de los valores

desconocidos en función de los valores conocidos y la distancia entre ellos (Webster y Oliver, 2007).

2.24 Validación cruzada

Es una técnica para probar la validez de un modelo de variograma obtenido por Kriging se verifica la precisión comparando las predicciones del modelo con los valores reales en las ubicaciones de muestra. Interpretar discrepancias significativas puede indicar la presencia de outliers espaciales o errores en el modelado, requiriendo ajustes para mejorar la precisión del modelo (Viera, 2002).

Los parámetros del modelo a validar (pepita, meseta y rango) se van modificando en un procedimiento de prueba y error hasta la obtención de estadísticos de validación cruzada adecuados.

Estos estadísticos según (Garnier, 2022) son los siguientes:

- a) Error medio (ME)
- b) Error cuadrático medio (RMSE)
- c) Razón de desviación cuadrática media (MSDR)
- d) Error Porcentual Absoluto Medio (MAPE)
- e) Estadístico de bondad de predicción (G):
- f) Todas estas métricas, excepto la MSDR, se pueden aplicar para cualquier modelo de cualquier método de interpolación.

2.25 Georreferenciación

La georreferenciación es el método de situar entidades en una ubicación geográfica precisa usando un sistema de coordenadas. Se utiliza para asignar posiciones espaciales a elementos cartográficos utilizando mapas. Cada entidad en un mapa tiene una localización y extensión específicas, permitiendo su ubicación precisa en la Tierra o cerca de ella. Esta capacidad es crucial para estudios y clasificaciones cartográficas precisas. (González *et. al.*, 2018).

2.26 Nivel de dependencia espacial

Al reconocer el grado de relación entre los datos obtenidos donde recalca la importancia de establecer el nivel de dependencia espacial. Este valor se obtiene al dividir el efecto pepita entre la meseta y expresando en porcentaje el resultado. Si tanto el resultado es menor 27 de 25% el nivel de dependencia espacial es alta, si se encuentra entre 26 y 75% el nivel de dependencia espacial es moderado y si es mayor del 76% el nivel de dependencia es bajo (Cambardella *et. al.*, 1994).

2.27 Análisis Espacial por Índices de Distancia (SADIE)

Dentro de los nuevos desarrollos de la estadística espacial ha aparecido recientemente un nuevo método llamado SADIE (Análisis Espacial por Índices de Distancia) que ha sido desarrollada por el Dr. Joe N. Perry del Dpto. de Entomología y Nematología de Rothamsted Experimental Station (Reino Unido). SADIE identifica el modelo espacial para datos bidimensionales, con un índice asociado de la agregación y de una prueba para la desviación de la aleatoriedad basada en un algoritmo de atracción, el cual incorpora un modelo biológico para la dispersión de individuos de un origen en el que a cada individuo se le asigna un territorio dinámico (Perry *et al.*, 1996). Según Perry (1995) indicó que para datos recolectados en ubicaciones específicas el uso de la distancia para la regularidad es muy adecuado, el demostró cómo distinguir no aleatoriedad en la forma de heterogeneidad estadística de la no aleatoriedad espacial. Perry (1996), desarrollo y extendió el uso del índice de la distancia para la regularidad (*Ia*) para el establecimiento de la estructura espacial de las poblaciones. Además, introdujo dos diagramas de diagnóstico como ayuda a la interpretación y un índice nuevo para estimar el número de focos de agrupamiento de una población, el índice *Ja*. Además, señalo que la escala de muestreo es un determinante importante del patrón espacial total

2.28 Índice *Ia* y *Ja*

En el presente trabajo se utilizará el índice basado en la distancia para la regularidad *Ia* y el índice *Ja*, basado en la distancia del agrupamiento (Perry, 1995), para establecer el modelo de distribución de las poblaciones de ojo de gallo.

Una muestra es agregada si $I_a > 1$, la muestra es espacialmente aleatoria si $I_a = 1$, y la muestra es regular si $I_a < 1$. Como en el caso del índice I_a , valores de $J_a > 1$, usualmente indican muestra agregada, $J_a = 1$ representa datos espacialmente aleatorios y $J_a < 1$ muestras regulares (Maldonado *et. al.*, 2017). Los valores del índice J_a sirven para corroborarlos resultados obtenidos con el índice I_a . Además, este índice se utiliza para discriminar entre patrones espaciales donde hay un único agrupamiento importante para el cual sus valores son significativamente mayores que la unidad, y en donde hay dos o más agrupamientos para los cuales su valor no es significativamente diferente de la unidad o incluso menor que ella. Para determinar la significación con respecto a la unidad se utiliza su probabilidad respectiva (Q_a). Los Valores de I_a y J_a para conteos aleatorios no están correlacionados por lo que se puede utilizar 2000 aleatorizaciones en el software empleado para obtener sus respectivos valores. El programa utilizado en este trabajo para determinar los valores y las probabilidades de ambos índices fue el SADIE 1.22 (Perry *et. al.*, 1996)

III. OBJETIVOS:

3.1. Objetivo general:

Este trabajo tiene por objetivo establecer y modelar a través de la geoestadística e índices de SADIE el comportamiento espacial las poblaciones de la broca del café (*H. hampei* Ferrari; Curculionidae: Coleoptera) en cafetales de municipios del Estado de México.

3.2. Objetivos específicos:

- Modelizar la variabilidad espacial de *H. hampei* en el cultivo de café, mediante geoestadística e índices de SADIE
- Elaborar mapas de densidad de las poblaciones de *H. hampei* Ferrari. mediante la técnica del Krigeado.

- Establecer el porcentaje de infestación de las poblaciones de *H. hamper Ferrari* en el cultivo de café.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Zona de estudio y Muestreo de la plaga

Se realizó un cordón fitosanitario, en los municipios de: Amatepec, Tejupilco, Tlatlaya y Sultepec, pertenecientes al Estado de México, para identificar límites de zonas libres, y las que cuenten con presencia de broca, las condiciones climáticas en el municipio de Amatepec presentan un clima semicálido, subhúmedo, con una elevación de entre 1389 m. s. n. m., una precipitación media anual de 2200 mm y una temperatura de 23 °C (Pérez et al., 2023). Mientras, el municipio de Tejupilco se ubica en las coordenadas 18°54'21"N 100°09'10"O, presenta un clima cálido-lluvioso y una temperatura mínima y máxima anual de 15 y 30 °C (Hernández et al., 2013), con respecto al municipio Tlatlaya se ubica geográficamente en las coordenadas 18°37'01"N 100°12'29"O presenta un clima cálido subhúmedo con lluvias en verano, su precipitación media anual es de 336.5 mm y su temperatura media anual es de 20.1 °C (Aguilera et al., 2016). Por último, el municipio de Sultepec se ubica geográficamente en las coordenadas (18°52'00"N 99°57'00"O) donde predomina un clima semicálido, subhúmedo con lluvias en verano y cálido subhúmedo con lluvias en verano, la precipitación suele variar entre 1000 a 2000 mm anuales y la temperatura oscila entre 14 a 26 °C (Rubí et al., 2014)

El experimento se llevó a cabo en parcelas dedicadas al cultivo del café con cultivares de caturra y typical, el muestreo de broca se llevó a cabo utilizando un método de trapeo de brocas durante todo el año, con una densidad de 16 trampas/ha. La revisión de las trampas se hizo cada 30 días durante el periodo de evaluación (enero a diciembre 2023). Las trampas utilizadas fueron artesanales tipo ECO-IAPAR la cual consiste en utilizar una botella de plástico desechable, esta tendrá una abertura en la parte central, esto para permitir la difusión del atrayente y la entrada de la broca, el atrayente es a base de tres partes de metanol por una de etanol, se coloca en la parte inferior del recipiente plástico en donde la broca es

atrapada en el contenedor inferior mismo que contiene agua, dicha trampa fue sujeta a una de las ramas del arbusto a una altura del suelo de entre 1.0 y 1.5 m (Barrera et al., 2004) las cuales se colocaron a una distancia de 20 a 25 metros en la parte media de las plantas con una formación en zig zag (Pérez et al., 2023).

4.2. Medición de etapas fenológicas del cultivo

El café por su rango climático limitado ha demostrado ser sensible a varios fenómenos meteorológicos, plagas y enfermedades por lo que la baja adaptación de los cafetos agranda los impactos en su desarrollo y en consecuencia a la producción (Molina et al., 2020) por lo que se ve afectado por plagas como lo es la broca del café. El fruto del café es alimento para cada una de las etapas del ciclo fenológico de *H. hampei* Ferrari dado que la larva y hembra adulta se alimentan del fruto del café, además, proporciona a la plaga un medio para completar numerosas veces su ciclo de vida, por ello se realizó la medición del estado fenológico en diez cafetos, estos en cuatro parcelas de media hectárea por municipio, donde el objetivo fue registrar el número de arbustos con brotes (Proceso en el cual el cafeto empieza generar nuevos brotes o yemas) y floración (proceso que lleva al inicio de la fase reproductiva de la planta), por otra parte de los mismo árboles se seleccionó una bandola en el estrato medio para registrar el número de frutos en diferentes estadios como son, fruto lechoso, fruto consistente y fruto maduro, en este último el color del fruto cambia de verde a rojo o amarillo, dependiendo de la especie, esto con la finalidad de determinar y delimitar la etapa fenológica que más daño causa en el área de estudio durante el ciclo del cultivo evaluado (Barrera et al., 2006).

4.3. Análisis geoestadístico

Según Garnier-Villarreal (2022), la geoestadística es un proceso que conlleva el cálculo del semivariograma experimental, el ajuste de este a un modelo teórico, la validación del modelo que se usara y para finalizar la interpolación y elaboración de mapas mediante la técnica del kriging Ordinario, ya que esta herramienta es un paso que brinda los mejores resultados durante el análisis donde se tiene por objetivo la estimación de una o varias variables en el espacio, para el presente los datos que

se obtuvieron fueron sometidos a la prueba de curtosis y al coeficiente de variabilidad, determinando una distribución normal (Moral, 2004); se generaron semivariogramas experimentales de cada muestreo realizado a *H. hampei* los cuales se ajustaron a modelos preestablecidos “Esférico, Exponencial y Gaussiano etc” el semivariograma experimental se calculó con la siguiente expresión, con ayuda del software variowin 2.2 (software for spatial data analysis) (Perez et al., 2024; Grosso et al., 2022). Los parámetros del modelo evaluados incluyeron el efecto pepita (Co), la meseta (C) y el rango o alcance (a) (Espinoza et. al., 2024).

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

Dónde: $\gamma^*(h)$ 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 el valor de la variable de interés en el punto muestra $x_i + h$.

4.4. Validación cruzada

La validación cruzada brinda un mejor resultado para métodos de regresión no paramétricos (Pérez-Planells et al., 2015), la cual consiste eliminar un dato de una variable que ha sido evaluada y con ello generar un valor de predicción en la localidad del punto removido y así con los datos existentes o los que se deseen evaluar (Henríquez et al., 2013), para validar los modelos teóricos de cada muestreo realizado a *H. hampei* se empleó el procedimiento denominado validación cruzada, durante la validación del modelo se buscó el mejor ajuste posible mediante un proceso interactivo, se utilizó el programa Variowin 2.2 (Maldonado et al., 2016).

4.5. Nivel de dependencia espacial

Se evaluó según una escala que deriva de la proporción de la varianza no estructural respecto a la varianza total (Grosso et al., 2022). Para la determinación del nivel de dependencia espacial se dividió el efecto pepita por la meseta el cual se expresa en porcentaje, si se obtiene un resultado menor al 25 % el nivel de

dependencia espacial se considera alta, por otra parte, si el valor obtenido oscila entre el 26 y 75 % la dependencia espacial se considera moderada y si es mayor a 76 % es considerada baja (Rodríguez et al., 2020).

4.6. SADIE

SADIE fue desarrollada por el Dr. Joe N. del departamento de entomología y Nematología Experimental Station, esta herramienta incorpora un modelo biológico para la dispersión de individuos de un origen en el que a cada individuo se le asigna un territorio dinámico (Rivera Martínez 2022) su cálculo está incluido en el índice de agregación I_a con su P_a (probabilidad de agregación) y el índice de agregación J_a , con su relación denominada Q_a (probabilidad de agrupación) (Espinoza et. al., 2024), la muestra es agregada con $I_a > 1$, es aleatoria con $I_a = 1$ y es regular si $I_a < 1$, así mismo, si $J_a > 1$ la muestra es agregada, si $J_a = 1$ es espacialmente aleatoria y si $J_a < 1$ la muestra es regular. Los valores del índice J_a se utilizan para confirmar los resultados obtenidos con el índice I_a (Gonzalez-Dávila 2022).

4.7. Elaboración de mapas de incidencia (Krigado)

Los mapas se crearon con la ayuda del software Surfer 16, el cual emplea el método de interpolación conocido como Krigado Ordinario, el cual se empleó para obtener la estimación de la densidad de la plaga en zonas donde no se encontró la presencia del mismo (Ramírez et al., 2010), este enfoque asegura que los mapas generados reflejen adecuadamente la distribución espacial de los datos, en tiempo real proporcionando información valiosa sobre áreas donde no se han realizado mediciones directas (Espinoza et al., 2024).

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos durante el periodo de estudio muestran que durante las revisiones realizadas por mes se pudieron identificar las diferentes etapas fenológicas del cultivo de café en la zona de estudio; con respecto a la brotación existió gran variabilidad estando presente en todos los muestreos, teniendo como

mínimo seis plantas con presencia de brotes o yemas, en el mes de febrero y como máximo 160 cafetos en el mes de mayo (Tabla 1), con respecto a la floración en los meses de agosto a enero, no se registró presencia, habiendo registros para los meses de febrero a julio con una variabilidad, en cuanto a la floración el registro mínimo se obtuvo en el mes de junio con cuatro cafetos y como máximo el mes de junio con 160 cafetos, como se observa en la Tabla 1; posteriormente se revisaron frutos lechosos en donde se pudieron obtener datos en los meses de julio a noviembre, en los meses de diciembre a junio el valor de frutos lechosos fue cero, así mismo hubo presencia en los meses de julio y agosto, teniendo como mínimo 32 frutos lechosos en el mes de octubre y como máximo 460 frutos en el mes julio como se aprecia en la Tabla 1, con respecto a los frutos consistentes podemos encontrar como mínimo 90 frutos el mes de marzo y como máximo 734 frutos el mes de noviembre (Tabla 1), por el último para los frutos maduros se pudo observar que la mayoría de los meses tuvieron cierta cantidad de frutos a excepción de los meses de julio, agosto y septiembre teniendo como mínimo 22 frutos maduros, en el mes de junio y como máximo 800 frutos en el mes de marzo (Tabla 1).

Tabla 1: Medición del estado fenológico en cafetos, de la zona productora de café del Estado de México

Meses	Cafetos		Frutos		
	Brotación	Floración	Lechoso	Consistentes	Maduro
Enero	15	0	0	400	480
Febrero	6	8	0	350	790
Marzo	30	70	0	90	800
Abril	90	90	0	0	102
Mayo	160	125	0	0	22
Junio	80	160	0	0	31
Julio	75	4	460	280	0
Agosto	10	0	280	560	0
Septiembre	40	0	100	660	0
Octubre	40	0	32	730	120

Noviembre	22	0	35	734	144
Diciembre	20	0	0	704	300

A partir de los datos recopilados se obtuvieron 7 semivariogramas experimentales (figuras 1-7) que se ajustaron a un modelo gaussiano, exponencial y esférico.

5.1. Análisis geoestadístico

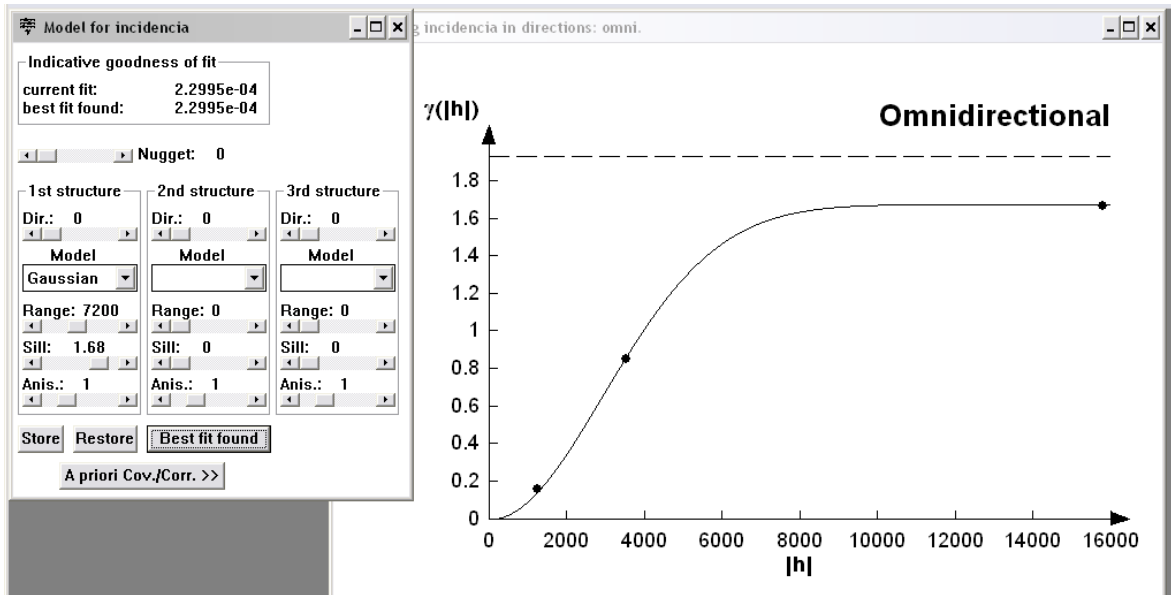
Derivados de los datos obtenidos durante el periodo de estudio (enero a diciembre 2023) se realizaron siete semivariogramas teóricos (enero, febrero, marzo, septiembre, octubre, noviembre, diciembre) los cuales se ajustaron a diferentes modelos teóricos (Pérez Constantino et. al., 2024). La mayoría de los semivariogramas teóricos (enero, febrero, marzo, septiembre y diciembre) se ajustaron a modelos Gaussiano, mientras que el mes de octubre se ajustó al modelo Exponencial y el mes de noviembre tuvo un ajuste al modelo Esférico. Cuando se ajusta el modelo teórico, a modelos gaussianos esto nos está indicando que el comportamiento espacial de la plaga se da de manera continua, esto implica que el avance es hacia una gran cantidad de zonas aledañas susceptibles, así mismo Figueroa-Figueroa et al., (2023) en su estudio indican que los modelos teóricos que se ajustan a los modelos gaussiano, la plaga se expresa en forma continua dentro de las parcelas lo que implica el avance de las infestaciones son entre parcelas aledañas, Quiñones-Valdez et al., (2016) señala que los modelos teóricos gaussianos permiten explicar la distribución espacial y la capacidad de diseminación, es decir, que la aparición de una plaga en un árbol lleva a la aparición de los árboles aledaños susceptibles. Para los semivariogramas teóricos que se ajustan al modelo exponencial, indican que las poblaciones de *H. hampei* en términos biológicos, se da en límites irregulares entre parcelas de café, determinando una distribución espacial discontinúa, según Rodríguez et al., (2020) los modelos exponenciales indican que las plagas tienen una tendencia a incrementarse de forma acelerada, creando parches o clúster bien definidos dentro de las parcelas, así mismo Paz y Arrieché (2017), indican que del total de los análisis

de datos muestreos en su estudio tuvo modelos exponenciales, concluyendo que la distribución espacial de la plaga responde a un patrón de distribución en agregados o en parches en áreas bien definidas dentro del cultivo.

Los modelos esféricos señalan que las agregaciones está en áreas específicas dentro de las parcelas de café respecto al resto de lugares de muestreo y que *H. hampei* se mueve de un lugar determinado hacia otros lugares dentro de la parcela, presentando un crecimiento rápido junto a su origen, sin embargo, los crecimientos van en decremento conforme la distancia se va incrementando, por su parte Ramírez et al., (2013), indica que los modelos teóricos que se ajustaron al modelo esférico en su trabajo, siguieren que la agregación de la plaga se manifiesta más en ciertos puntos específicos dentro de las parcelas, indicando la existencia de centros de agregación que posiblemente fueron originados por condiciones abióticas. En el análisis de los semivariogramas experimentales el efecto pepita fue de cero; por lo que se puede deducir que ese valor representa que la escala de muestreo utilizada fue la indicada y el error de muestreo fue mínimo (Rivera et al., 2018), los datos están correlacionados en metros, los niveles de rango tienden a variar de 1102 metros como mínimo y 7200 metros como máximo, el cual se puede interpretar como el alcance de *H. hampei*, esta correlación espacial nos está indicando que las parcelas de café a una cierta distancia de una parcela infectada tiene más probabilidades de esta, estar infectada que las parcelas más a lejanas, según Figueroa-Figueroa (2023) las distancias que se obtuvieron del rango, nos indica que hay probabilidades muy significativas que las parcelas aledañas a parcelas infectadas sean, plagados en un periodo corto, por otro lado Quiñones-Valdez et al., (2016), indica que el resultado del rango podría estar relacionado con el comportamiento de las condiciones físicas que se tienen dentro de las parcelas. El nivel de dependencia espacial en todos los muestreos fue alto, lo que supone que la agregación encontrada permanecerá en el tiempo, determinando nichos ecológicos estables lo que permiten suponer la existencia de condiciones ambientales favorables para el desarrollo de *H. hampei*. Los resultados concuerdan con lo obtenido por Ramírez y Porcayo (2010) en su estudio comparativo de la distribución espacial la broca del café quienes determinaron un nivel alto de

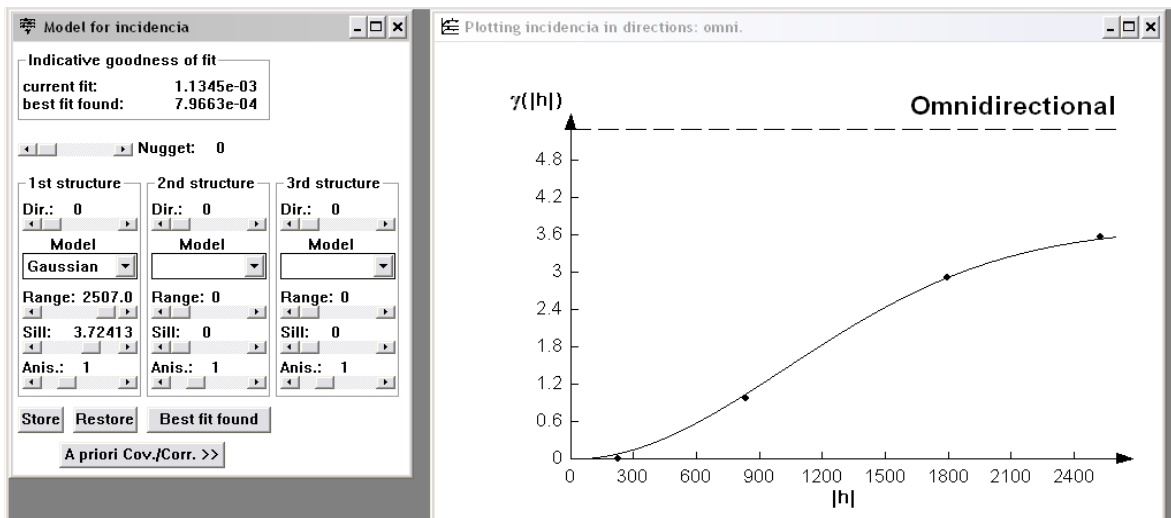
agregación sobre factores bióticos asociados a la distribución espacial de *H hampei*. Haciendo uso de la Geoestadística se encontró que la estructura espacial de la broca del café es agregada (Rodríguez et al., 2020), lo que supondría importante que se hicieran estudios posteriores para evaluar la autocorrelación espacial entre la broca del café y su hospedero.

Figura 1: Semivariograma correspondiente al mes de enero, ajustado al modelo Gaussiano.



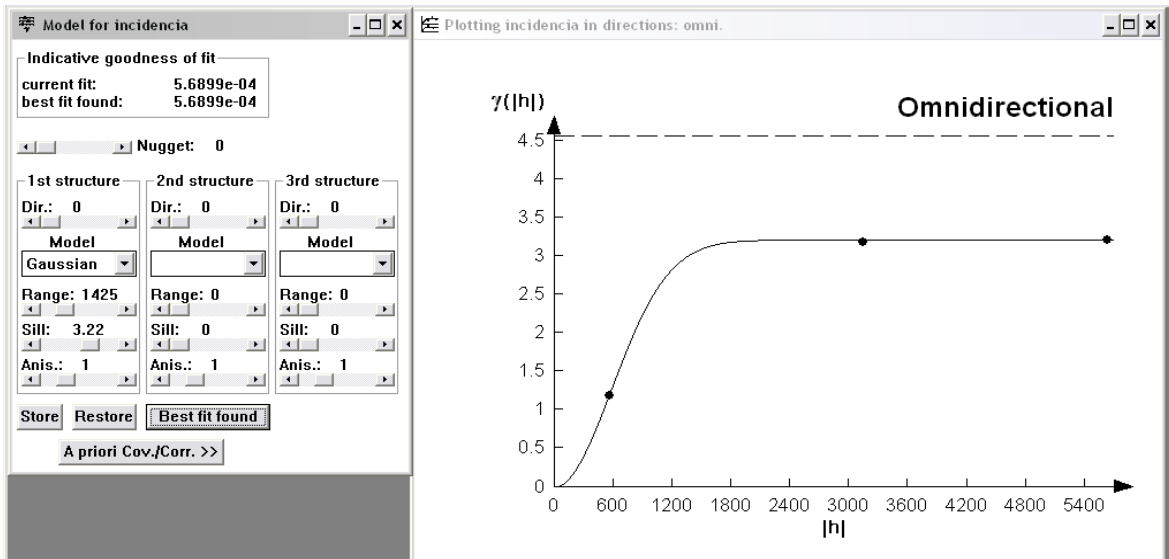
Fuente: propia.

Figura 2: Semivariograma correspondiente al mes de febrero, ajustado al modelo Gaussiano.



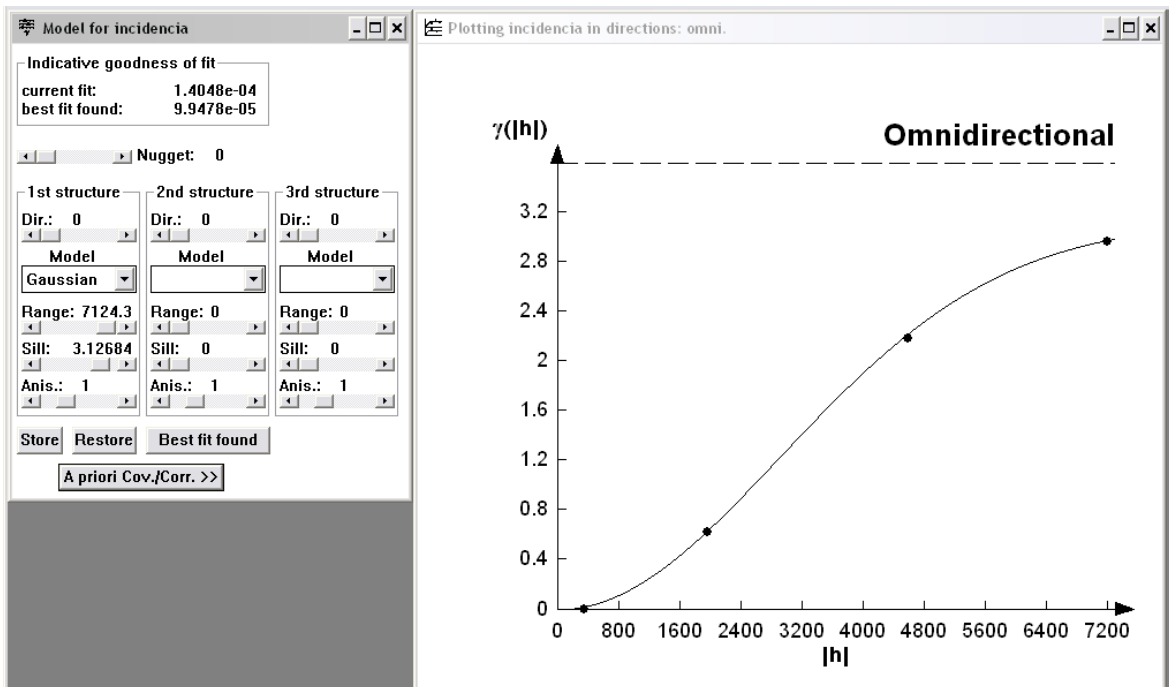
Fuente: propia.

Figura 3: Semivariograma correspondiente al mes de marzo, ajustado al modelo Gaussiano.



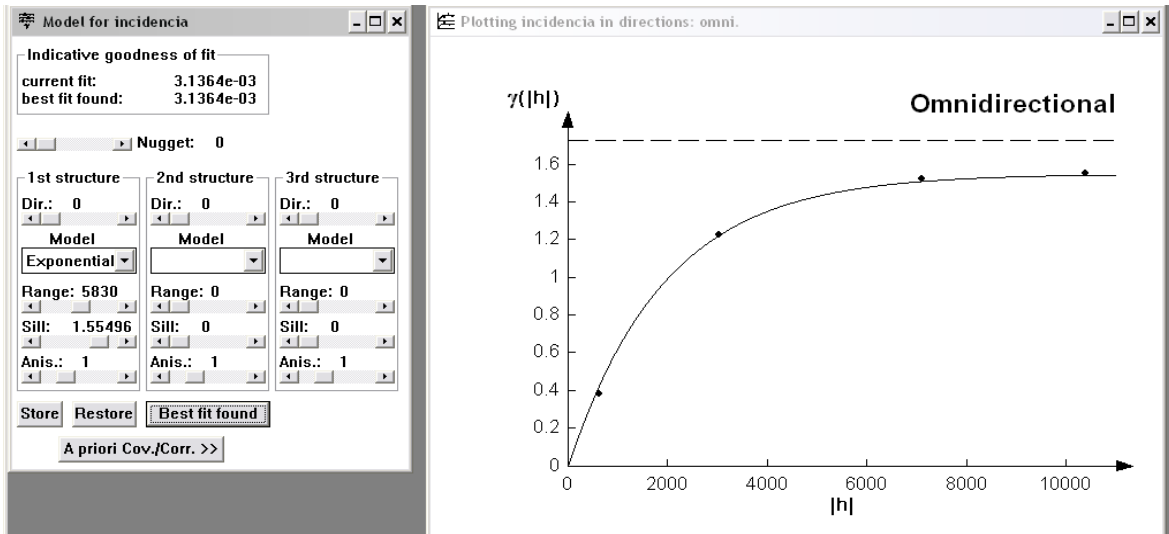
Fuente: propia.

Figura 4: Semivariograma correspondiente al mes de septiembre, ajustado al modelo Gaussiano.



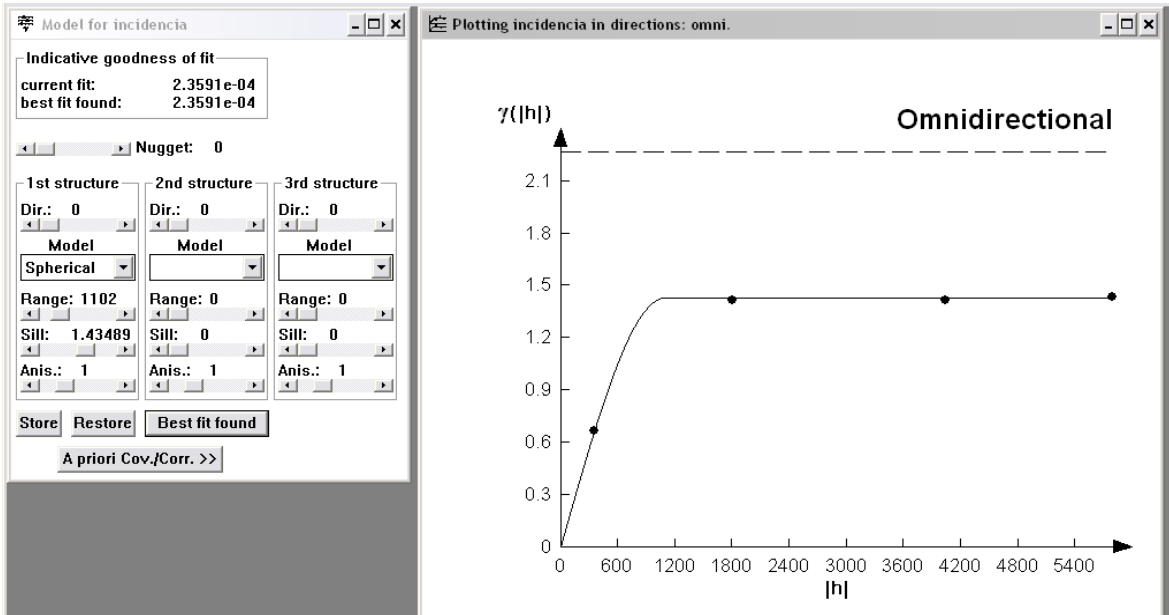
Fuente: propia.

Figura 5: Semivariograma correspondiente al mes de octubre, ajustado al modelo Exponencial.



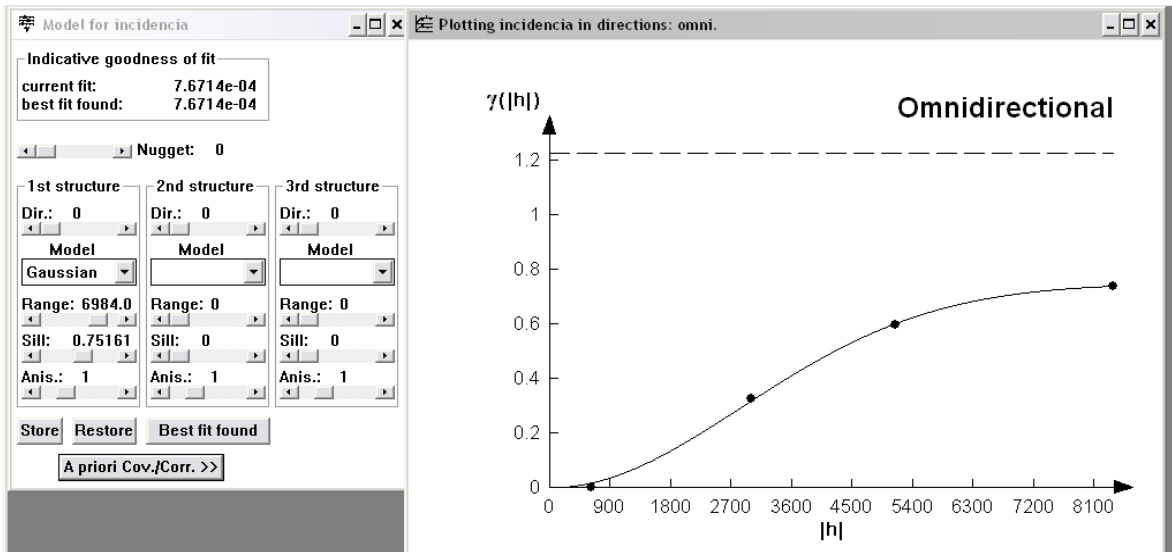
Fuente: propia.

Figura 6: Semivariograma correspondiente al mes de noviembre, ajustado al modelo Esférico.



Fuente: propia.

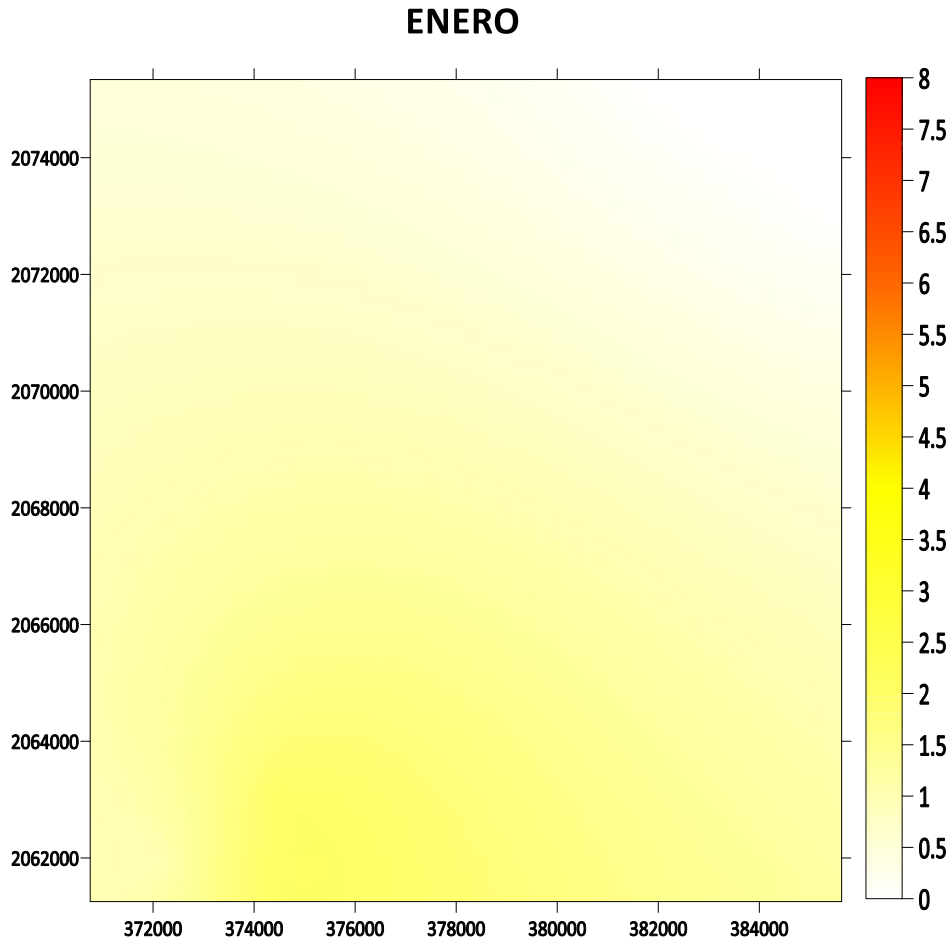
Figura 7: Semivariograma correspondiente al mes de diciembre, ajustado al modelo Gaussiano.



Fuente: propia.

Con los muestreos realizados fue posible realizar la modelización y mapeo del comportamiento espacial de *Hyphothenemus hampei* Ferrari durante el periodo de enero a diciembre 2023, además se determinó el porcentaje de infestación por cada mes en donde se encontraba incidencia de la plaga, por lo que se obtuvieron 7 semivariogramas experimentales, así como 7 semivariogramas teóricos, los cuales con ayuda de los parámetros geoestadísticos permitieron validar los semivariogramas experimentales ajustándose principalmente a los modelo gaussiano (5), exponencial (1), esférico (1) (Tabla 2). meses al dividir la pepita sobre la meseta fue cero para todos, en cuanto al nivel de dependencia espacial el valor para los meses que presentaron incidencia fue alto (Tabla 2).

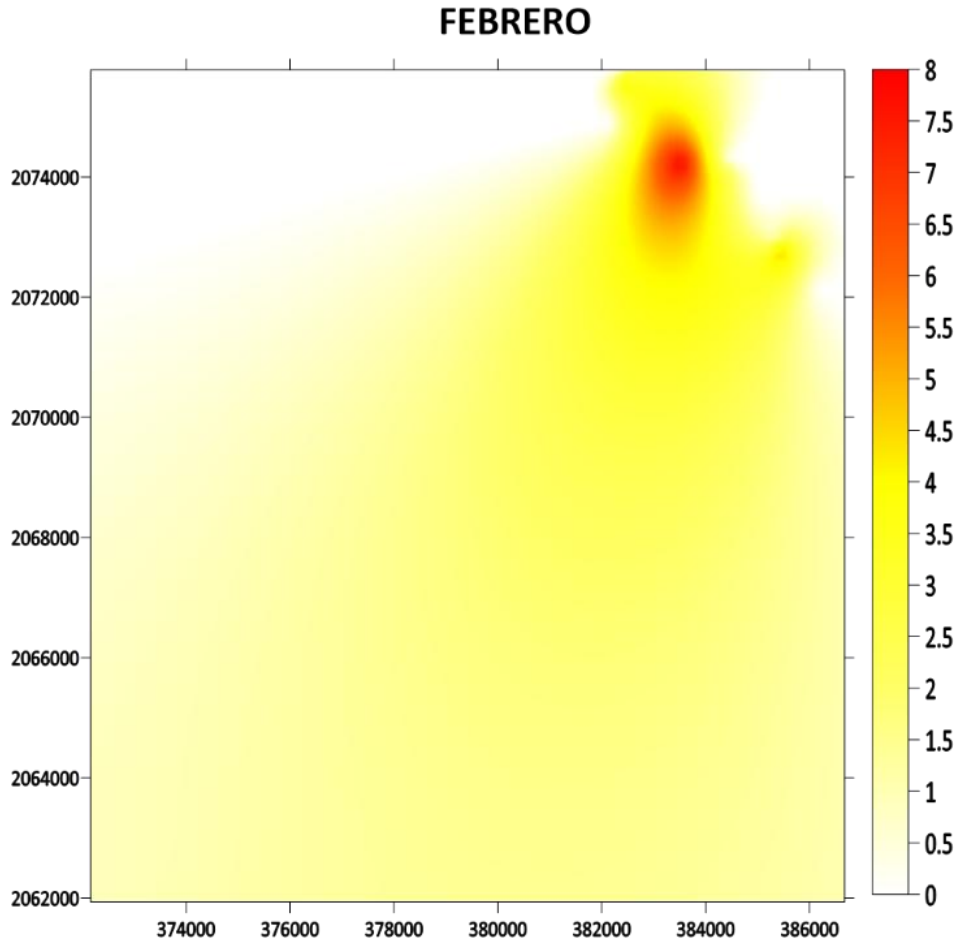
Figura 8: Mapa de incidencia de broca del café (*Hyphotenemus hampei* Ferrari) en el mes de enero.



Fuente: propia.

En el mes de enero, se recolectaron 19 individuos de broca de café en los arbustos que se sometieron al estudio, lo que indica un índice de infestación bajo, según Santiago et al., (2023), señala que el porcentaje de infestación por arbusto es alto cuando se alcanza más del 1 % en grano generando pérdidas en la producción que van desde el 0,26 % hasta 0,47 %, ya que los granos no maduran, por otra parte, señala que a infestaciones mayores al 10 % puede haber una pérdida de 5.087 kg por cada quintal de café pergamino, por lo que los datos obtenidos resultaron ser bajos debido al nivel de infestación detectado. Esta cifra sugiere que las condiciones climáticas del mes eran desfavorables para su propagación.

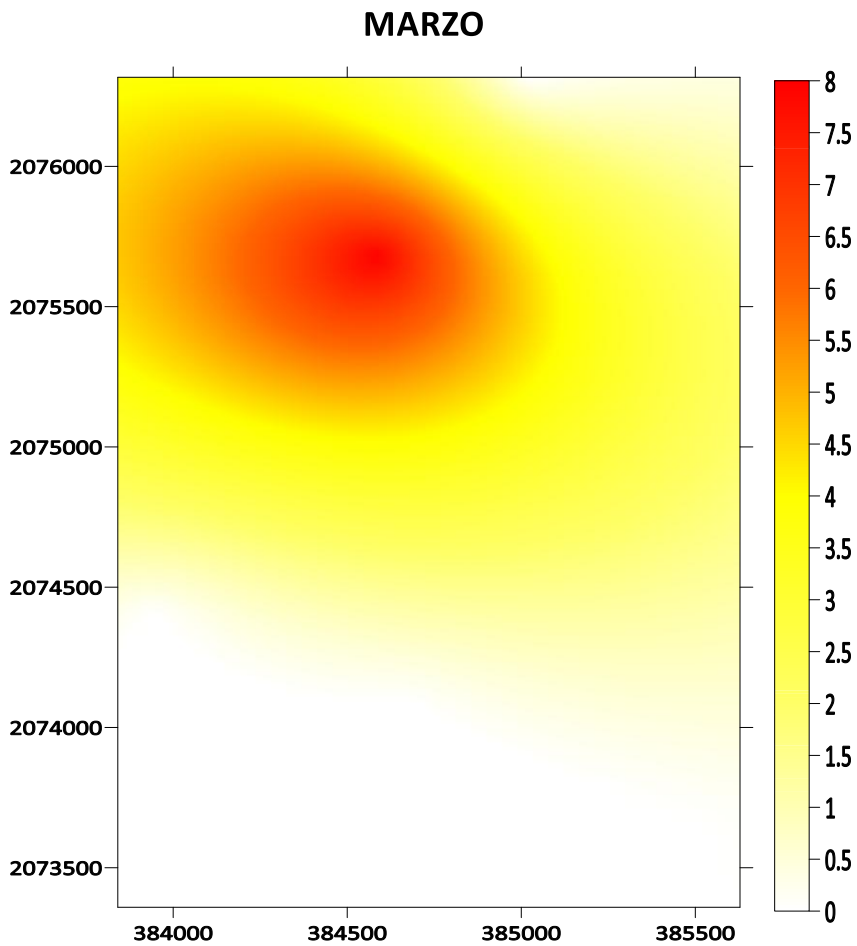
Figura 9: Mapa de incidencia de broca del café (*Hyphotenemus hampei* Ferrari) en el mes de febrero.



Fuente: propia.

En el mes de febrero, se registró un leve aumento en la recolección, alcanzando 25 ejemplares, lo cual puede vincularse a un incremento potencial de la plaga alcanzando un cambio en las condiciones iniciales. Según Bacca et al., (2021) menciona que tal ausencia puede relacionarse a varios factores como lo es la variabilidad climática que se ve asociada con la sequía, temperatura y precipitación, ya que, han indicado una evidente influencia en la dinámica poblacional de *H. hampei* Ferrari.

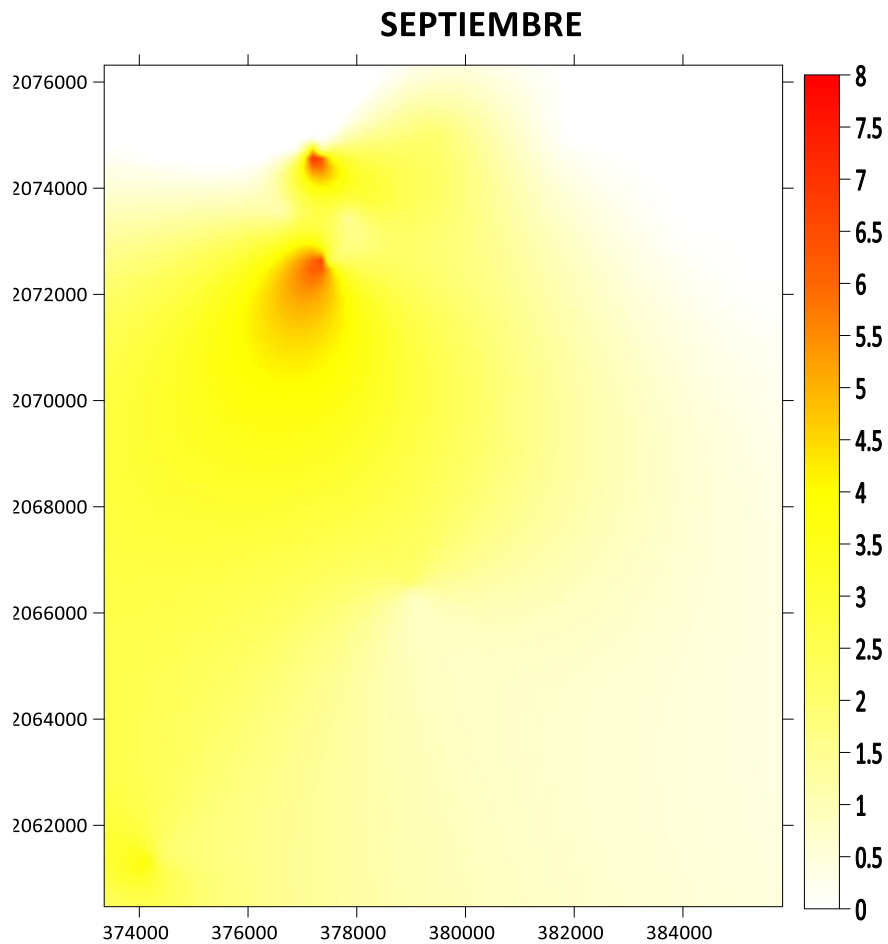
Figura 10: Mapa de incidencia de broca del café (*Hyphotenemus hampei* Ferrari) en el mes de marzo.



Fuente: propia.

para el mes de marzo, la incidencia volvió a reducirse de forma notoria a ocho brocas detectadas. Esto podría vincularse a distintas razones o bien a una intervención inicial en el manejo de la plaga,

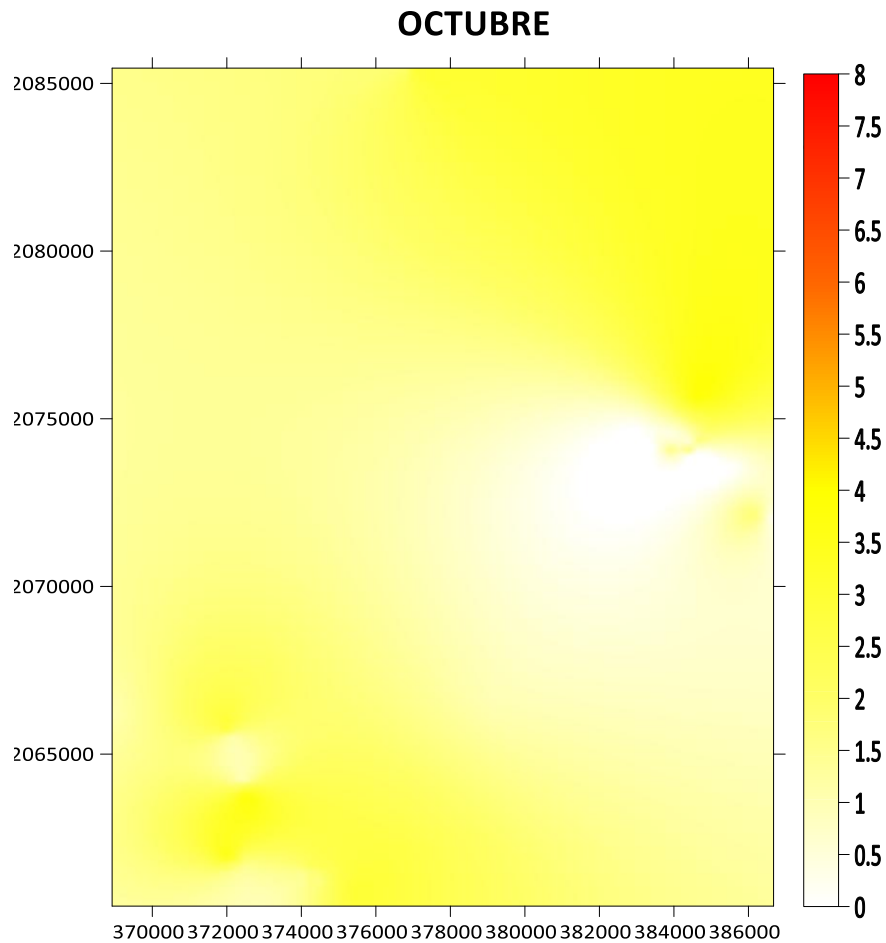
Figura 11: Mapa de incidencia de broca del café (*Hyphotenemus hampei* Ferrari) en el mes de septiembre.



Fuente: propia.

En septiembre se evidenció un cambio de tendencia, con un incremento de la plaga, con 69 brocas, hecho que parece indicar que las condiciones de humedad facilitan la diseminación de la plaga. Esta tendencia continuaba con un volumen creciente.

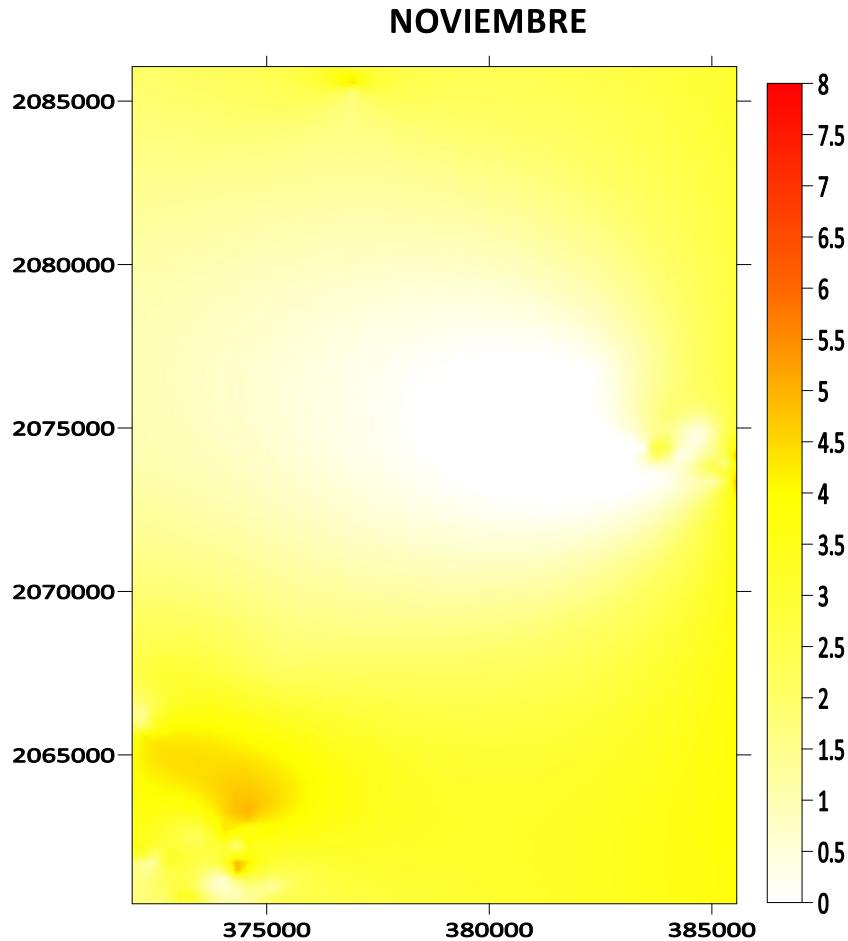
Figura 12: Mapa de incidencia de broca del café (*Hyphotenemus hampei* Ferrari) en el mes de octubre.



Fuente: propia.

En octubre, con 79 brocas, que indica una reactivación de la población, debido a que los muestreos realizados durante ese mes arrojaron 279 brocas, lo que indica que el número podría estar relacionado con el escaso control durante los meses precedentes y a la elevada adaptabilidad de la plaga a las condiciones climáticas del medio local.

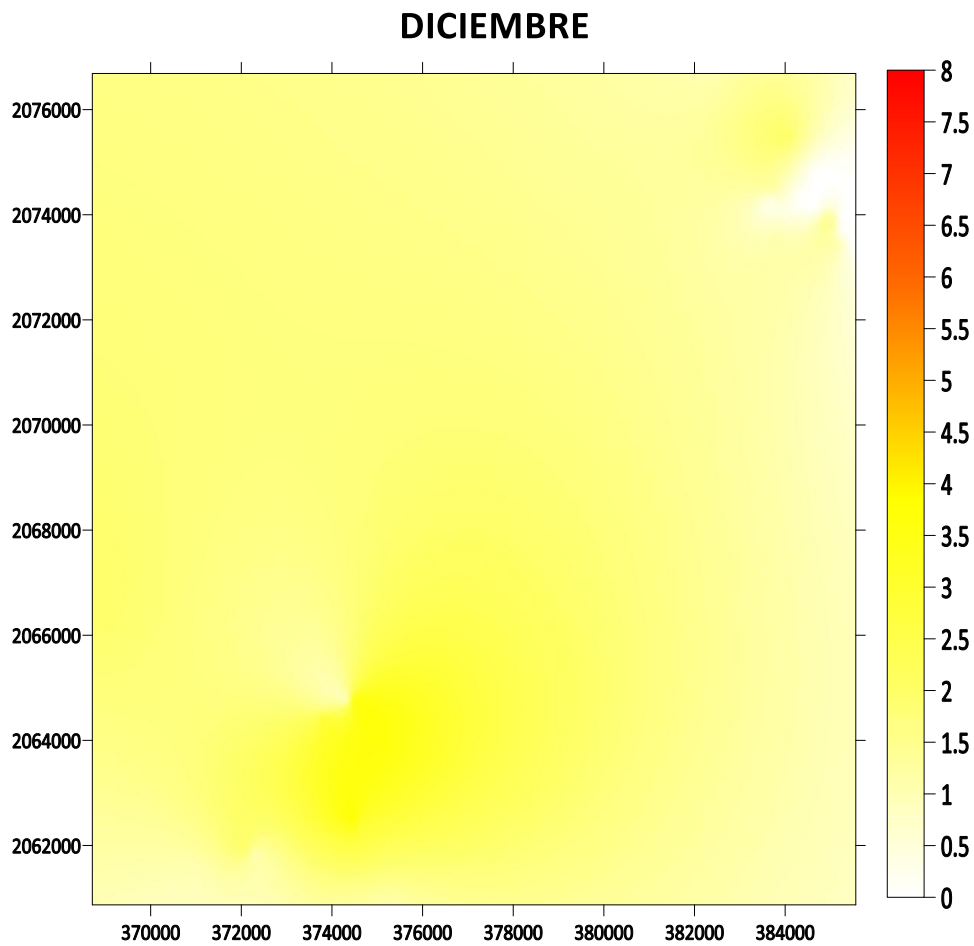
Figura 13: Mapa de incidencia de broca del café (*Hyphotenemus hampei* Ferrari) en el mes de noviembre.



Fuente: propia.

la variabilidad climática asociada a la temperatura, precipitación y sequía han mostrado una gran influencia en la dinámica poblacional de la plaga, por lo que la temperatura es uno de los factores más importantes, ya que, su ciclo depende principalmente de ella, además esta variable es determinante para su reproducción, desarrollo y juegan un papel importante en la determinación de la tasa del desarrollo de la plaga dentro de las cerezas del café. Se sabe que en este tipo de condiciones puede interrumpir temporalmente su ciclo de vida para permanecer a la espera de que las condiciones se presenten de forma más favorable para reanudar su actividad.

Figura 14: Mapa de incidencia de broca del café (*Hyphotenemus hampei* Ferrari) en el mes de diciembre.



Fuente: propia.

Para diciembre, el volumen había caído hasta 61 brocas, hecho que permite suponer que las condiciones climáticas son desfavorables, además de los intentos de control, ya provocaban también una reducción de *H. hampei*. Esta tendencia muestra que la plaga requiere de un manejo continuo y adaptativo principalmente en zonas donde el cultivo es de suma importancia económica

Tabla 2. Parametros de los modelos teóricos ajustados a los semivariogramas de la broca del café *H. Hampei* Ferrari por sitios de muestreo.

Mes	Broca por trama	Varianza	Modelo	Pepita	Rango (metros)	Meseta	Pepita/Meseta (%)	Dependencia espacial
Enero	19	0.24	Gaussiano	0	7200	1.68	0	Alta
Febrero	25	1.08	Gaussiano	0	1425	3.22	0	Alta
Marzo	8	4.50	Gaussiano	0	2507	3.72	0	Alta
Abril		-	-	-	-	-	-	-
Mayo		-	-	-	-	-	-	-
Junio		-	-	-	-	-	-	-
Julio		-	-	-	-	-	-	-
Agosto		-	-	-	-	-	-	-
Septiembre	69	1.39	Gaussiano	0	7124.3	3.12	0	Alta
Octubre	79	0.72	Exponencial	0	5830	1.55	0	Alta
Noviembre	279	1.38	Esférico	0	1102	1.43	0	Alta
Diciembre	61	0.22	Gaussiano	0	6984.0	0.75	0	Alta

El análisis de los datos obtenidos (Tabla 2) mostro la incidencia de la broca del café en el cultivo, en los sitios muestreados en los cuatro municipio del Estado de México, de lo cual en el mes de enero, se recolectaron 19 individuos de broca en las parcelas muestreadas que se sometieron al estudio, lo que indica un índice de infestación bajo, con respecto al mes de febrero, se registró un leve aumento en la recolección, alcanzando 25 ejemplares, lo cual puede vincularse a un incremento de la plaga, por factores ambientales, por su parte, para el mes de marzo, la incidencia volvió a reducirse de forma notoria a ocho brocas detectadas. Esto podría vincularse a distintas razones o bien a una nula intervención inicial en el manejo de la plaga, El periodo abarcado entre los meses de abril a agosto destaca por la ausencia total de incidencias, ya que no se detectó la presencia de *H. hampei* en las trampas, dado que estos meses son época de cosecha, hay granos en maduración, y la broca prefiere irse al grano y dejan de caer en las trampas, en septiembre se evidenció un cambio de tendencia, con un registro de 69 brocas del café. Esta tendencia continuaba con un volumen creciente en octubre con 79 brocas, además para el mes de noviembre se capturan 279 ejemplares de la broca del café, lo que indica que el número podría estar relacionado con el escaso control durante los meses precedentes y a la elevada adaptabilidad de la plaga a las condiciones climáticas del medio local, para diciembre, el volumen había caído hasta 61 brocas, hecho que permite suponer que las condiciones climáticas son desfavorables, además de los intentos de control, ya provocaban también una reducción de *H. hampei*. Esta tendencia muestra que la plaga requiere de un manejo continuo y adaptativo principalmente en zonas donde el cultivo es de suma importancia económica.

5.2. Índices de distancia SADIE

Los resultados obtenidos del análisis espacial por los índices de distancia (SADIE) en los muestreos realizados en los cuatro municipios (Amatepec, Tejupilco, Tlatlaya y Sultepec) mostraron valores que se encontraron para el índice I_a entre el más bajo con 1.34 en el mes de enero y el más alto con 1.72 en el mes de noviembre, en todos los muestreos el índice I_a fue significativamente superior a uno, esto con respecto a su probabilidad P_a , lo que indica una distribución espacial agregada

(Tabla 3). Con respecto al índice J_a el valor más alto se registró el mes de diciembre con 1.19 y el más bajo en el mes de febrero con 1.07, el índice J_a en todos los muestreos realizado también fue significativamente superior a uno, esto tomando en cuenta su probabilidad Q_a , este resultado confirma la agregación encontrada por el índice I_a (Tabla 3), lo que indica que la distribución espacial de las poblaciones de *Hyphothemus hampei* presenta patrones agregativos (índice I_a) en varios agregados de agrupamiento (índice J_a).

Tabla 3. Valor de los índices I_a y J_a y sus respectivas probabilidades P_a y Q_a en las poblaciones de broca del café *H. Hampei* Ferrari por sitios de muestreo

	I_a	P_a	J_a	Q_a
Enero	1.34	0.011 ^s	1.10	0.256 ^{ns}
Febrero	1.51	0.007 ^s	1.07	0.168 ^{ns}
Marzo	1.45	0.019 ^s	1.16	0.184 ^{ns}
Abril	-	-	-	-
Mayo	-	-	-	-
Junio	-	-	-	-
Julio	-	-	-	-
Agosto	-	-	-	-
Septiembre	1.63	0.015 ^s	1.15	0.285 ^{ns}
Octubre	1.66	0.009 ^s	1.18	0.357 ^{ns}
Noviembre	1.72	0.019 ^s	1.12	0.273 ^{ns}
Diciembre	1.50	0.018 ^s	1.19	0.322 ^{ns}

Nota: ns: no significativo al 5 %; s: significativo al 5%

5.3. Mapas de densidad

Con base en los mapas de densidad elaborados a través del Krigeado Ordinario en cada uno de los muestreos, se puede visualizar el nivel de infestación de la broca del café presente en los arbustos, se utilizaron varios colores, el blanco indica que no existe presencia de la plaga por otra parte el color rojo indica que existe mayor incidencia de la plaga dentro de la zona de estudio

5.4. Superficie infestada

Los porcentajes de superficie infestada indican que durante el periodo de muestro en los cuatro municipios llego a un 99 % en el mes de enero. La menor superficie infestada llego a registrar un porcentaje de infestación del 65 % en el mes de marzo (Tabla 4). La información se puede visualizar mejor en los mapas de incidencia (Figura 1) en donde se puede observar la agregación de la plaga, donde los patrones de agregación son indicativos de la presencia de las interacciones entre la broca y el medio o incluso entre los mismos organismos, en los mapas se pueden observar áreas libres o áreas infestadas con distinto porcentaje cada una ya que la broca del café se presenta mayormente en los meses de enero, febrero, marzo, septiembre, octubre, noviembre.

Tabla 4: porcentaje de superficie infestada y no infestada de las poblaciones de broca del café *H. Hampei* Ferrari, a través de Krigeado Ordinario, por sitios de muestreo.

Mes	% infestado	% no infestado
Enero	99	1
Febrero	89	11
Marzo	65	35
Abril	-	-
Mayo	-	-
Junio	-	-
Julio	-	-
Agosto	-	-
Septiembre	73	27
Octubre	90	10
Noviembre	87	13
Diciembre	96	4

VI. Referencias

- Aedo, M., Sotomayor Echenique, O., Rodrigues, M. D. S., Wander, P., Rodríguez, A. G. & Sánchez, J., (2023). Productos básicos y agregación de valor en la estrategia agroalimentaria de América Latina: el caso de la soja y el café.
- Aguilera-Gómez, L. I., Rivas-Manzano, I. V., & Aguilar-Ortigoza, C. J. (2016). El bosque tropical subcaducifolio en dos cañadas de Tlatlaya, Estado de México. *Polibotánica*, (41), 1-29.
- Anaya, D. M., & Rubio, O. R. G. (2010). Análisis espacial por índices de distancia (Sadie) de *Lophophora williamsii* en tres parcelas con diferente grado de perturbación en San Luis Potosí. *Laboratorio de Ecología, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Autónoma de Querétaro*.
- Bacca, T., Delgado-Gualmatan, W. L., Lagos-Burbano, T. C., & Gutiérrez, Y. (2021). Efecto de la altitud y del sombrero del café sobre la infestación por *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) en Nariño, Colombia. *Boletín Científico. Centro de Museos. Museo de Historia Natural*, 25(2), 43-58.
- Bacca, T., Delgado-Gualmatan, W. L., Lagos-Burbano, T. C., & Gutiérrez, Y. (2021). Efecto de la altitud y del sombrero del café sobre la infestación por *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) en Nariño, Colombia. *Boletín Científico. Centro de Museos. Museo de Historia Natural*, 25(2), 43-58.
- Barrera, J. F., (2005). Investigación sobre la broca del café en México: logros, retos y perspectivas. In Simposio sobre Situación Actual y Perspectivas de la Investigación
- Barrera, J. F., Herrera, J. O. E. L., Villacorta, A. M. A. D. O. R., García, H. E. B. E. R., & Cruz, L. E. O. P. O. L. D. O. (2006). Trampas de metanol-etanol para detección, monitoreo y control de la broca del café *Hypothenemus hampei*.

In *Simposio sobre trampas y atrayentes en detección, monitoreo y control de plagas de importancia económica* (pp. 71-83). Chiapas, Mexico: Sociedad Mexicana de Entomología and El Colegio de la Frontera Sur. Tapachula.

Barrera, J. F., Villacorta, A., & Herrera, J. (2004). Fluctuación estacional de las capturas de la broca del café (*Hypothenemus hampei*) con trampas de etanol-metanol e implicaciones sobre el número de trampas. *Entomología Mexicana*, 3(8), 540-544.

Barrera-Rojas, A., Ramírez-Dávila, J. F., López, D. D. J. P., Rubí-Arriaga, M., & Miranda, E. P. (2023). Comportamiento espacial del minador de hoja, *Leucoptera coffeella* (Lepidoptera: Lyonetiidae) en cafetales de Temascaltepec, Estado de México, México. *Revista Colombiana de Entomología*, 49(2).

Bravo, G. & Krissman, J., (2020). Manejo integrado de la Broca del café (*Hypothenemus hampei*), en la Hacienda tres Hermanos, Cantón Ventanas Provincia de los Ríos (Bachelor's thesis, BABAHOYO: UTB, 2020).

Cambardella CA, Moorman TB, Novak JM, Parkin TB, Karlen DL, Turco RF y Konopka AE. (1994). Field-Scale Variability of Soil Properties in Central Iowa Soils. *Soil Science Society of America Journal*, 58(5):1501–1511. <https://doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800050033x>

CHUAIRE, L. M. C., JAVIER, A., QUIÑONES, P., CARABALÍ, C. R., CARLOS, L., QUINCHUA, I., &

CHUAIRE, L. M. C., JAVIER, A., QUIÑONES, P., CARABALÍ, C. R., CARLOS, L., QUINCHUA, I., & MACHADO, P. B. (2024). El clima y su relación con la dinámica poblacional y dispersión de la broca del café *Hypothenemus hampei* en un gradiente altitudinal en la cuenca del río Risaralda, Caldas,

Colombia. *Revista Colombiana de Entomología*, 50(1), e12946.
<https://doi.org/10.25100/socolen.v50i1.12946>

David, A. M. & Nini, M. N., (2014). El café y sus diversas aplicaciones en la pastelería

Dávila MG, Dávila, JFR, Guadarrama, ADA, & Figueroa DKF. (2024). Distribución espacial de las poblaciones del picudo del agave *Scyphophorus acupunctatus* (Coleoptera: Dryophthoridae) en el Estado de México, México. *Revista Colombiana de Entomología*, 50(2).

Díaz-Limón, M. P., Cano-Santana, Z., & Queijeiro-Bolaños, M. E. (2016). Mistletoe infection in an urban forest in Mexico City. *Urban Forestry & Urban Greening*, 17, 126-134. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.04.004>.

Espinoza-Zúñiga P, Lara-Vázquez F, Cibrián-Tovar D, Ruiz-Orta A, Galacho-Jiménez FB, & Dávila JFR. (2024). Variabilidad espacial de muérdago (Loranthaceae) en áreas verdes de la alcaldía Coyoacán, Ciudad de México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 15(85).
<https://doi.org/10.29298/rmcf.v15i85.1469>

Figueroa-Figueroa, D. K., Ramírez-Dávila, J. F., Lara-Vázquez, F., Mora-Escamilla, M., & Galacho-Jiménez, F. B. (2023). Distribución espacial de la escama verde y fumagina en cafetales de Amatepec, Estado de México. Revista fitotecnia mexicana, 46(4), 419-428.

Figueroa-Figueroa, D. K., Ramírez-Dávila, J. F., Lara-Vázquez, F., Mora-Escamilla, M., & Galacho-Jiménez, F. B. (2023). Distribución espacial de la escama verde y fumagina en cafetales de Amatepec, Estado de México. *Revista fitotecnia mexicana*, 46(4), 419-428.

Figueroa-Figueroa, D. K., Ramírez-Dávila, J. F., Lara-Vázquez, F., Mora-Escamilla, M., & Galacho-Jiménez, F. B. (2023). Distribución espacial de la escama verde y fumagina en cafetales de Amatepec, Estado de México. *Revista fitotecnia mexicana*, 46(4), 419-428. <https://doi.org/10.35196/rfm.2023.4.419>

- Fonseca SA. (2006). El café de sombra: un ejemplo de pago de servicios ambientales para proteger la biodiversidad. *Gaceta ecológica*, (80), 19-31. 80, 19-31. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=53908002>
- Garnier-Villarreal M. (2022). Introducción al análisis geoestadístico de datos en geociencias: teoría y aplicación. *Revista geológica de América central*, 67, 1-22.
- González Cárdenas, J. M., & Ortega Tabares, V. (2018). Aplicación de herramientas estadísticas y la georreferenciación en el proceso a la cámara de representantes en Risaralda 2018.
- González-Dávila L, Lara-Vázquez F, Ramírez-Dávila JF, & Figueroa-Figueroa DK. (2022). ANALISIS ESPACIAL DEL DAÑO POR ARAÑA ROJA (*Oligonychus punicae*) EN AGUACATE; ESTADO DE MÉXICO, UTILIZANDO EL METODO DEL SADIE.
- González-Dávila, L., Lara-Vázquez, F., Ramírez-Dávila, J. F., & Figueroa-Figueroa, D. K. (2022). ANALISIS ESPACIAL DEL DAÑO POR ARAÑA ROJA (*Oligonychus punicae*) EN AGUACATE; ESTADO DE MÉXICO, UTILIZANDO EL METODO DEL SADIE. <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/139140/ANALISIS%20ESPACIAL%20DEL%20DA%c3%91O%20POR%20ARA%c3%91A%20ROJA%20OLIGONYCHUS%20PUNICAE%20EN%20AGUACATE%20ESTADO%20DE%20M%c3%89XICO%20UTILIZANDO%20EL%20METODO%20DEL%20SADIE...FINAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Granja Sánchez, L. M., Murcia Sandra, D. M. & Hernández Medina, V., (2022). RETOS Y PERSPECTIVAS DEL USO DE *Beauveria bassiana* PARA EL CONTROL DE *Hypothenemus hampei* EN ZONAS CAFETERAS DEL TOLIMA, COLOMBIA

Grosso JA, Ressia JM, Bongiorno CV, & Mendivil GO. (2022). Caracterización del estado de compactación de un suelo bajo siembra directa utilizando herramientas de geoestadística. *Ciencias Agronómicas*, (34), e004-e004. DOI:

Henríquez C. Méndez JC, & Masís R. (2013). Interpolación de variables de fertilidad de suelo mediante el Análisis kriging y su validación¹. *Agronomía costarricense*, 37(2), 71-82.

Hernández Morales, P., Estrada-Flores, J. G., Avilés-Nova, F., Yong-Angel, G., López-González, F., Solís-Méndez, A. D., & Castelán-Ortega, O. A. (2013). Tipificación de los sistemas campesinos de producción de leche del sur del estado de México. *Universidad y ciencia*, 29(1), 19-31.

Herrero, P. P., de Solano, F., Muriá, J. M., Bargellini, C. & Codinach, G. J., (2020). Las reformas borbónicas y el nuevo orden colonial. Instituto Nacional de Antropología e Historia.

INAES, Instituto Nacional de la Economía Social. (2019). Historia del café y su cultivo. <https://www.gob.mx/inaes/es/articulos/historia-del-cafe-y-su-cultivo?idiom=es>. Fecha de consulta: 20 de mayo de 2024.

Jiménez ER. (2014). Café I (*G. Coffea*). *Reduca (Biología)*. *Serie Botánica*, 7(2), 113-132. <https://docta.ucm.es/rest/api/core/bitstreams/27030672-4b74-4df3-8a7b-eee39b14d1a2/content>

Lara-Vázquez, F., Ramírez-Dávila, J. F., Figueroa-Figueroa, D. K., Tapia-Rodríguez, A., & González-Huerta, A. (2023). Modelación espacial de la araña roja *Oligonychus punicae* (Acari: Tetranychidae) en el cultivo de aguacate. *Entomólogo de Florida*, 106(4), 211-219. <https://doi.org/10.1653/024.106.0402>

López-Chuquipoma, M., (2020). Relación entre la innovación tecnológica y el proceso de internacionalización de las pymes exportadoras de café verde de la selva central. Tesis de licenciatura. Universidad Continental. Huacayo Peru. 221 p.

MACHADO, P. B. (2024). El clima y su relación con la dinámica poblacional y dispersión de la broca del café *Hypothenemus hampei* en un gradiente altitudinal en la cuenca del río Risaralda, Caldas, Colombia. *Revista Colombiana de Entomología*, 50(1), e12946.

Maldonado, F. I., Ramírez, J. F., Rubí, A., Antonio. X., y Lara, A.V., (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>.

Mendoza-Cervantes G, Guzmán-López O, & Salinas-Castro A. (2021). Manejo de la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae), con atrayentes etanólicos en cultivos de café de Coatepec, Veracruz, México. *Revista chilena de entomología*, 47(2), 265-273.

Merchán Chavarría, E. D., (2023). Estudio comparativo del café arábigo Sarchimor 4260 injertado en patrón robusta y no injertado, en etapa de crecimiento (Bachelor's thesis, Jipijapa-Unesum).

Millan Barreto, A. P. (2023). Eficiencia del manejo integrado de la broca del café (*Hypothenemus hampei* F.) en el rendimiento y calidad del café (*Coffea arabica* L.) en el distrito Providencia, Amazonas–2021.

Miranda, M. N. M. & Jiménez-Martínez, E., (2020). Evaluación de plaguicidas para el manejo de plagas del café *Coffea arabica* L. en Jinotega, Nicaragua. *La Calera*, 20(34), 20-28.

- Molina D. (2022). Revisión sobre la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) con énfasis en la resistencia mediante antibiosis y antixenosis. *Revista Colombiana de Entomología*, 48(2).
- Molina Viera, K. I. & Romero Suatunce, F. D., (2023). Evaluación de dos tipos de trampas y dos atrayentes para la captura de broca (*Hypothenemus hampei*) en el cultivo de café (Bachelor's thesis, Ecuador: La Maná: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC)).
- Molina, D. (2022). Revisión sobre la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) con énfasis en la resistencia mediante antibiosis y antixenosis. *Revista Colombiana de Entomología*, 48(2).
- Molina, P. C. P., Martínez, M. J. G., Ceballos, G. O., Cabrera, C. R. C., & Pérez, J. C. (2020). Fenómenos meteorológicos y su efecto sobre la producción de café en la Zona Central de Veracruz. *UVserva: revista electrónica de la Coordinación Universitaria de Observatorios de la Universidad Veracruzana*, (9), 47-58.
- Moral, F. L. 2004. Aplicación de la geoestadística en las ciencias ambientales. *Ecosistemas* 13(1): 78-86.
- Morales, C. O., (2020). Origen, historia natural y usos de las plantas introducidas en Costa Rica. *Cuadernos de Investigación UNED*, 12(2), 274-399.
- Moran-Carpio, N. D. J., (2023). Manejo de los factores de producción del cultivo de café (*Coffea arabica*) en el Ecuador". Tesis de licenciatura. Universidad Técnica De Babahoyo Facultad De Ciencias Agropecuarias Escuela de Agricultura, Silvicultura, Pesca Y Veterinaria. Babahoyo Ecuador. 44 p.

Oliveros, C. E., López, L., Buitrago, C. M. & Moreno, E. L., (2014). Determinación del contenido de humedad del café durante el secado en silos

Orozco Ortiz, Y. C., (2021). Caracterización de la Mezcla de Cacao Variedades CCN 51 (Colección Castro Naranjal) e ICS 39 (Imperial College Selections) Producido en la Finca García Ubicada en la Vereda Casiano del Municipio de Floridablanca.

Panhuysen S, Pierrot J. (2014). Barómetro de café 2014. *Revista Ensayos sobre Economía Cafetera*, 30,99-125. <https://doi.org/10.38141/10788/030-1-6>.

Paz R y Arrieche N. 2017. Spatial distribution of *Thrips tabaci* (Lindeman) 1888 (Thysanoptera: Thripidae) in Quibor, Lara State, Venezuela. *Bioagro*, 29(2): 123-128. <http://ve.scielo.org/pdf/ba/v29n2/art06.pdf>.

PÉREZ CONSTANTINO, A. U. R. E. L. I. O. (2023). ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO ESPACIAL DE LAS POBLACIONES DE ROYA DEL CAFÉ (*Hemileia vastatrix*) EN CAFETALES DEL ESTADO DE MÉXICO.

Pérez Constantino, A., Ramírez Dávila, J. F., & Figueroa Figueroa, D. K. (2023a). Infestación de broca del café, *Hypotenemus hampei* (Coleoptera: Scolitydae) en zonas cafetaleras del Estado de México, México. *Revista Colombiana de Entomología*, 49(1). <https://doi.org/10.25100/socolen.v49i1.12097>

Pérez Constantino, A., Ramírez Dávila, J. F., & Figueroa Figueroa, D. K. (2023). Infestación de broca del café, *Hypotenemus hampei* (Coleoptera: Scolitydae) en zonas cafetaleras del Estado de México, México. *Revista Colombiana de Entomología*, 49(1).

Pérez, J. I. J., Némiga, X. A., Gaytán, J. F. M., Cedillo, J. G. G., Plata, M. Á. B., Loik, M. E., ... & Sanabria, J. M. C. (2010). Variaciones climáticas en la Zona Metropolitana de la Ciudad de Toluca, Estado de México: 1960-2007. *Ciencia Ergo-Sum, Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva*, 17(2), 143-153.

- Pérez-Constantino A, Ramírez-Dávila JF, Gutiérrez-Rodríguez F, & Pérez-López DDJ. (2023). Comportamiento espacial de roya del cafeto en Amatepec, Estado de México. *Acta universitaria*, 33.
- Pérez-Constantino, A., Ramírez-Dávila, J. F., Gutiérrez-Rodríguez, F., & de Jesús Pérez-López, D. (2024). Comportamiento espacial de roya del cafeto en Sultepec, Estado de México, México. *Acta Agrícola y Pecuaria*, 10(1). <https://doi.org/10.30973/aap/2024.10.0101004>
- Pérez-Constantino, A., Ramírez-Dávila, J. F., Gutiérrez-Rodríguez, F., & de Jesús Pérez-López, D. (2024). Comportamiento espacial de roya del cafeto en Sultepec, Estado de México, México. *Acta Agrícola y Pecuaria*, 10(1). <https://doi.org/10.30973/aap/2024.10.0101004>.
- Pérez-Planells L, Delegido J, Rivera-Caicedo JP, & Verrelst J. (2015). Análisis de métodos de validación cruzada para la obtención robusta de parámetros biofísicos. *Revista de teledetección*, (44), 55-65.
- Perry J, Bell E, Smith R, Woiwod I, 1996. SADIE. Software to measure and model spatial pattern. *Aspects of Applied Biology*. 46: 95-102
- Ponce, A. T. O., (2020). Centro de producción y venta de café en la comunidad de Apantilla, Jalpan, Puebla Tesis de licenciatura. Universidad de las Américas Puebla. Puebla México. 151 p.
- Quiñones-Valdez, R., Sánchez-Pale, J. R., Pedraza-Esquível, A. K., Castañeda-Vildozola, A. & Franco-Mora, O. (2016). Distribución espacial de la roya transversal (*Uromyces transversalis*) del gladiolo durante el ciclo primavera-verano en la región sureste del estado de México. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo*, 48(2), 209-220.
- Quispe-Huanca, M. E., (2016). La exportación de café y su contribución al crecimiento económico Bolivia 1990-2012 .Tesis de licenciatura. Universidad

Mayor de San Andres Facultad de Ciencias Economicas y Financieras . La Paz Bolivia. 138 p.

Ramírez Dávila, J. F., & Porcayo Camargo, E. (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(1), 28-38.

Ramírez, J. F., Porcayo-Camargo, E., & Sánchez, J. R. (2013). Modelización de la distribución espacial de *Bactericera cockerelli* Sulc.(Hemiptera: Triozidae) en *Solanum tuberosum* L.(Solanales: Solanaceae). *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 45(2), 13-27.

Ramírez-Dávila JF y Porcayo-Camargo E., (2008). Distribución espacial de las ninfas de *Jacobiasca lybica* (Hemiptera: Cicadellidae) en un viñedo en Andalucía, España

Ramírez-Dávila, J. F., & Porcayo-Camargo, E. (2009). Estudio de la distribución espacial del muérdago enano (*Arceuthobium* sp.) en el Nevado de Toluca, México, utilizando el Método del SADIE. *Madera y bosques*, 15(2), 93-112.

Rivera-Martínez R, Ramírez-Dávila JF, Tapia Rodríguez A, Figueroa Figueroa DK, Acosta Guadarrama AD, & Serrato Cuevas R. (2022). Comportamiento espacial del barrenador de la rama en aguacate utilizando el método del SADIE en el Estado de México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 13(2), 247-259.

- Rivera-Martínez, R., Ramírez-Dávila, J. F., & Acosta-Guadarrama, A. D. (2018). *Distribución espacial de las poblaciones de huevos de Bactericera cockerelli Sulc. en el cultivo de tomate de cáscara (Physalis ixocarpa Brot.)*. Acta universitaria, 28(5), 24-33.
- Rodríguez AT, Dávila JFR, Siclán MLS, Vildózola, ÁC, Zamora FIM, & Díaz, AVL. (2020). Distribución espacial de antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides* Penz) en aguacate en el Estado de México, México. *Revista argentina de microbiología*, 52(1), 72-81.
- Rodríguez, A. T., Dávila, J. F. R., Siclán, M. L. S., Vildózola, Á. C., Zamora, F. I. M., & Díaz, A. V. L. (2020). Distribución espacial de antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides* Penz) en aguacate en el Estado de México, México. *Revista argentina de microbiología*, 52(1), 72-81.
- Rojo-Jiménez, E., y Pérez-Urria, C. E., (2014). *Café I (G. Coffea) Reduca (Biología)*. Serie Botánica. 7 (2): 113-132.
- Rubí-Arriaga, M., González-Huerta, A., Franco-Mora, O., Ramírez-Dávila, J. F., López-Sandoval, J. A., & Hernández-Flores, G. V. (2014). Inventario de especies frutales y aspectos etnobotánicos en Sultepec, Estado de México, México. *Phyton (Buenos Aires)*, 83(1), 203-211.
https://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1851-56572014000100026&script=sci_arttext
- Sánchez, S. V., Bueno, D. O., y Jara, P. P., (2018). La realidad Ecuatoriana en la producción de café. *Revista Científica de la Investigación y el Conocimiento* 2(2): 72-91. DOI: 10.26820/recimundo/2.(2).2018.72-91
- Santiago-Hernandez, I., Acosta-Ramos, M., Vargas-Hernández, M., Lima, D. L., & Salinas-Castro, A. (2023). Un nuevo sistema de monitoreo para la broca del café *Hypothenemus hampei* Ferrari, 1837 (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) en México. *Revista chilena de entomología*, 49(3), 547-555.<http://dx.doi.org/10.35249/rche.49.3.23.14>

- Tablas-González I, Guerrero-Rodríguez, JDD., Aceves-Ruiz E, Álvarez-Calderón NM, Laínez-Loyo E, & Olvera-Hernández JI. (2021). El cultivo de café en Ojo de Agua de Cuauhtémoc, Malinaltepec, Guerrero. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 12(6), 1031-1042.
- Tapia Rodríguez, A., Ramírez Dávila, J. F., Aquino Martínez, J. G., Arriaga, M. R., & Ruiz Orta, A. (2021). Determination of the spatial behavior of anthracnose in avocado cultivation using spatial statistics. *Investigación Agraria*, 23(2), 63-72. <https://doi.org/10.18004/investig.agrar.2021.diciembre.2302697> .
- Vargas, L., O. (2022). Causas y consecuencias de problemas fitosanitarios en el café de San Luis Potosí, México. *Revista Inclusiones*, 98-126
- Viera, M. A. D., & González, R. C., (2002). *Geoestadística aplicada*. Instituto de Geofísica, UNAM-Instituto de Geofísica y Astronomía, CITMA. Cuba
- Zepeda, V., Golubov, J., y Mandujano, M. C., (2017). Distribución espacial, estructura de tamaños y reproducción de *Astrophytum ornatum* (Cactaceae). *Acta botánica mexicana*, (119), 35-49.

VII. Otros resultados:

7.1. Carta de recepción:

12/2/24, 2:28 PM Correo: hausen rahf - Outlook

Outlook Buscar

Inicio Ver Ayuda

Nuevo Ignorar Bloquear Eliminar Archivar Denunciar Responder Limpiar Mover Reglas Leído / No Clasificado

El almacenamiento está casi lleno (94%). No puedes enviar ni recibir mensajes si te quedas sin almacenamiento.

Favoritos

- Elementos eliminados 142
- sistemas.revistas@correounivalle...
- filiberto osorio
- Anatihu Ruiz
- Elementos enviados

Carpetas

- Bandeja de entrada 1951
- Correo no deseado 34
- Borradores 79
- Elementos enviados
- Elementos eliminados 142
- Archivo
- Notas
- Historial de conversaciones

Grupos

- OIC-PROBOSQUE
- [Nuevo grupo](#)

Almacenamiento de Microsoft X

4.7 GB usados de 5 GB (94%)

[Obtener más almacenamiento](#)

RV: NENT-D-24-00406 - Submission Confirmation

em.nent.0.8f3553.0f91b5b1@editorialmanager.com <em.nent.0.8f3553.0f91b5b1@editorialmanager.com> en nombre de Neotropical Entomology <em@editorialmanager.com>

Enviado: lunes, 4 de noviembre de 2024 22:09

Para: Jose Francisco Ramirez Davila <jframirez@uaemex.mx>

Asunto: NENT-D-24-00406 - Submission Confirmation

Dear Dr. Ramírez Dávila,

Thank you for submitting your manuscript, "Spatial variability of the coffee berry borer (*Hyphothenemus hampei* Ferrari), in coffee-growing municipalities in the State of Mexico.", to Neotropical Entomology

The submission id is: NENT-D-24-00406
Please refer to this number in any future correspondence.

During the review process, you can keep track of the status of your manuscript by accessing the following web site:

Your username is: José FranciscoRamírez Dávila
If you forgot your password, you can click the 'Send Login Details' link on the EM Login page at <https://www.editorialmanager.com/nent/>.

Springer offers authors the option of making

RV: NENT-D-24-0040... RV: Editor's decis... X

7.2. Artículo

Spatial variability of the coffee berry borer (*Hyphothenemus hampei* Ferrari), in coffee-growing municipalities in the State of Mexico.

Ulises Patricio Gómez¹; Fidel Lara-Vázquez¹, José Francisco Ramírez-Dávila^{1&}, Aurelio Pérez-Constantino¹
Agustín David Acosta-Guadarrama², Federico Benjamín Galacho-Jiménez³, Dulce Karen Figueroa-Figueroa².

¹Facultad de Ciencias Agrícolas-Universidad Autónoma del Estado de México. Carretera Toluca Ixtlahuaca km 15.5, El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca Estado de México. México. CP. 50295. Tel. 722 2965529 (upatriciogomez@gmail.com 0009-0001-7493-3714; flarav_s@uaemex.mx; 0000-0001-9783-296X paijas_aure@hotmail.com 0000-0002-4350-5418).

²Unidad de Estudios Superiores Coatepec Harinas-Universidad Mexiquense del Bicentenario. Ejido San Luis, El Reynoso, Coatepec Harinas, Estado de México. CP. 51700. Tel. 722 5185660 (agustin.acosta@umb.mx 0000-0001-5301-077X; dulce.figueroa@umb.mx 0000-0002-1482-5295).

³Universidad de Málaga, Departamento de Geografía, Grupo de Análisis Geográfico, Málaga, España. CP 29071. Tel: 952132172 (fbgalacho@uma.es; 0000-0003-0355-2719).

Author for correspondence: &jframirez@uaemex.mx 0000-0002-8625-4655

Abstract

Coffee cultivation in Mexico is of utmost importance as it helps to improve the livelihoods of small producers who produce about 70 %, It should be mentioned that this crop faces serious challenges, mainly the coffee berry borer, because of this, many producers tend to use chemicals for control, The aim is therefore to establish and model using spatial statistical methods (Geostatistics and distance indices SADIE), the spatial behaviour of coffee berry borer populations in coffee-growing municipalities in the State of Mexico, where handmade ECO-IAPAR traps were used, by sampling every month, In total, 16 traps were occupied at a distance of 20 to 25 m, therefore, it was possible to obtain spatial distribution maps by Ordinary Kriging and to estimate the infested area. the results indicate that the incidence of coffee berry borer is variable and correlates with environmental factors, the distribution is of an aggregate type, the semi-variograms theoretical models were adjusted: Gaussian, Spherical and Exponential, in this way, the spatial statistic (Geostatistics and distance indices SADIE)

allow the identification of areas of pest incidence as pests are not distributed over the whole plot, allowing the identification of infested and free areas, which in turn facilitates the creation of more efficient management plans and control of phytosanitary phenomena, the result is more environmentally friendly control, as well as economic savings for the producers.

Keywords: Spatial distribution, Geostatistical, Incidence, plague, SADIE.

Introduction

In Mexico, coffee cultivation represents a viable alternative to improve the living conditions of small coffee producers (Fonseca, 2006), the small-scale producers together with rural workers and their families produce about 70 % of this crop, while women make up half of the workforce and play a key role that has gone unnoticed for years, they also play an important role in the labour market (Panhuysen y Pierrot, 2014), coffee growing is an activity of great importance for the peasant and indigenous population living in the mountainous areas of central and southeastern Mexico.

It is a crop of worldwide economic importance, since its seeds, roasted, ground and infused, are the most widely consumed non-alcoholic beverage in the world, today, their processing and marketing is estimated to mobilise more than 70 billion dollars a year and generate jobs for more than 125 million people (Jiménez, 2014), In Mexico, 91.5 % of coffee production in 2019 was contributed by the states of Chiapas (35.0 %), Veracruz (20.8 %), Oaxaca (18.9 %), Puebla (10.2 %) and Guerrero (6.5 %). (Tablas et al., 2021).

This crop, like other crops of commercial interest, is attacked by pests of phytosanitary importance, such as the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* Ferrari; Coleoptera: Curculionidae. It is the most important insect pest in this crop, work has been carried out for more than a century, it should be noted that this insect lives inside the coffee fruit, where the females begin to build their galleries in the endosperm, to later deposit their eggs, continuing with the cycle looking for another berry (Mendoza et al., 2021), the coffee berry borer represents a challenge for coffee growers, this pest causes significant damage such as the reduction of the quantity of beans in the harvest, due to the fall of the fruits before ripening, directly affecting the quality, resulting in a decrease in weight of up to 45 % (Molina, 2022).. Losses have been estimated at more than \$500 million dollars annually in world coffee production, with losses in Mexico estimated at \$772,205 U.S. dollars

(Pérez et al., 2023a). Coffee producers often use synthetic insecticides to control *H. hampei*, such as Endosulfan and Chlorpyrifos, which are considered highly dangerous and toxic as they damage the environment and cause damage to the health of producers and also affect the communities surrounding coffee plantations. (Mendoza et al., 2021). Given the magnitude of the impact of this pest, it is essential to implement strategies that allow it to be precisely located within the plots. This is where tools such as geostatistics and Distance Indices (SADIE) become relevant as these techniques model the spatial distribution of pests and diseases, allowing managers to carry out specific management strategies on economically important crops.

Geostatistical methods for measuring the spatial dependence of insects provide a more direct measure of spatial dependence, because they take into account the two-dimensional nature of the distribution of organisms through their precise spatial location, it also allows mapping through the Ordinary Kriging method, which helps to identify areas with high or low infestation, detect patterns of aggregation and thus make informed decisions on pest control and prevention. With this information, control measures can be implemented in critical areas and resources can be prioritised in a more efficient and effective way (Dávila et al., 2024). On the other hand, distance indices (SADIE), developed by Dr. Joe N. Perry at the Department of Entomology and Haematology at Rothamsted Experimental Station in the UK, is a tool that facilitates the understanding of how data are distributed in two dimensions, using distance indices. This method not only identifies clustering patterns, but also assesses how much these patterns deviate from what would be a random distribution. Using an algorithm that simulates the dispersion of individuals from a point of origin by assigning each one a dynamic territory, which allows us to better understand their behaviour and how they organise themselves in space (González et al., 2022; Rivera et al., 2022). Therefore, the aim of this study was to determine the spatial variability of *H. hampei* in coffee cultivation using spatial statistics (geostatistics and SADIE distance indices) in order to contribute to the knowledge of its spatial distribution and to be able to direct control actions more efficient, contributing to the reduction of the environmental impact, as well as economic savings for small producers, obtaining safer products (Rivera Martínez 2022; González-Dávila 2022, Espinoza Zúñiga 2024).

Materials and methods

Study area and Pest Sampling

A phytosanitary cordon was carried out in the municipalities of: Amatepec, Tejupilco, Tlatlaya and Sultepec, belonging to the State of Mexico, to identify boundaries of free zones, and those with presence of coffee berry borer, the climatic conditions in the municipality of Amatepec have a semi-warm, sub-humid climate, with an elevation of between 1389 m. a.s.l., an average annual rainfall of 2200 mm and a temperature of 23 °C. (Pérez et al., 2023), Meanwhile, the municipality of Tejupilco is located at the coordinates 18°54'21"N 100°09'10"W, it has a warm-rainy climate and an annual minimum and maximum temperature of 15 and 30 °C, the municipality of Tlatlaya is geographically located at the coordinates 18°37'01"N 100°12'29"W. It has a warm sub-humid climate with rainfall in summer, its average annual rainfall is 336.5 mm and its average annual temperature is 20.1 °C (Aguilera et al., 2016), finally, the municipality of Sultepec is geographically located at the coordinates (18°52'00"N 99°57'00"W) where a semi-warm, sub-humid climate with rainfall in summer and warm sub-humid with rainfall in summer predominates, precipitation usually varies between 1000 to 2000 mm annually and the temperature ranges between 14 to 26 °C.

The experiment was carried out in plots dedicated to coffee cultivation with caturra and typical cultivars, coffee berry borer sampling was carried out using a year-round coffee berry borer trapping method, with a density of 16 traps/ha. The traps were checked every 30 days during the evaluation period (January to December 2023). The traps used were handmade traps of the ECO-IAPAR type, which consists of using a disposable plastic bottle, this will have an opening in the central part, this to allow the diffusion of the attractant and the entrance of the drill bit, the attractant is based on three parts methanol to one part ethanol, it is placed in the lower part of the plastic container where the drill bit is trapped in the lower container which contains water, this trap was attached to one of the branches of the bush at a height of between 1.0 and 1.5 m from the ground (Barrera et al., 2004) which were placed at a distance of 20 to 25 metres in the middle part of the plants in a zig-zag formation. (Pérez et al., 2023).

Measurement of phenological stages of the crop

Coffee, due to its limited climatic range, has proven to be sensitive to various meteorological phenomena, pests and diseases, so that the low adaptation of coffee trees increases the impact on their development and consequently on production (Molina et al., 2020), and is therefore affected by pests such as the coffee berry borer. The coffee fruit is food for each of the stages of the phenological cycle of *H. hampei* Ferrari since the

larva and adult female feed on the coffee fruit, in addition, it provides the pest with a means to complete its life cycle numerous times, so the phenological state was measured in ten coffee trees, these in four plots of half a hectare per municipality, where the objective was to record the number of bushes with buds (process in which the coffee plant starts to generate new shoots or buds) and flowering (process leading to the beginning of the reproductive phase of the plant), On the other hand, from the same trees, a bandola was selected in the middle stratum to record the number of fruits in different stages such as milky fruit, consistent fruit and ripe fruit, in the latter the colour of the fruit changes from green to red or yellow, depending on the species, in order to determine and delimit the phenological stage that causes most damage in the study area during the cycle of the evaluated crop (Barrera et al., 2006).

Geostatistical analysis

According to Villarreal (2022), geostatistics is a process that involves the calculation of the experimental semivariogram, the adjustment of this to a theoretical model, the validation of the model to be used and finally the interpolation and elaboration of maps using the Ordinary kriging technique, since this tool is a step that provides the best results during the analysis where the objective is the estimation of one or more variables in space, for the present the data obtained were subjected to the kurtosis test and the coefficient of variability, determining a normal distribution (Moral, 2004), experimental semivariograms were generated for each H. hampei sample and fitted to pre-set models ‘Spherical, Exponential and Gaussian etc’, ‘the experimental semivariogram was calculated with the following expression, using the variowin 2.2 (software for spatial data analysis) (Perez et al., 2024; Grosso et al., 2022). The model parameters evaluated included the nugget effect (Co), the plateau (C) and the range (a) (Espinoza et al., 2024).

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

Where: $\gamma^*(h)$ is the experimental value of the semi-variogram for the distance interval h ; $n(h)$ is the number of pairs of sample points separated by the distance interval h ; $z(x_i)$ is the value of the variable of interest at sample point x_i and $z(x_i + h)$ is the value of the variable of interest at sample point $x_i + h$.

Cross-validation

Cross-validation gives a better result for non-parametric regression methods. (Pérez-Planells et al., 2015), which consists of removing a data point from a variable that has been evaluated and thereby generating a predictive value at the location of the removed point and thus with the existing data or those that are to be evaluated (Henríquez et al., 2013) to validate the theoretical models for each sampling of *H. hampei*, the procedure called cross-validation was used, during the model validation the best possible fit was sought through an interactive process, using the program Variowin 2.2 (Maldonado et al., 2016)..

Level of spatial dependency

It was evaluated according to a scale derived from the proportion of non-structural variance to total variance. (Grosso et al., 2022). To determine the level of spatial dependence, the nugget effect was divided by the plateau and expressed as a percentage, if the result is less than 25 % the level of spatial dependence is considered high, on the other hand, if the value obtained is between 26 % and 75 % the spatial dependence is considered moderate and if it is higher than 76 % it is considered low (Rodríguez et al., 2020).

SADIE

SADIE was developed by Dr. Joe N. of the Department of Entomology and Experimental Nematology Station, this tool incorporates a biological model for the dispersal of individuals from an origin in which each individual is assigned a dynamic territory. (Rivera Martínez, 2022), its calculation is included in the aggregation index I_a with its P_a (probability of aggregation) and the aggregation index J_a with its ratio called Q_a (probability of clustering) (Espinoza et al., 2024), the sample is aggregated with $I_a > 1$, is random with $I_a = 1$ and is regular if $I_a < 1$, likewise, if $J_a > 1$ the sample is aggregated, if $J_a = 1$ it is spatially random and if $J_a < 1$ the sample is regular. The values of the J_a index are used to confirm the results obtained with the I_a index. (Gonzalez-Dávila 2022).

Incidence mapping (Krigado)

The maps were created with the help of Surfer 16 software, which employs the interpolation method known as Ordinary Krigado, which was used to obtain the estimate of the pest density in areas where the pest was not found to be present (Ramírez et al., 2010), this approach ensures that the maps generated adequately reflect the

spatial distribution of the data, in real time providing valuable information on areas where direct measurements have not been made (Espinoza et al., 2024).

Results

Measurement of phenological crop stages

The results obtained during the study period show that during the monthly revisions it was possible to identify the different phenological stages of coffee cultivation in the study area; with respect to sprouting, there was great variability, being present in all the samplings, with at least six plants with buds present in the month of February and a maximum of 160 coffee plants in the month of May (Table 1), With respect to flowering in the months of August to January, no presence was recorded, with records for the months of February to July with variability, as for flowering the minimum record was obtained in the month of June with four coffee trees and the maximum in the month of June with 160 coffee trees, as shown in the following (Table 2) later, milky fruits were checked, where data could be obtained in the months of July to November, in the months of December to June the value of milky fruits was zero, likewise there was presence in the months of July and August, with a minimum of 32 milky fruits in the month of October and a maximum of 460 fruits in the month of July, as can be seen in Table 1, Regarding the consistent fruits we can find a minimum of 90 fruits in March and a maximum of 734 fruits in November (Table 1). Finally, for the ripe fruits it could be observed that most of the months had a certain amount of fruits with the exception of July, August and September with a minimum of 22 ripe fruits in June and a maximum of 800 fruits in March (Table 1).

Table 1: Measurement of the phenological state of coffee trees in the coffee producing area of the State of Mexico.

Month	Coffee trees		fruits		
	Outbreak	Flowering	Milky	Consistents	Ripe
Fanuary	15	0	0	400	480
February	6	8	0	350	790
March	30	70	0	90	800

April	90	90	0	0	102
May	160	125	0	0	22
June	80	160	0	0	31
July	75	4	460	280	0
August	10	0	280	560	0
September	40	0	100	660	0
October	40	0	32	730	120
November	22	0	35	734	144
December	20	0	0	704	300

Geostatistical analysis

The analysis of the data obtained (Table 2) showed the incidence of CBB in the crop in the sites sampled in the four municipalities of the State of Mexico. In January, 19 CBB individuals were collected in the plots sampled for the study, which indicates a low infestation rate compared to February, a slight increase in collection was recorded, reaching 25 specimens, which may be linked to an increase in the pest, due to environmental factors, while in March, the incidence was again significantly reduced to eight berry borers detected, this could be linked to different reasons or to a lack of initial intervention in the management of the pest. The period from April to August is notable for the total absence of incidences, as the presence of *H. hampei* was not detected in the traps, given that these months are harvest time, there are ripening grains, and the CBB prefers to go to the grain and stop falling into the traps, in September a change of trend was evident, with a record of 69 CBB. This trend continued with an increasing volume in October with 79 berry borers, and in November 279 CBB were captured, which indicates that the number could be related to the poor control during the previous months and the high adaptability of the pest to the climatic conditions of the local environment, for december, the volume had fallen to 61 berry borers, which suggests that the unfavourable climatic conditions, in addition to the control attempts, were already leading to a reduction of *H. hampei*. This trend shows that the pest requires continuous and adaptive management, especially in areas where the crop is of major economic importance.

May	-	-	-	-	-	-	-	-
June	-	-	-	-	-	-	-	-
July	-	-	-	-	-	-	-	-
August	-	-	-	-	-	-	-	-
September	69	1.39	Gaussian	0	7124.3	3.12	0	High
October	79	0.72	Exponential	0	5830	1.55	0	High
November	279	1.38	Spherical	0	1102	1.43	0	High
December	61	0.22	Gaussian	0	6984.0	0.75	0	High

SADIE distance indices

The results obtained from the spatial analysis by distance indices (SADIE) in the samplings carried out in the four municipalities (Amatepec, Tejupilco, Tlatlaya and Sultepec) showed values found for the I_a index between the lowest with 1.34 in the month of January and the highest with 1.72 in the month of November, in all the samplings the I_a index was significantly higher than one, this with respect to its probability P_a , which indicates an aggregated spatial distribution (Table 3), With respect to the J_a index, the highest value was recorded in December with 1.19 and the lowest in February with 1.07, the J_a index in all the samplings carried out was also significantly higher than one, this taking into account its probability Q_a , this result confirms the aggregation found by the I_a index (Table 3), indicating that the spatial distribution of *Hyphothenemus hampei* populations shows aggregate patterns (index I_a) in several clustering aggregates (index J_a).

Table 3. Value of indices I_a and J_a and their respective probabilities P_a and Q_a in CBB H. *Hampei* Ferrari populations by sampling sites.

	<i>I_a</i>	<i>P_a</i>	<i>J_a</i>	<i>Q_a</i>
January	1.34	0.011 ^s	1.10	0.256 ^{ns}
February	1.51	0.007 ^s	1.07	0.168 ^{ns}
March	1.45	0.019 ^s	1.16	0.184 ^{ns}
April	-	-	-	-
May	-	-	-	-
June	-	-	-	-
July	-	-	-	-
August	-	-	-	-
September	1.63	0.015 ^s	1.15	0.285 ^{ns}
October	1.66	0.009 ^s	1.18	0.357 ^{ns}
November	1.72	0.019 ^s	1.12	0.273 ^{ns}
December	1.50	0.018 ^s	1.19	0.322 ^{ns}

Note: ns: not significant at 5%; s: significant at 5%.

Density maps

Based on the density maps elaborated through the Ordinary Kriging in each of the samplings, the level of infestation of the CBB present in the bushes can be visualised, several colours were used, white indicates that there is no presence of the pest on the other hand the red colour indicates that there is a higher incidence of the pest within the study area Figure 1.

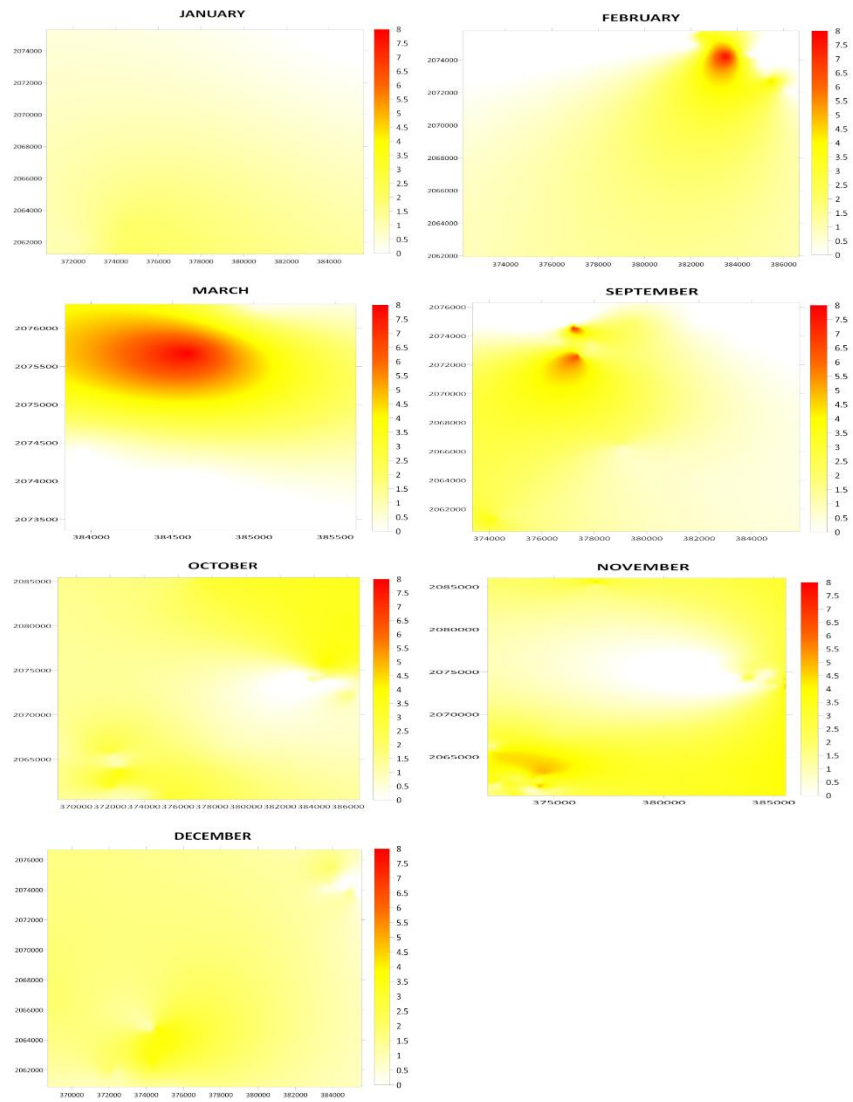


Figure 1. Spatial distribution maps of Coffe berry borer *H. Hampei* Ferrari populations, through Ordinary Kriging, by sampling sites.

Infested area

The percentages of infested area indicate that during the sampling period in the four municipalities reached 99 % in the month of January. The lowest infested area registered an infestation percentage of 65 % in March (Table 4). The information can be better visualized in the incidence maps (Figure 1) where the aggregation of the pest can be observed, where the aggregation patterns are indicative of the presence of interactions between the coffee berry borer and the environment or even among the organisms themselves. The maps show free areas or infested areas with different percentages each, since the CBB is present mainly in the months of January, February, March, September, October and November.

Table 4: Percentage of infested and non-infested area of CBB *H. Hampei* Ferrari populations, through Ordinary Kreado, by sampling sites.

Mes	% infested	% not infested
January	99	1
February	89	11
March	65	35
April	-	-
May	-	-
June	-	-
July	-	-
August	-	-
September	73	27
October	90	10
November	87	13
December	96	4

Discussion

Measurement of phenological stages of the crop

The analysis of the data obtained showed the incidence of the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei* Ferrari) in the coffee crop in the State of Mexico. In January, 19 individuals of coffee berry borer were collected in the bushes that were subjected to the study, which indicates a low infestation rate, according to Santiago et al., (2023), points out that the percentage of infestation per bush is high when it reaches more than 1% in beans, generating losses in production ranging from 0.26% to 0.47%, since the beans do not ripen. On the other hand, it points out that at infestations higher than 10% there can be a loss of 5.087 kg per quintal of parchment coffee, so that the data obtained were low due to the level of infestation detected. This figure suggests that the climatic conditions of the month were unfavorable for its propagation. With respect to February, there was a slight increase in the collection, reaching 25 specimens, which may be linked to a potential increase of the pest reaching a change in the initial conditions. According to Bacca et al. (2021), this absence can be related to several factors such as climatic variability associated with drought, temperature and precipitation, which have indicated an evident influence on the population dynamics of *H. hampei* Ferrari. For the month of March, the incidence decreased again to eight berry borers detected. This could be linked to different reasons or to an initial intervention in the management of the pest. The period from April to August stands out for the total absence of incidences, since the presence of *H. hampei* was not detected in the crop; it is a relatively new pest in the State of Mexico, which could be indicative that it has not yet established in this area. According to Pérez Constantino (2024), the presence of the coffee berry borer began to be reported in 2017, although it should be noted that it was only in a small region of the municipality of Malinalco, so in other coffee-growing regions of the State of Mexico its presence had not been detected.

It is also important to consider that the life cycle of *H. hampei* is related to altitude, Santiago et al, (2023) mentioned that below 1300 m a.s.l. and at temperatures above 21 °C, the maturation stage in the phenological cycle of the borer is shorter, so that infestation within the crop is usually faster; on the other hand, at higher altitudes it is more common to find temperatures below 20 °C, which considerably affects the time between maturation and flowering, which is usually longer, affecting the availability of ripe grains and thus reducing the optimal resource for the reproduction and distribution of the pest, according to Bacca et al., 2021 climatic variability associated with temperature, precipitation and drought have shown a great influence on the population dynamics of the pest, so that temperature is one of the most important factors, since its cycle depends mainly on it, in addition this variable is determinant for its reproduction, development and plays an important

role in determining the rate of development of the pest within the coffee cherries. It is known that in this type of conditions it can temporarily interrupt its life cycle to remain waiting for more favorable conditions to resume its activity.

In September, a change in trend was evident, with an increase in the pest, with 69 burs, which seems to indicate that the humid conditions facilitate the spread of the pest. This trend continued with an increasing volume in October, with 79 burs, indicating a reactivation of the population, due to the fact that the samples taken during that month showed 279 burs, which indicates that the number could be related to the poor control during the previous months and to the high adaptability of the pest to the climatic conditions of the local environment.

By December, the volume had dropped to 61 berry borers, which suggests that unfavorable weather conditions, in addition to control attempts, were already causing a reduction of *H. hampei*. This trend shows that the pest requires continuous and adaptive management, especially in areas where the crop is of great economic importance.

The coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) is a serious threat to coffee productivity and quality, according to Diana Molina 2022, who mentions that through research with small coffee growers, data was obtained showing that cultural control is usually the most efficient practice for the control of the CBB and that it is adopted by 98% of coffee growers, being considered the most efficient and economically viable method to reduce the incidence of *H. hampei*, since it is affected by the premature fall of young fruits while the more developed fruits that remain on the tree until harvest lose their commercial value, causing a decrease in the weight of the bean. *H. hampei*, since it is affected by the premature fall of the young fruits while the more developed fruits that remain on the tree until harvest, lose their commercial value, which causes a decrease in the weight of the bean that once damaged reduces its commercial value (Chuaire et al., 2024).

Geostatistical analysis

Based on the data obtained during the study period (January to December 2023), seven theoretical semivariograms (January, February, March, September, October, November, and December) were developed and fitted to different theoretical models (Pérez Constantino et al., 2024), Most of the theoretical semivariograms (January, February, March, September and December) were adjusted to Gaussian models, while the month of October was adjusted to the Exponential model and the month of November had an adjustment to

the Spherical model. When the theoretical model is adjusted to Gaussian models, this indicates that the spatial behavior of the pest is continuous, which implies that the advance is towards a large number of surrounding susceptible areas, as well as Figueroa-Figueroa et al. (2023), in their study indicate that the theoretical models that fit the Gaussian models, the pest is expressed continuously within the plots, which implies that the advance of infestations is between neighboring plots, Quiñones-Valdez et al., (2016), points out that the theoretical Gaussian models allow explaining the spatial distribution and the capacity of dissemination, that is to say, that the appearance of a pest in a tree leads to the appearance of the surrounding susceptible trees. For the theoretical semivariograms that fit the exponential model, they indicate that the populations of *H. hampei*, in biological terms, occur in irregular limits between coffee plots, determining a discontinuous spatial distribution, According to Rodriguez et al. (2020), Exponential models indicate that pests have a tendency to increase at an accelerated rate, creating well-defined patches or clusters within the plots, Likewise Paz and Arrieche (2017), indicate that the total data analysis sampled in their study had exponential models, concluding that the spatial distribution of the pest responds to a pattern of distribution in aggregates or in patches in well-defined areas within the crop.

The spherical models indicate that the aggregations are in specific areas within the coffee plots with respect to the rest of the sampling sites and that *H. hampei* moves from a given location to other locations within the plot, presenting a rapid growth next to its origin, however, the growths are decreasing as the distance increases, for their part, Ramírez et al. (2013), indicate that the theoretical models that were adjusted to the spherical model in their work, follow that the aggregation of the pest manifests itself more in certain specific points within the plots, indicating the existence of aggregation centers that were possibly originated by abiotic conditions, in the analysis of the experimental semivariograms the nugget effect was zero; so it can be deduced that this value represents that the sampling scale used was the indicated one and the sampling error was minimal (Rivera et al., 2018), the data are correlated in meters, the range levels tend to vary from 1102 meters as minimum and 7200 meters as maximum, which can be interpreted as the range of *H. hampei*, this spatial correlation is indicating that coffee plots at a certain distance from an infected plot are more likely to be infected than plots farther away, According to Figueroa-Figueroa (2023), the distances obtained from the range indicate that there is a very significant probability that plots adjacent to infected plots will be plagued in a short period of time, on the other hand, Quiñones-Valdez et al. (2016), Indicates that the result of the range could be related to the behavior of the physical conditions within the plots, The level of spatial dependence in all samples was high,

which implies that the aggregation found will remain over time, determining stable ecological niches that allow us to assume the existence of favorable environmental conditions for the development of *H. hampei*. The results are in agreement with those obtained by Ramírez and Porcayo (2010) in their comparative study of the spatial distribution of the coffee berry borer, who determined a high level of aggregation on biotic factors associated with the spatial distribution of *H. hampei*. Using geostatistics, it was found that the spatial structure of the coffee berry borer is aggregated (Rodríguez et al., 2020), which would make it important to carry out further studies to evaluate the spatial autocorrelation between the coffee berry borer and its host.

SADIE indices

In relation to the values obtained with the SADIE distance indices, in the samplings carried out, with respect to the *Ia* index, this was significantly greater than one in all cases during the test period; these results suggest that *H. hampei* is distributed in aggregate patterns. The results obtained with these indices (*Ia* and *Ja*) showed in all cases a spatial structure in aggregates of the CBB populations, thus demonstrating greater efficacy than non-spatial indices (Ramírez-Dávila et al. 2009). With respect to the values of the *Ja* index, similar results were obtained, since they were significantly greater than one in all samples, indicating that *H. hampei* is located throughout the surface concentrated in aggregations (Lara-Vázquez 2023). This can be seen visually in the maps obtained, confirming what is indicated by the *Ia* and *Ja* indices, Tapia Rodríguez et al., (2021) mention that when values are obtained that are not significantly different from unity, the results of the populations of the variable tend to be distributed in the sampling zone in more than one aggregation center. The results obtained show that it is possible to direct control measures towards specific areas of infestation, reducing the intensity of environmental damage caused by the excessive use of chemicals to control the CBB, so it can be said that SADIE is a useful tool for detecting the effect that abiotic conditions have on the spread of the pest (Anaya et al., 2010).

Maps and percentage of infestation

The elaboration of maps based on the Ordinary Kriged method has been used in studies of the spatial behavior of pests and diseases since they are very useful for carrying out targeted control measures, which helps to significantly reduce losses caused by pests (Figuroa-Figuroa et al., 2023). This maps according to Barrera-Rojas et al., (2023) mentions that the identification of the spatial and temporal stability of the distribution of

pests through the use of incidence maps is of great help, since the application of chemical products for the combat of pests and diseases can be carried out with greater precision according to the sites of aggregation within the plots, in addition, the percentage of infestation according to Bacca et al., (2021) indicate that the higher the percentage of shade, the lower the infestation of the CBB, therefore, a higher percentage of light directly affects the incidence of the pest in the bushes, in addition to indicating the areas in which the pest is distributed, these maps help to determine the percentage of infested area. Finally, it should be noted that CBB infestation is not 100% distributed in the plots (Martínez-Martínez et al., 2021), since each month of the study showed different percentages.

The purpose of this type of work is to modify the paradigms of conventional agriculture, since they are very useful to optimize the use of agricultural inputs based on the quantification of spatial and temporal variability, carrying out pest control programs for the benefit of producers and the environment. In this way, these technologies are gradually being accepted and used in the agricultural sector, with the aim of producing more innocuous and environmentally friendly products.

Conflicts of Interest

The authors who participated in this publication made significant contributions to the manuscript; all authors agree and express that there are no conflicts of interest in this study.

Contribution of the authors

The concept and design of the experiment were prepared by all authors. APC and UPG carried out the experiments, analyzed the data, and prepared the original manuscript. JFRD, FLV, UPG, DKFF, ADAG, FBGJ contributed to editing, analysis and interpretation of data. All authors also contributed to the revision of the manuscript. All authors read and approved the manuscript.

References

- Aguilera-Gómez, L. I., Rivas-Manzano, I. V., & Aguilar-Ortigoza, C. J. (2016). El bosque tropical subcaducifolio en dos cañadas de Tlatlaya, Estado de México. *Polibotánica*, (41), 1-29.
- Aguilera-Gómez, L. I., Rivas-Manzano, I. V., & Aguilar-Ortigoza, C. J. (2016). El bosque tropical subcaducifolio en dos cañadas de Tlatlaya, Estado de México. *Polibotánica*, (41), 1-29.
- Anaya, D. M., & Rubio, O. R. G. (2010). Análisis espacial por índices de distancia (Sadie) de *Lophophora williamsii* en tres parcelas con diferente grado de perturbación en San Luis Potosí. *Laboratorio de Ecología, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Autónoma de Querétaro*.
- Anaya, D. M., & Rubio, O. R. G. (2010). Análisis espacial por índices de distancia (Sadie) de *Lophophora williamsii* en tres parcelas con diferente grado de perturbación en San Luis Potosí. *Laboratorio de Ecología, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Autónoma de Querétaro*.
- Bacca, T., Delgado-Gualmatan, W. L., Lagos-Burbano, T. C., & Gutiérrez, Y. (2021). Efecto de la altitud y del sombrío del café sobre la infestación por *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) en Nariño, Colombia. *Boletín Científico. Centro de Museos. Museo de Historia Natural*, 25(2), 43-58.
- Bacca, T., Delgado-Gualmatan, W. L., Lagos-Burbano, T. C., & Gutiérrez, Y. (2021). Efecto de la altitud y del sombrío del café sobre la infestación por *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) en Nariño, Colombia. *Boletín Científico. Centro de Museos. Museo de Historia Natural*, 25(2), 43-58.
- Barrera, J. F., Herrera, J. O. E. L., Villacorta, A. M. A. D. O. R., García, H. E. B. E. R., & Cruz, L. E. O. P. O. L. D. O. (2006). Trampas de metanol-etanol para detección, monitoreo y control de la broca del café *Hypothenemus hampei*. In *Simposio sobre trampas y atrayentes en detección, monitoreo y control de plagas de importancia económica* (pp. 71-83). Chiapas, Mexico: Sociedad Mexicana de Entomología and El Colegio de la Frontera Sur. Tapachula.

- Barrera, J. F., Herrera, J. O. E. L., Villacorta, A. M. A. D. O. R., García, H. E. B. E. R., & Cruz, L. E. O. P. O. L. D. O. (2006). Trampas de metanol-etanol para detección, monitoreo y control de la broca del café *Hypothenemus hampei*. In *Simposio sobre trampas y atrayentes en detección, monitoreo y control de plagas de importancia económica* (pp. 71-83). Chiapas, Mexico: Sociedad Mexicana de Entomología and El Colegio de la Frontera Sur. Tapachula.
- Barrera, J. F., Villacorta, A., & Herrera, J. (2004). Fluctuación estacional de las capturas de la broca del café (*Hypothenemus hampei*) con trampas de etanol-metanol e implicaciones sobre el número de trampas. *Entomología Mexicana*, 3(8), 540-544.
- Barrera, J. F., Villacorta, A., & Herrera, J. (2004). Fluctuación estacional de las capturas de la broca del café (*Hypothenemus hampei*) con trampas de etanol-metanol e implicaciones sobre el número de trampas. *Entomología Mexicana*, 3(8), 540-544.
- Barrera-Rojas, A., Ramírez-Dávila, J. F., López, D. D. J. P., Rubí-Arriaga, M., & Miranda, E. P. (2023). Comportamiento espacial del minador de hoja, *Leucoptera coffeella* (Lepidoptera: Lyonetiidae) en cafetales de Temascaltepec, Estado de México, México. *Revista Colombiana de Entomología*, 49(2).
- Barrera-Rojas, A., Ramírez-Dávila, J. F., López, D. D. J. P., Rubí-Arriaga, M., & Miranda, E. P. (2023). Comportamiento espacial del minador de hoja, *Leucoptera coffeella* (Lepidoptera: Lyonetiidae) en cafetales de Temascaltepec, Estado de México, México. *Revista Colombiana de Entomología*, 49(2).
- CHUAIRE, L. M. C., JAVIER, A., QUIÑONES, P., CARABALÍ, C. R., CARLOS, L., QUINCHUA, I., & MACHADO, P. B. (2024). El clima y su relación con la dinámica poblacional y dispersión de la broca del café *Hypothenemus hampei* en un gradiente altitudinal en la cuenca del río Risaralda, Caldas, Colombia. *Revista Colombiana de Entomología*, 50(1), e12946.
- CHUAIRE, L. M. C., JAVIER, A., QUIÑONES, P., CARABALÍ, C. R., CARLOS, L., QUINCHUA, I., & MACHADO, P. B. (2024). El clima y su relación con la dinámica poblacional y dispersión de la broca del café *Hypothenemus hampei* en un gradiente altitudinal en la cuenca del río Risaralda, Caldas, Colombia. *Revista Colombiana de Entomología*, 50(1), e12946. <https://doi.org/10.25100/socolen.v50i1.12946>

Dávila MG, Dávila, JFR, Guadarrama, ADA, & Figueroa DKF. (2024). Distribución espacial de las poblaciones del picudo del agave *Scyphophorus acupunctatus* (Coleoptera: Dryophthoridae) en el Estado de México, México. *Revista Colombiana de Entomología*, 50(2).

Dávila MG, Dávila, JFR, Guadarrama, ADA, & Figueroa DKF. (2024). Distribución espacial de las poblaciones del picudo del agave *Scyphophorus acupunctatus* (Coleoptera: Dryophthoridae) en el Estado de México, México. *Revista Colombiana de Entomología*, 50(2).

Díaz-Limón, M. P., Cano-Santana, Z., & Queijeiro-Bolaños, M. E. (2016). Mistletoe infection in an urban forest in Mexico City. *Urban Forestry & Urban Greening*, 17, 126-134.
<https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.04.004>.

Díaz-Limón, M. P., Cano-Santana, Z., & Queijeiro-Bolaños, M. E. (2016). Mistletoe infection in an urban forest in Mexico City. *Urban Forestry & Urban Greening*, 17, 126-134.
<https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.04.004>.

Espinoza-Zúñiga P, Lara-Vázquez F, Cibrián-Tovar D, Ruiz-Orta A, Galacho-Jiménez FB, & Dávila JFR. (2024). Variabilidad espacial de muérdago (Loranthaceae) en áreas verdes de la alcaldía Coyoacán, Ciudad de México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 15(85).
<https://doi.org/10.29298/rmcf.v15i85.1469>

Espinoza-Zúñiga P, Lara-Vázquez F, Cibrián-Tovar D, Ruiz-Orta A, Galacho-Jiménez FB, & Dávila JFR. (2024). Variabilidad espacial de muérdago (Loranthaceae) en áreas verdes de la alcaldía Coyoacán, Ciudad de México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 15(85).
<https://doi.org/10.29298/rmcf.v15i85.1469>

Figueroa-Figueroa, D. K., Ramírez-Dávila, J. F., Lara-Vázquez, F., Mora-Escamilla, M., & Galacho-Jiménez, F. B. (2023). Distribución espacial de la escama verde y fumagina en cafetales de Amatepec, Estado de México. *Revista fitotecnia mexicana*, 46(4), 419-428.

[Figueroa-Figueroa, D. K., Ramírez-Dávila, J. F., Lara-Vázquez, F., Mora-Escamilla, M., & Galacho-Jiménez, F. B. \(2023\). Distribución espacial de la escama verde y fumagina en cafetales de Amatepec, Estado de México. *Revista fitotecnia mexicana*, 46\(4\), 419-428.](#)

Figueroa-Figueroa, D. K., Ramírez-Dávila, J. F., Lara-Vázquez, F., Mora-Escamilla, M., & Galacho-Jiménez, F. B. (2023). Distribución espacial de la escama verde y fumagina en cafetales de Amatepec, Estado de México. *Revista fitotecnia mexicana*, 46(4), 419-428. <https://doi.org/10.35196/rfm.2023.4.419>

Fonseca SA. (2006). El café de sombra: un ejemplo de pago de servicios ambientales para proteger la biodiversidad. *Gaceta ecológica*, (80), 19-31. *80*, 19-31. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=53908002>

Garnier-Villarreal M. (2022). Introducción al análisis geoestadístico de datos en geociencias: teoría y aplicación. *Revista geológica de América central*, 67, 1-22.

Garnier-Villarreal M. (2022). Introducción al análisis geoestadístico de datos en geociencias: teoría y aplicación. *Revista geológica de América central*, 67, 1-22.

González-Dávila L, Lara-Vázquez F, Ramírez-Dávila JF, & Figueroa-Figueroa DK. (2022). ANALISIS ESPACIAL DEL DAÑO POR ARAÑA ROJA (*Oligonychus punicae*) EN AGUACATE; ESTADO DE MÉXICO, UTILIZANDO EL METODO DEL SADIE.

González-Dávila, L., Lara-Vázquez, F., Ramírez-Dávila, J. F., & Figueroa-Figueroa, D. K. (2022). ANALISIS ESPACIAL DEL DAÑO POR ARAÑA ROJA (*Oligonychus punicae*) EN AGUACATE; ESTADO DE MÉXICO, UTILIZANDO EL METODO DEL SADIE. <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/139140/ANALISIS%20ESPACIAL%20DEL%20DA%c3%91O%20POR%20ARA%c3%91A%20ROJA%20OLIGONYCHUS%20PUNICAE%20EN%20AGUACATE%20ESTADO%20DE%20M%c3%89XICO%20UTILIZANDO%20EL%20METODO%20DEL%20SADIE...FINAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Grosso JA, Ressia JM, Bongiorno CV, & Mendivil GO. (2022). Caracterización del estado de compactación de un suelo bajo siembra directa utilizando herramientas de geoestadística. *Ciencias Agronómicas*, (34), e004-e004. DOI:

Grosso JA, Ressia JM, Bongiorno CV, & Mendivil GO. (2022). Caracterización del estado de compactación de un suelo bajo siembra directa utilizando herramientas de geoestadística. *Ciencias Agronómicas*, (34), e004-e004. DOI:

Henríquez C. Méndez JC, & Masís R. (2013). Interpolación de variables de fertilidad de suelo mediante el Análisis kriging y su validación¹. *Agronomía costarricense*, 37(2), 71-82.

Henríquez C. Méndez JC, & Masís R. (2013). Interpolación de variables de fertilidad de suelo mediante el Análisis kriging y su validación¹. *Agronomía costarricense*, 37(2), 71-82.

Hernández Morales, P., Estrada-Flores, J. G., Avilés-Nova, F., Yong-Angel, G., López-González, F., Solís-Méndez, A. D., & Castelán-Ortega, O. A. (2013). Tipificación de los sistemas campesinos de producción de leche del sur del estado de México. *Universidad y ciencia*, 29(1), 19-31.

Hernández Morales, P., Estrada-Flores, J. G., Avilés-Nova, F., Yong-Angel, G., López-González, F., Solís-Méndez, A. D., & Castelán-Ortega, O. A. (2013). Tipificación de los sistemas campesinos de producción de leche del sur del estado de México. *Universidad y ciencia*, 29(1), 19-31.

Jiménez ER. (2014). Café I (*G. Coffea*). *Reduca (Biología)*. *Serie Botánica*, 7(2), 113-132.
<https://docta.ucm.es/rest/api/core/bitstreams/27030672-4b74-4df3-8a7b-eee39b14d1a2/content>

Jiménez ER. (2014). Café I (*G. Coffea*). *Reduca (Biología)*. *Serie Botánica*, 7(2), 113-132.
<https://docta.ucm.es/rest/api/core/bitstreams/27030672-4b74-4df3-8a7b-eee39b14d1a2/content>

Lara-Vázquez, F., Ramírez-Dávila, J. F., Figueroa-Figueroa, D. K., Tapia-Rodríguez, A., & González-Huerta, A. (2023). Modelación espacial de la araña roja *Oligonychus punicae* (Acari: Tetranychidae) en el cultivo de aguacate. *Entomólogo de Florida*, 106(4), 211-219. <https://doi.org/10.1653/024.106.0402>

Lara-Vázquez, F., Ramírez-Dávila, J. F., Figueroa-Figueroa, D. K., Tapia-Rodríguez, A., & González-Huerta, A. (2023). Modelación espacial de la araña roja *Oligonychus punicae* (Acari: Tetranychidae) en el cultivo de aguacate. *Entomólogo de Florida*, 106(4), 211-219. <https://doi.org/10.1653/024.106.0402>

Mendoza-Cervantes G, Guzmán-López O, & Salinas-Castro A. (2021). Manejo de la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae), con atrayentes

- etanólicos en cultivos de café de Coatepec, Veracruz, México. *Revista chilena de entomología*, 47(2), 265-273.
- Mendoza-Cervantes G, Guzmán-López O, & Salinas-Castro A. (2021). Manejo de la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae), con atrayentes etanólicos en cultivos de café de Coatepec, Veracruz, México. *Revista chilena de entomología*, 47(2), 265-273.
- Millan Barreto, A. P. (2023). Eficiencia del manejo integrado de la broca del café (*Hypothenemus hampei* F.) en el rendimiento y calidad del café (*Coffea arabica* L.) en el distrito Providencia, Amazonas–2021.
- Millan Barreto, A. P. (2023). Eficiencia del manejo integrado de la broca del café (*Hypothenemus hampei* F.) en el rendimiento y calidad del café (*Coffea arabica* L.) en el distrito Providencia, Amazonas–2021.
- Molina D. (2022). Revisión sobre la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) con énfasis en la resistencia mediante antibiosis y antixenosis. *Revista Colombiana de Entomología*, 48(2).
- Molina D. (2022). Revisión sobre la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) con énfasis en la resistencia mediante antibiosis y antixenosis. *Revista Colombiana de Entomología*, 48(2).
- Molina, P. C. P., Martínez, M. J. G., Ceballos, G. O., Cabrera, C. R. C., & Pérez, J. C. (2020). Fenómenos meteorológicos y su efecto sobre la producción de café en la Zona Central de Veracruz. *UVserva: revista electrónica de la Coordinación Universitaria de Observatorios de la Universidad Veracruzana*, (9), 47-58.
- Molina, P. C. P., Martínez, M. J. G., Ceballos, G. O., Cabrera, C. R. C., & Pérez, J. C. (2020). Fenómenos meteorológicos y su efecto sobre la producción de café en la Zona Central de Veracruz. *UVserva: revista electrónica de la Coordinación Universitaria de Observatorios de la Universidad Veracruzana*, (9), 47-58.
- Moral, F. L. 2004. Aplicación de la geoestadística en las ciencias ambientales. *Ecosistemas* 13(1): 78-86.

Moral, F. L. 2004. Aplicación de la geostatística en las ciencias ambientales. *Ecosistemas* 13(1): 78-86.

Panhuysen S, Pierrot J. (2014). Barómetro de café 2014. *Revista Ensayos sobre Economía Cafetera*, 30,99-125. <https://doi.org/10.38141/10788/030-1-6>.

Panhuysen S, Pierrot J. (2014). Barómetro de café 2014. *Revista Ensayos sobre Economía Cafetera*, 30,99-125. <https://doi.org/10.38141/10788/030-1-6>.

PÉREZ CONSTANTINO, A. U. R. E. L. I. O. (2023). ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO ESPACIAL DE LAS POBLACIONES DE ROYA DEL CAFÉ (*Hemileia Vastatrix*) EN CAFETALES DEL ESTADO DE MÉXICO.

PÉREZ CONSTANTINO, A. U. R. E. L. I. O. (2023). ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO ESPACIAL DE LAS POBLACIONES DE ROYA DEL CAFÉ (*Hemileia Vastatrix*) EN CAFETALES DEL ESTADO DE MÉXICO.

Pérez Constantino, A., Ramírez Dávila, J. F., & Figueroa Figueroa, D. K. (2023a). Infestación de broca del café, *Hypotenemus hampei* (Coleoptera: Scolitydae) en zonas cafetaleras del Estado de México, México. *Revista Colombiana de Entomología*, 49(1). <https://doi.org/10.25100/socolen.v49i1.12097>

Pérez Constantino, A., Ramírez Dávila, J. F., & Figueroa Figueroa, D. K. (2023). Infestación de broca del café, *Hypotenemus hampei* (Coleoptera: Scolitydae) en zonas cafetaleras del Estado de México, México. *Revista Colombiana de Entomología*, 49(1).

Pérez, J. I. J., Némiga, X. A., Gaytán, J. F. M., Cedillo, J. G. G., Plata, M. Á. B., Loik, M. E., ... & Sanabria, J. M. C. (2010). Variaciones climáticas en la Zona Metropolitana de la Ciudad de Toluca, Estado de México: 1960-2007. *Ciencia Ergo-Sum, Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva*, 17(2), 143-153.

Pérez, J. I. J., Némiga, X. A., Gaytán, J. F. M., Cedillo, J. G. G., Plata, M. Á. B., Loik, M. E., ... & Sanabria, J. M. C. (2010). Variaciones climáticas en la Zona Metropolitana de la Ciudad de Toluca, Estado de México: 1960-2007. *Ciencia Ergo-Sum, Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva*, 17(2), 143-153.

- Pérez-Constantino, A., Ramírez-Dávila, J. F., Gutiérrez-Rodríguez, F., & de Jesús Pérez-López, D. (2024). Comportamiento espacial de roya del cafeto en Sultepec, Estado de México, México. *Acta Agrícola y Pecuaria*, 10(1). <https://doi.org/10.30973/aap/2024.10.0101004>
- Pérez-Constantino, A., Ramírez-Dávila, J. F., Gutiérrez-Rodríguez, F., & de Jesús Pérez-López, D. (2024). Comportamiento espacial de roya del cafeto en Sultepec, Estado de México, México. *Acta Agrícola y Pecuaria*, 10(1). <https://doi.org/10.30973/aap/2024.10.0101004>.
- Pérez-Constantino A, Ramírez-Dávila JF, Gutiérrez-Rodríguez F, & Pérez-López DDJ. (2023). Comportamiento espacial de roya del cafeto en Amatepec, Estado de México. *Acta universitaria*, 33.
- Pérez-Constantino A, Ramírez-Dávila JF, Gutiérrez-Rodríguez F, & Pérez-López DDJ. (2023). Comportamiento espacial de roya del cafeto en Amatepec, Estado de México. *Acta universitaria*, 33.
- Pérez-Planells L, Delegido J, Rivera-Caicedo JP, & Verrelst J. (2015). Análisis de métodos de validación cruzada para la obtención robusta de parámetros biofísicos. *Revista de teledetección*, (44), 55-65.
- Pérez-Planells L, Delegido J, Rivera-Caicedo JP, & Verrelst J. (2015). Análisis de métodos de validación cruzada para la obtención robusta de parámetros biofísicos. *Revista de teledetección*, (44), 55-65.
- Ramírez Dávila, J. F., & Porcayo Camargo, E. (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(1), 28-38.
- Ramírez Dávila, J. F., & Porcayo Camargo, E. (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(1), 28-38.
- Ramírez, J. F., Porcayo-Camargo, E., & Sánchez, J. R. (2013). Modelización de la distribución espacial de *Bactericera cockerelli* Sulc.(Hemiptera: Triozidae) en *Solanum tuberosum* L.(Solanales: Solanaceae). *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 45(2), 13-27.

- Ramírez, J. F., Porcayo-Camargo, E., & Sánchez, J. R. (2013). Modelización de la distribución espacial de *Bactericera cockerelli* Sulc.(Hemiptera: Triozidae) en *Solanum tuberosum* L.(Solanales: Solanaceae). *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 45(2), 13-27.
- Ramírez-Dávila, J. F., & Porcayo-Camargo, E. (2009). Estudio de la distribución espacial del muérdago enano (*Arceuthobium* sp.) en el Nevado de Toluca, México, utilizando el Método del SADIE. *Madera y bosques*, 15(2), 93-112.
- Ramírez-Dávila, J. F., & Porcayo-Camargo, E. (2009). Estudio de la distribución espacial del muérdago enano (*Arceuthobium* sp.) en el Nevado de Toluca, México, utilizando el Método del SADIE. *Madera y bosques*, 15(2), 93-112.
- Rivera-Martínez, R., Ramírez-Dávila, J. F., & Acosta-Guadarrama, A. D. (2018). Distribución espacial de las poblaciones de huevos de *Bactericera cockerelli* Sulc. en el cultivo de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Acta universitaria*, 28(5), 24-33.
- Rivera-Martínez, R., Ramírez-Dávila, J. F., & Acosta-Guadarrama, A. D. (2018). Distribución espacial de las poblaciones de huevos de *Bactericera cockerelli* Sulc. en el cultivo de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Acta universitaria*, 28(5), 24-33.
- Rivera-Martínez R, Ramírez-Dávila JF, Tapia Rodríguez A, Figueroa Figueroa DK, Acosta Guadarrama AD, & Serrato Cuevas R. (2022). Comportamiento espacial del barrenador de la rama en aguacate utilizando el método del SADIE en el Estado de México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 13(2), 247-259.
- Rivera-Martínez R, Ramírez-Dávila JF, Tapia Rodríguez A, Figueroa Figueroa DK, Acosta Guadarrama AD, & Serrato Cuevas R. (2022). Comportamiento espacial del barrenador de la rama en aguacate utilizando el método del SADIE en el Estado de México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 13(2), 247-259.

- Rodríguez, A. T., Dávila, J. F. R., Siclán, M. L. S., Vildózola, Á. C., Zamora, F. I. M., & Díaz, A. V. L. (2020). Distribución espacial de antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides* Penz) en aguacate en el Estado de México, México. *Revista argentina de microbiología*, 52(1), 72-81.
- Rodríguez AT, Dávila JFR, Siclán MLS, Vildózola, ÁC, Zamora FIM, & Díaz, AVL. (2020). Distribución espacial de antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides* Penz) en aguacate en el Estado de México, México. *Revista argentina de microbiología*, 52(1), 72-81.
- Rubí-Arriaga, M., González-Huerta, A., Franco-Mora, O., Ramírez-Dávila, J. F., López-Sandoval, J. A., & Hernández-Flores, G. V. (2014). Inventario de especies frutales y aspectos etnobotánicos en Sultepec, Estado de México, México. *Phyton (Buenos Aires)*, 83(1), 203-211.
https://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1851-56572014000100026&script=sci_arttext
- Santiago-Hernandez, I., Acosta-Ramos, M., Vargas-Hernández, M., Lima, D. L., & Salinas-Castro, A. (2023). Un nuevo sistema de monitoreo para la broca del café *Hypothenemus hampei* Ferrari, 1837 (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) en México. *Revista chilena de entomología*, 49(3), 547-555.<http://dx.doi.org/10.35249/rche.49.3.23.14>
- Santiago-Hernandez, I., Acosta-Ramos, M., Vargas-Hernández, M., Lima, D. L., & Salinas-Castro, A. (2023). Un nuevo sistema de monitoreo para la broca del café *Hypothenemus hampei* Ferrari, 1837 (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) en México. *Revista chilena de entomología*, 49(3), 547-555.<http://dx.doi.org/10.35249/rche.49.3.23.14>
- Tablas-González I, Guerrero-Rodríguez, JDD., Aceves-Ruiz E, Álvarez-Calderón NM, Láinez-Loyo E, & Olvera-Hernández JI. (2021). El cultivo de café en Ojo de Agua de Cuauhtémoc, Malinaltepec, Guerrero. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 12(6), 1031-1042.
- Tablas-González I, Guerrero-Rodríguez, JDD., Aceves-Ruiz E, Álvarez-Calderón NM, Láinez-Loyo E, & Olvera-Hernández JI. (2021). El cultivo de café en Ojo de Agua de Cuauhtémoc, Malinaltepec, Guerrero. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 12(6), 1031-1042.
- Tapia Rodríguez, A., Ramírez Dávila, J. F., Aquino Martínez, J. G., Arriaga, M. R., & Ruiz Orta, A. (2021). Determination of the spatial behavior of anthracnose in avocado cultivation using spatial

<https://doi.org/10.18004/investig.agrar.2021.diciembre.2302697> .

Tapia Rodríguez, A., Ramírez Dávila, J. F., Aquino Martínez, J. G., Arriaga, M. R., & Ruiz Orta, A. (2021).

Determination of the spatial behavior of anthracnose in avocado cultivation using spatial statistics. *Investigación Agraria*, 23(2), 63-72.

<https://doi.org/10.18004/investig.agrar.2021.diciembre.2302697> .

Quiñones-Valdez, R., Sánchez-Pale, J. R., Pedraza-Esquivel, A. K., Castañeda-Vildozola, A. & Franco-Mora, O. (2016). Distribución espacial de la roya transversal (*Uromyces transversalis*) del gladiolo durante el ciclo primavera-verano en la región sureste del estado de México. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo*, 48(2), 209-220.

Quiñones-Valdez, R., Sánchez-Pale, J. R., Pedraza-Esquivel, A. K., Castañeda-Vildozola, A. & Franco-Mora, O. (2016). Distribución espacial de la roya transversal (*Uromyces transversalis*) del gladiolo durante el ciclo primavera-verano en la región sureste del estado de México. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo*, 48(2), 209-220.

Paz R y Arrieche N. 2017. Spatial distribution of *Thrips tabaci* (Lindeman) 1888 (Thysanoptera: Thripidae) in Quibor, Lara State, Venezuela. *Bioagro*, 29(2): 123-128. <http://ve.scielo.org/pdf/ba/v29n2/art06.pdf>.

Paz R y Arrieche N. 2017. Spatial distribution of *Thrips tabaci* (Lindeman) 1888 (Thysanoptera: Thripidae) in Quibor, Lara State, Venezuela. *Bioagro*, 29(2): 123-128. <http://ve.scielo.org/pdf/ba/v29n2/art06.pdf>.