

SIG para la gestión de problemas fitosanitarios del café en Sultepec

Alfredo Ruiz-Orta¹

José Francisco Ramírez-Dávila^{1,5}

Juan Campos-Alanís²

Francisco Gutiérrez-Rodríguez¹

1 Facultad de Ciencias Agrícolas-Universidad Autónoma del Estado de México. Carretera Toluca-Ixtlahuaca km 15, El Cerrillo Piedras Blancas S/N, entronque a El Cerrillo, Toluca, Estado de México, México. CP. 50200. Tel. 722 2965518. (aruizo@uaemex.mx; fgfca@hotmail.com).

2 Facultad de Geografía-Universidad Autónoma del Estado de México. Cerro de Coatepec s/n, Ciudad Universitaria, Toluca, Estado de México. CP. 50110. Tel. 722 2150255. (jcamposa@uaemex.mx).

Autor para correspondencia: jframirez@uaemex.mx.

Resumen

Los sistemas de información geográfica, así como los mapas temáticos se usan en la agricultura de precisión para la recopilación, análisis y representación de datos de interés; para posibilitar la eficiencia de los cultivos y la minimización de los costos y recursos empleados para diferentes actividades, como la monitorización de plagas y enfermedades. El objetivo de la investigación fue diseñar un sistema de información geográfica para la gestión sustentable de problemas fitosanitarios del café en el municipio de Sultepec, Estado de México. Se elaboraron bases de datos y a partir del programa QGIS 3.24 Tisler se crearon 108 mapas temáticos que representan un promedio mensual de la incidencia de ojo de gallo, roya y mancha de hierro en tres parcelas muestreadas, en los cuales se observa el progreso de cada uno de los problemas durante un año de muestreo. Dichos mapas permitieron identificar focos de infección bien marcados, así como los meses con mayor incidencia, septiembre a diciembre para ojo de gallo y mancha de hierro, teniendo una superficie infectada de hasta 86% y para roya los meses de enero a abril fueron los que presentan mayor incidencia, alcanzando una superficie infectada de hasta 82%. Los mapas temáticos permiten la divulgación de la utilidad de las tecnologías y el desarrollo de la toma de decisiones más oportuna y eficaz en el manejo y control de plagas y enfermedades del café, teniendo como desafío la gestión sustentable del cultivo.

Palabras clave:

gestión sustentable, mapas temáticos, potencial agronómico.



Introducción

La agricultura es una labor que acompaña al hombre hace miles de años y sus procesos han evolucionado con el transcurso del tiempo. Recientemente, empresas privadas y públicas del sector agrícola e industrial han unido esfuerzos para proyectar soluciones de la agricultura de precisión (AP), cuyo propósito es mejorar el rendimiento de los cultivos, optimizar el uso de recursos, disminuir el impacto ambiental y facilitar la toma de decisiones estratégicas y económicas (Silva *et al.*, 2011; Orozco y Ramírez, 2016).

Los sistemas de información geográfica (SIG) son empleados en la AP para la recopilación, gestión, manipulación, análisis y representación de datos e información de interés, para lograr el entendimiento de la variación observada de los suelos, la posible asociación entre vegetales y plantaciones, los mapeos de rendimiento de los cultivos, la monitorización en la aparición de plagas o enfermedades y el empleo de fertilizantes. Con lo anterior se posibilita la eficiencia de los cultivos y la minimización de los costos y recursos empleados para estas actividades (Jiménez-Moya *et al.*, 2016; Cantos *et al.*, 2024).

El café es un cultivo tradicional, básico, de exportación y estratégico, es fuente generadora de empleos y de divisas para el país, así como para la conservación de la biodiversidad; a nivel nacional alcanza una producción de alrededor de 1 056 388.39 toneladas y un valor en su producción de \$5 210 614.06 MXN. Su importancia en la economía del país, es un factor determinante para el desarrollo de programas y apoyos al sector cafetalero (CEDRSSA, 2019; SIAP, 2023).

Actualmente la producción cafetalera enfrenta amenazas fitosanitarias, como: Mancha de hierro (*Mycosphaerella coffeicola*), Ojo de gallo (*Mycena citricolor*) y Roya (*Hemileia vastatrix*), éstas afectan la rentabilidad del cultivo y requieren de aplicación de medidas de control. Particularmente la roya del café es el principal problema fitosanitario de alto impacto para la caficultura, el impacto económico de la enfermedad no solo se refleja en la reducción de la cantidad y la calidad de la producción, sino también en la necesidad de implementar costosas medidas de control (CEDRSSA, 2019).

Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue diseñar un SIG para la gestión sustentable de problemas fitosanitarios del cultivo de café en el municipio de Sultepec en el Estado de México, bajo el supuesto de que la integración de datos en el entorno de un SIG puede favorecer la toma de decisiones oportuna en la gestión y control de dichos problemas fitosanitarios en la entidad.

Materiales y métodos

Región de estudio

La investigación se realizó en el municipio de Sultepec, Estado de México, ubicado a 18°52' 00" latitud norte y 99°57' 00" longitud oeste al sur de la entidad, a una altura de 2 290 msnm durante 12 meses (septiembre 2022-agosto 2023).

Muestreo

Se realizaron 24 muestreos cada quince días para tres problemas fitosanitarios, Mancha de hierro (*Mycosphaerella coffeicola*), Ojo de gallo (*Mycena citricolor*) y Roya (*Hemileia vastatrix*), en tres parcelas de media hectárea, las cuales se dividieron en cuadrantes de 10 x 10 m, teniendo un total de 50 cuadrantes que se marcaron con listones y georreferenciaron con un sistema de posicionamiento global diferencial (DGPS) (modelo Trimble® SPS361, Trimble, Dayton, Estados Unidos de América) seleccionando 4 plantas por cuadrantes dando un total de 200 plantas por parcela.

Cada planta se dividió por estrato (bajo, medio y alto) en la que se contabilizaron 12 hojas por estrato, teniendo un total de 36 hojas por planta, registrando el número de hojas con presencia de

cada enfermedad, basándose en la guía de síntomas y daños del café del programa de vigilancia epidemiológica fitosanitaria del SENASICA (2024).

Elaboración del SIG

En la investigación se desarrolla un SIG empleando Quantum GIS o QGIS versión 3.24 Tisler (QGIS, 2023) como herramienta principal de procesamiento de datos, disponible para diversos sistemas operativos y posibilita el manejo de una amplia variedad de ficheros de distintas fuentes. También posee soporte de conexión con las bases de datos geoespaciales de mayor renombre internacional y a su vez permite la configuración de servicios web, mapas de información temática y de metadatos en general (Shekhar y Xiong, 2017; Pérez-García *et al.*, 2019). Las bases de datos se elaboraron y uniformizaron en formato Excel, se introducen a QGIS y posteriormente se generan los mapas temáticos.

Resultados y discusión

Se elaboraron 36 mapas temáticos con promedio mensual, que representan la incidencia de roya, mancha de hierro y ojo de gallo, obteniendo 108 mapas en total, de las tres parcelas muestreadas, lo que permitió visualizar la presencia de la infección de las enfermedades. Los mapas obtenidos arrojan que las poblaciones problema se encuentran focalizados, con un crecimiento de la infección ascendente.

Específicamente para *H. vastatrix* se puede observar un aumento en las poblaciones durante los meses de enero a abril para las tres parcelas muestreadas con puntos de infección notables (Figura 1, 2 y 3). Los agregados pueden presentarse de manera aleatoria dentro de la unidad experimental como lo mencionan Pérez-Constantino *et al.* (2024) además de que esto puede ser el resultado de la diseminación de las esporas del hongo por factores ambientales como el viento y la lluvia o factores humanos.



Figura 1. Mapas mensuales de incidencia de roya (*Hemileia vastatrix*) en la parcela 1 en Sultepec, Estado de México.

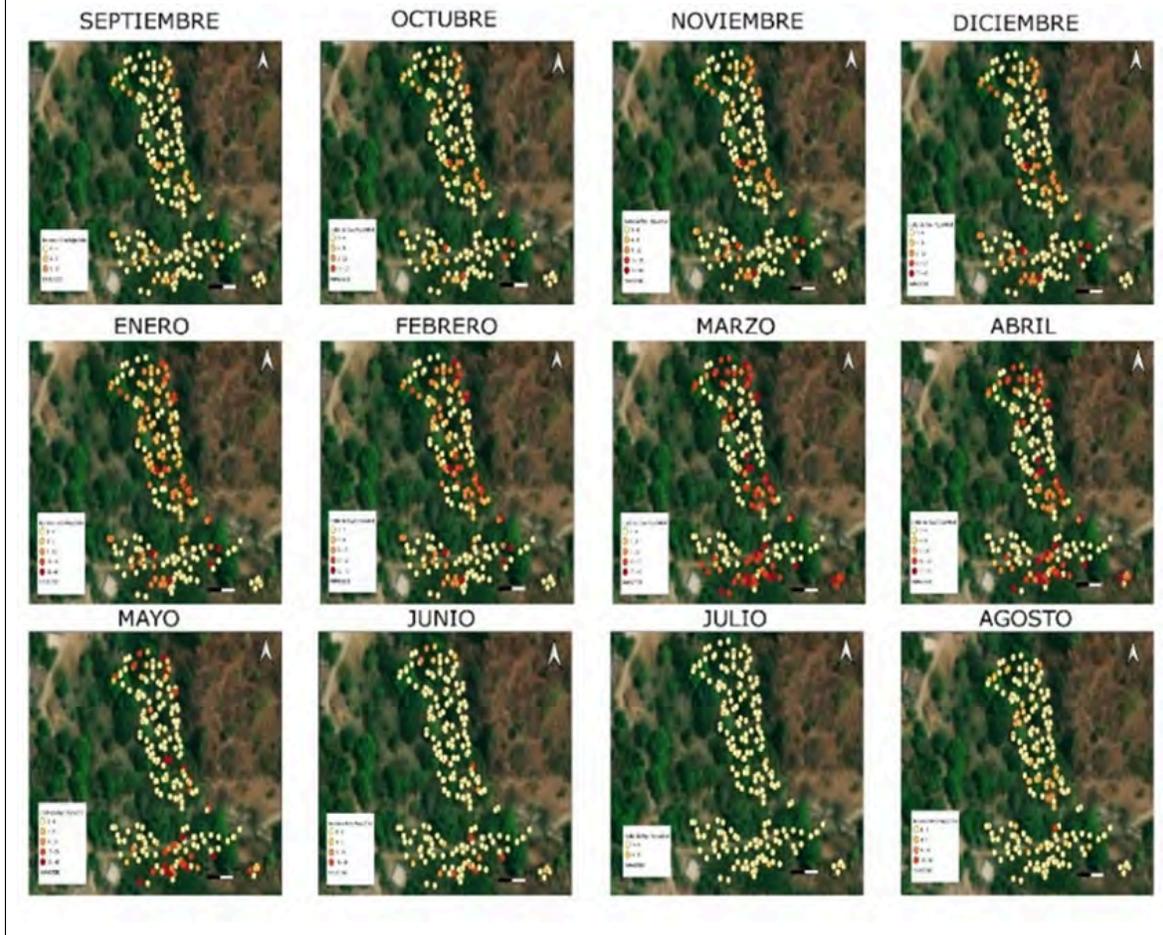


Figura 2. Mapas mensuales de incidencia de roya (*Hemileia vastatrix*) para la parcela 2 en Sultepec, Estado de México.

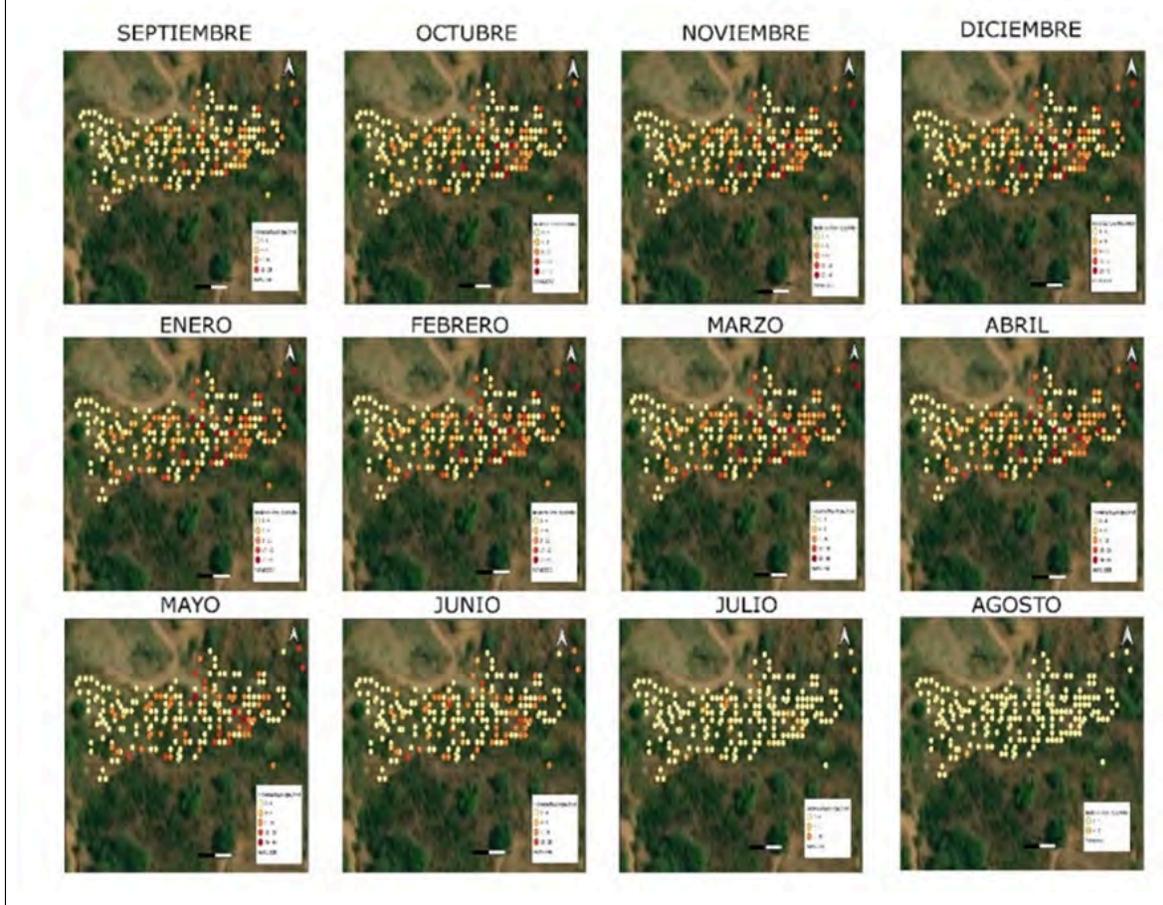
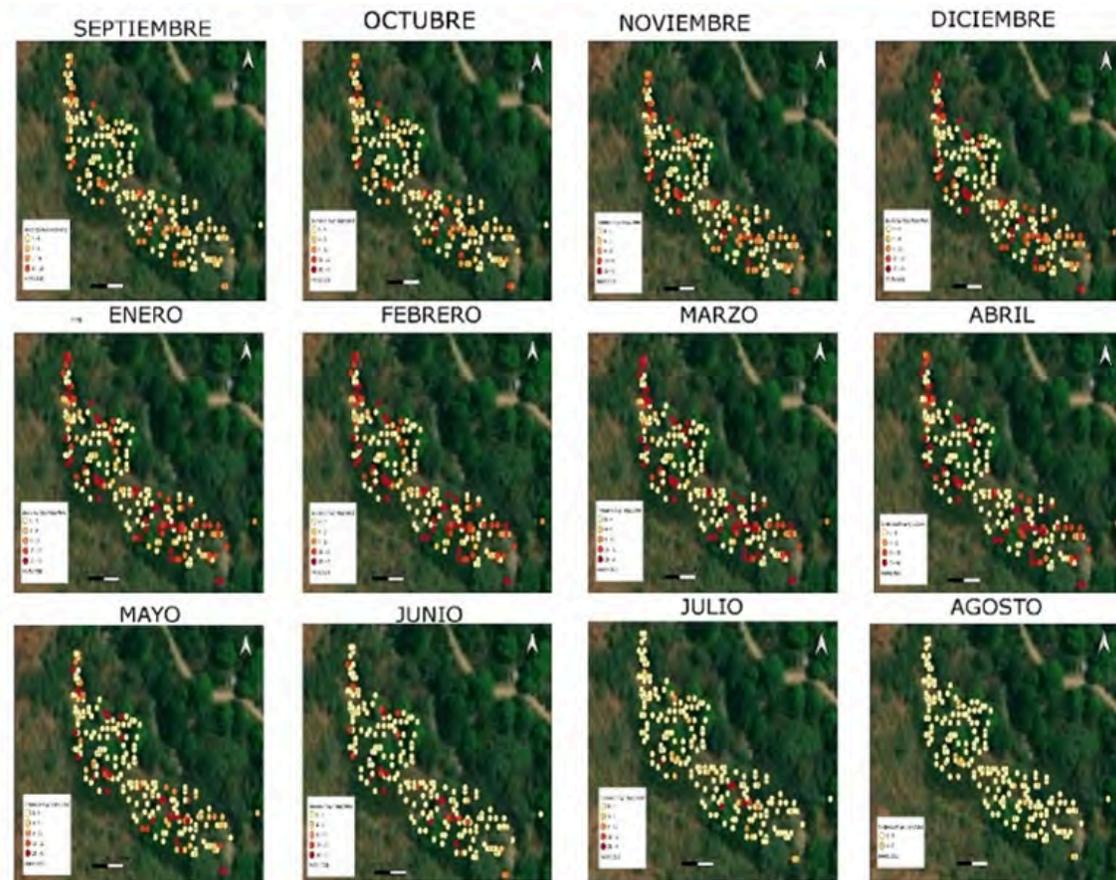


Figura 3. Mapas mensuales de incidencia de roya (*Hemileia vastatrix*) para la parcela 3 en Sultepec, Estado de México.



Sin embargo, para los meses de junio a agosto se observa que la incidencia del hongo disminuyó bastante en las tres parcelas muestreadas, debido posiblemente porque la precipitación lavó las esporas de la roya y a su vez transporta el inóculo a las hojas y plantas aledañas, de acuerdo a lo mencionado por Mora *et al.* (2015) quienes describen el desarrollo del hongo en focos de infestación.

Con la combinación de técnicas geoespaciales y la creación de los mapas temáticos se evidenció el progreso de la incidencia de *H. vastatrix* durante el periodo de muestreo (Figura 1, 2 y 3), coincidiendo con lo mencionado por Bautista *et al.* (2018), quienes usando mapas temáticos lograron distinguir ciertos elementos, como bosques, con precisión para identificar zonas con potencial productivo agrícola de café en Veracruz. Además, debido a la naturaleza cíclica del patógeno, la intensidad de daño puede variar entre parcelas dentro de una misma región de control (Coria-Contreras *et al.*, 2014; Pérez-Constantino *et al.*, 2024).

Estas tecnologías se han desarrollado y aplicado como estrategia para la gestión de cultivos y la oportuna toma de decisiones que ayude a determinar el tipo de comportamiento y la distribución de los problemas fitosanitarios en los cultivos (Lokers *et al.*, 2016; Martínez-Martínez *et al.*, 2023).

En las Figuras 4, 5 y 6 se observa la incidencia de ojo de gallo (*Mycena citricolor*) para las parcelas muestreadas, con un porcentaje de superficie infectada de 86% al inicio del estudio (septiembre) bajando durante los siguientes meses, lo que indica la disminución de lluvias y humedad, a su vez se observó que a partir de enero y febrero se redujo a 70%, indicando el inicio de la temporada de sequías en la zona, provocando una disminución en los puntos de agregación de la enfermedad en cada una de las parcelas (Pino *et al.*, 2023).

Figura 4. Mapas mensuales de incidencia de ojo de gallo (*Mycena citricolor*) para la parcela 1 en Sultepec, Estado de México.



Figura 5. Mapas mensuales de incidencia de ojo de gallo (*Mycena citricolor*) para la parcela 2 en Sultepec, Estado de México.

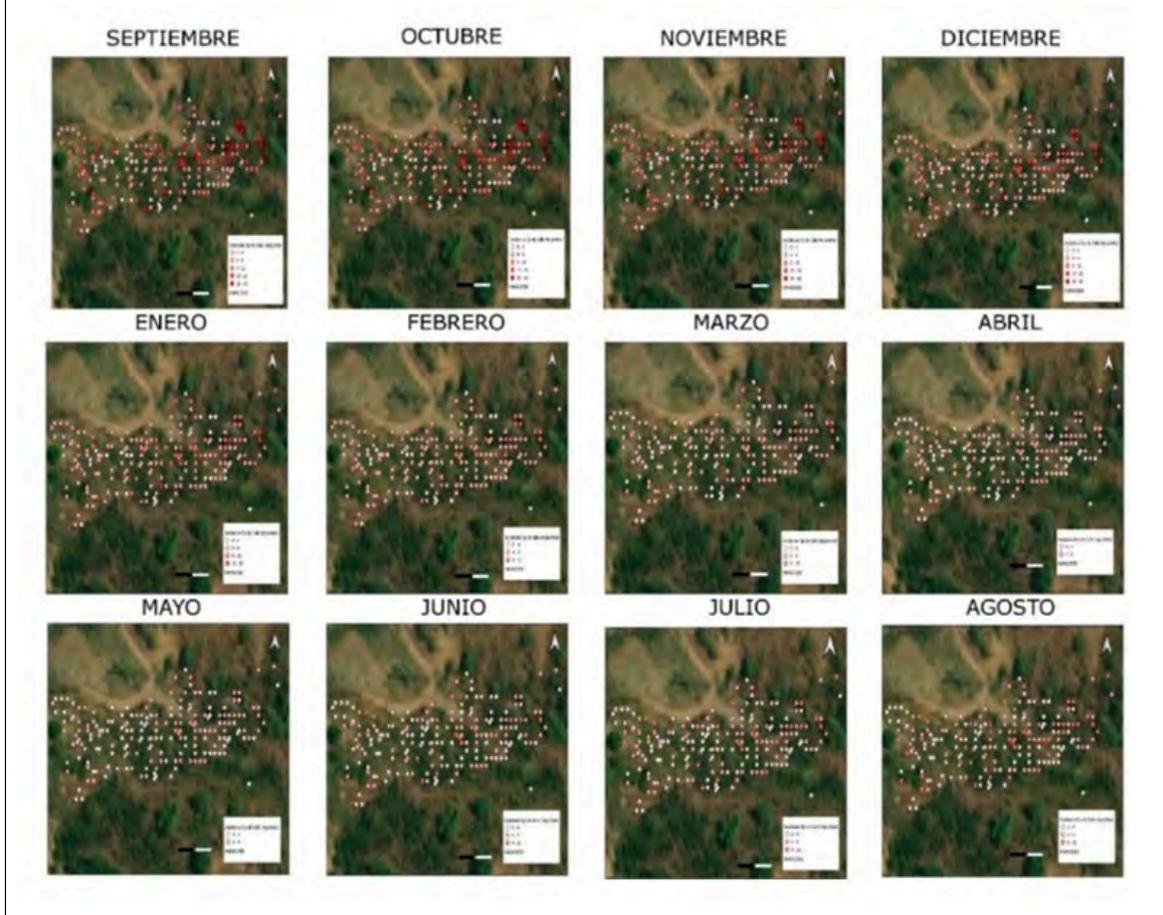
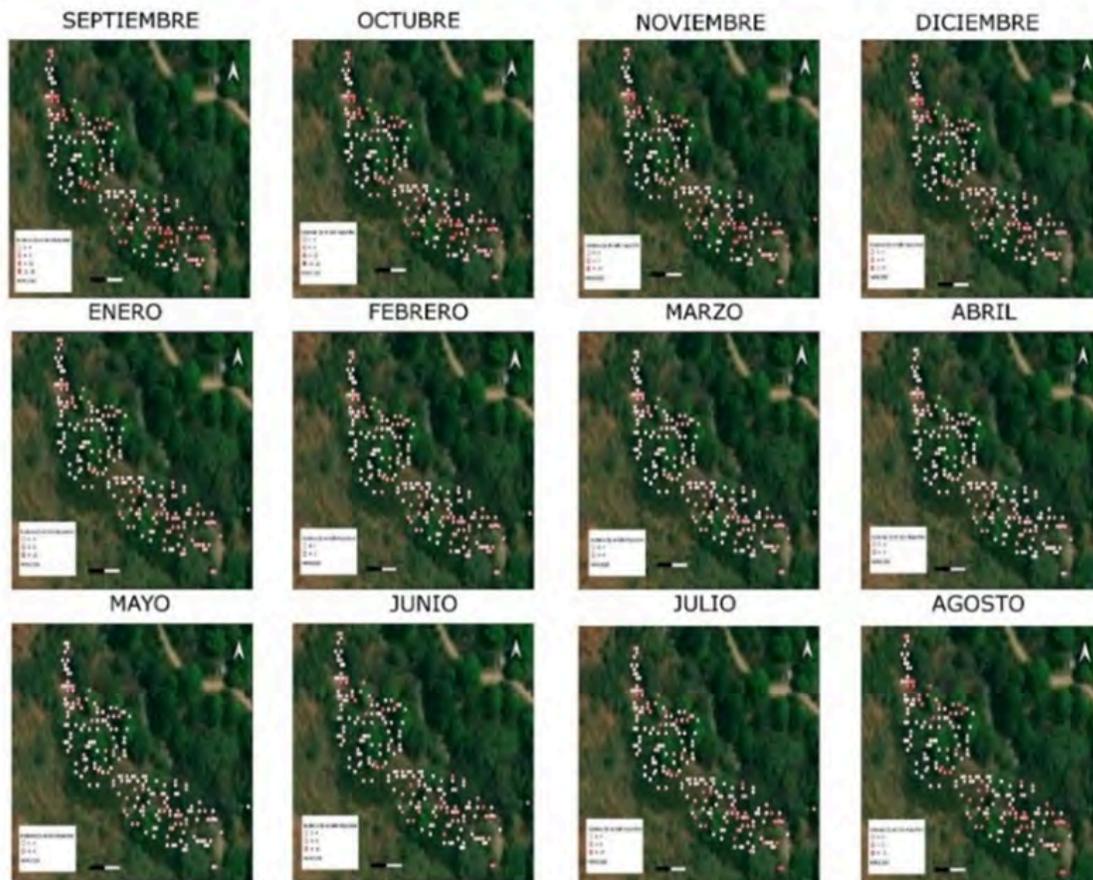


Figura 6. Mapas mensuales de incidencia de ojo de gallo (*Mycena citricolor*) para la parcela 3 en Sultepec, Estado de México.



Según el estudio de Figueroa-Figueroa *et al.* (2020) mencionaron que el uso de los sistemas de teledetección son una opción viable para identificar el potencial de cultivos agrícolas de impacto económico en el Estado de México, como lo son el aguacate y el café.

En El Salvador, Choriego *et al.* (2023) detallan que su proyecto de 'AgroSIG' en café y caña de azúcar, permitió identificar a través de mapas temáticos, el uso de suelo, pendientes, vegetación, entre otros; es decir, al conocer con mayor exactitud lo que poseen los clientes, permite poder capacitarlos en áreas específicas que repercutan de manera más efectiva en sus fincas, lo que coincide con lo que se observó en los mapas de esta investigación. Además, los SIG permiten realizar modelos y predicciones que ayudan a la evaluación y gestión de riesgos, lo cual otorga la oportunidad de planificar el manejo de las parcelas y los recursos disponibles (Figueroa *et al.*, 2024).

Para los mapas de las parcelas 2 y 3 (Figura 5 y 6) se identificaron focos de infección de la enfermedad, la cual disminuyó a partir del mes de enero y se mantuvo constante hasta el mes de junio, esto podría permitir que los productores realicen un control dirigido a zonas de la parcela donde se encuentra el foco de infección, coincidiendo con lo mencionado por Sosa-Escalona *et al.* (2017), en una provincia de Cuba, se creó un SIG para la identificación digital de campo donde se pronostican las zonas con mayor amenaza de sequía, esto para que los agricultores puedan planificar sus siembras alrededor de los periodos más secos del año.

En las Figuras 7, 8 y 9 se observaron los mapas temáticos de la distribución e incidencia de *Mycosphaerella coffeicola* en las tres parcelas muestreadas, al igual que en los problemas fitosanitarios anteriores, se observan los focos de infección de la enfermedad bien identificados durante los meses de muestreo. Durante los meses de septiembre a diciembre, se presenta mayor incidencia con un porcentaje de 81% para la parcela 1, 57% para la parcela 2 y 64% para la parcela 3.

Figura 7. Mapas mensuales de incidencia de mancha de hierro (*Mycosphaerella coffeicola*) para la parcela 1 en Sultepec, Estado de México.

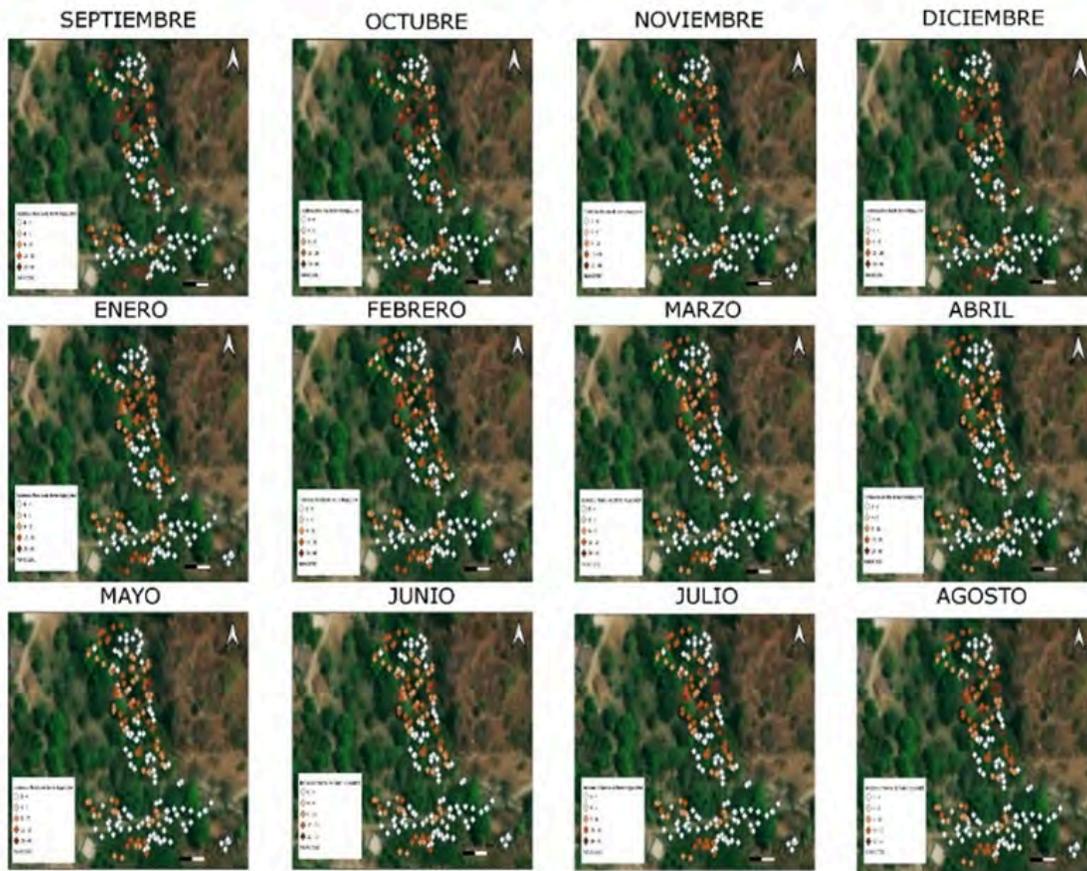


Figura 8. Mapas mensuales de incidencia de mancha de hierro (*Mycosphaerella coffeicola*) para la parcela 2 en Sultepec, Estado de México.

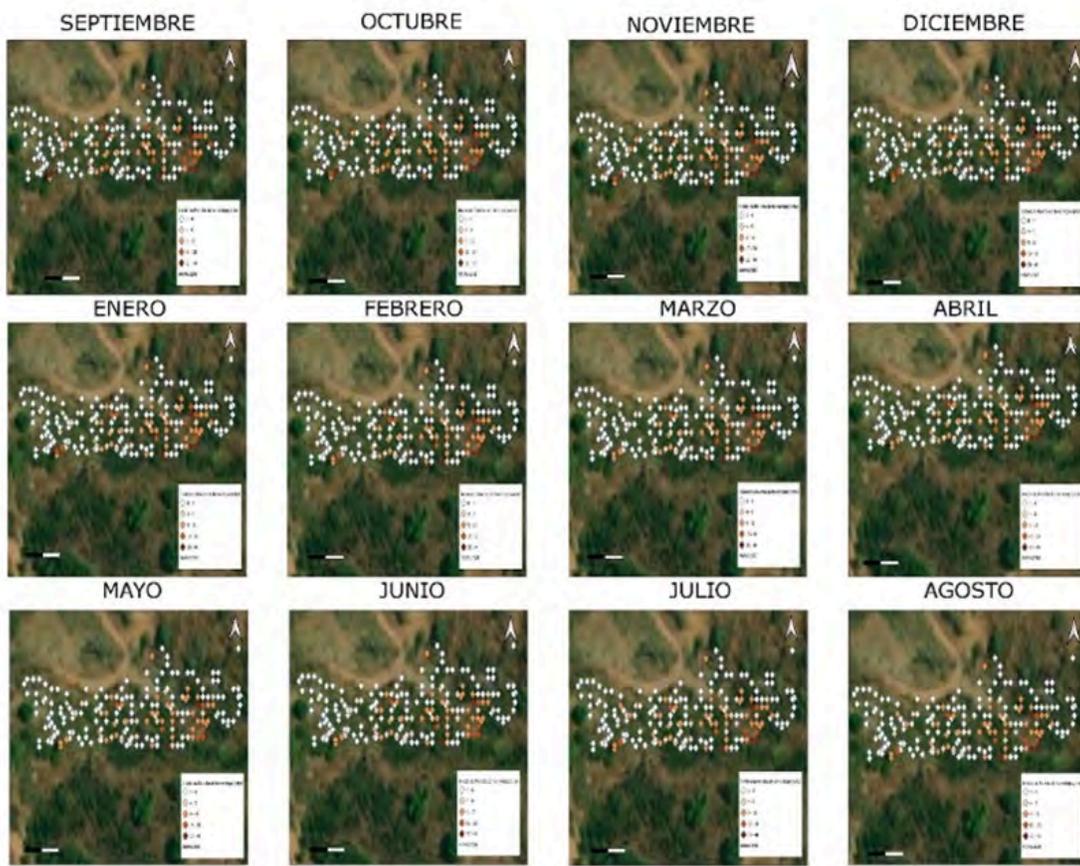
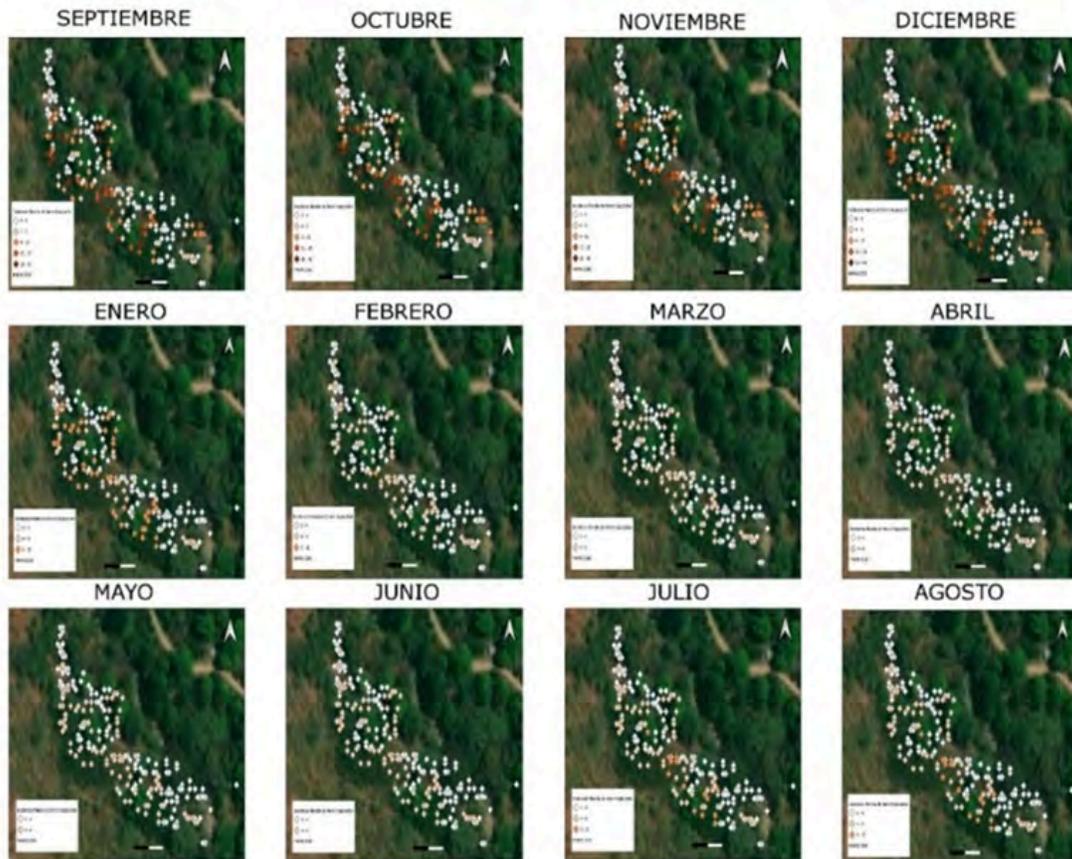


Figura 9. Mapas mensuales de incidencia de mancha de hierro (*Mycosphaerella coffeicola*) para la parcela 3 en Sultepec, Estado de México.



De acuerdo con Rea-Sánchez *et al.* (2015) en el tratamiento de imágenes aéreas y la generación de mapas temáticos se identifican zonas detalladas para la toma de decisiones en tiempo real, ya que reduce al mínimo el tiempo de respuesta ante determinados fenómenos, como la aplicación de fertilizantes e insecticidas, para estimar, evaluar y entender dichas variaciones, con la finalidad de predecir con mayor exactitud la producción de los cultivos.

Datos de Goyes-Chávez *et al.* (2022) en un estudio evaluaron zonas potenciales de centros de distribución de café en Colombia y arrojan como resultados que herramientas geográficas como los SIG, métodos multicriterio y criterios geográficos son adecuados para la ubicación idónea de centros de distribución cafeteros, sin embargo, es necesario contar con información detallada de las zonas para tomar decisiones, como por ejemplo resolver conflictos del uso de la tierra, intereses de las asociaciones cafetaleras, entre otros y así mejorar la ventaja competitiva, no sólo en el café sino en todos los sectores agrícolas.

Conclusiones

Los datos georreferenciados son el elemento primordial y básico para aprovechar un SIG, por eso el desarrollo de mapas temáticos de incidencia de diferentes patógenos en parcelas de café, permite la divulgación de la utilidad de las tecnologías para precisar en la mejora de intercambio de la información entre los agricultores, trabajadores extensivos, investigadores y en cierta medida, a los responsables políticos, lo que permite una toma de decisiones más oportuna, específica y eficaz para el control de plagas y enfermedades del café, logrando una gestión sustentable del cultivo en la zona.

Bibliografía

- 1 Bautista, C. E. A.; Gutiérrez, C. E. V.; Ordaz, C. V. M.; Gutiérrez, C. M. C. y Cajuste, B. L. 2018. Sistemas agroforestales de café en Veracruz: identificación y cuantificación espacial usando SIG, percepción remota y conocimiento local. *Terra Latinoamericana*. 36(3):261-273. <https://doi.org/10.28940/terra.v36i3.350>.
- 2 Cantos, S. E. A.; Portilla, S. I. M.; Fajardo, E. P. G. y Lara, G. A. N. 2024. Evaluación multicriterio con aplicación de sistemas de información geográficas SIG para definir espacios de expansión urbana en el cantón Naranjito. *Revista Científica Arbitrada Multidisciplinaria Pentaciencias*. 6(6):93-109. <https://doi.org/10.59169/pentaciencias.v6i6.1259>.
- 3 CEDRSSA. 2019. Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria. Investigación interna, comercio internacional, el caso de México. Ciudad de México. 13 p. <http://www.cedrssa.gob.mx/files/b/13/94Caf%C3%A9%20Producci%C3%B3n%20y%20>
- 4 Choriego, M. R. A.; Hernández, S. V. S. y Martínez, S. D. N. 2023. Utilización de drones con aplicaciones tecnológicas en la agricultura por el sector bancario de El Salvador. *Ceiba*. 56(1):61-68. <https://doi.org/10.5377/ceiba.v56i1.16361>.
- 5 Coria-Contreras, J.; Mora-Aguilera, G.; Martínez-Bolaños, M.; Guzmán-Deheza, A., Acevedo-Sánchez, G. y Flores-Sánchez, J. 2014. Epidemiología de la roya del café (*Hemileia vastatrix*) en Soconusco, Chiapas. *Revista Mexicana de Fitopatología*. 32(1):43-53.
- 6 Figueroa-Figueroa, D. K.; Ramírez-Dávila, J. F.; Antonio-Némiga, X. y González-Huerta, A. 2020. Cartografía del aguacate en el sur del Estado de México mediante tratamiento digital de imágenes sentinel-2. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 11(4):865-879. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i4.2173>.
- 7 Figueroa-Figueroa, D. K.; Ramírez-Dávila, J. F.; Antonio-Némiga, X. y Serrato-Cuevas, R. 2024. Modelo espacial de áreas potenciales para plantaciones de aguacate en el Estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 15(5):1-6. <https://doi.org/10.29312/remexca.v15i5.3515>.
- 8 Goyes-Chávez, D. M.; Jaramillo-Molina, C. y Arango-Pastrana, C. A. 2022. Evaluación espacial de zonas potenciales de centros de distribución de cafés especiales, caso del Departamento de Nariño-Colombia. *Revista EIA*. 19(38):1-22. <https://doi.org/10.24050/reia.v19i38.1542>
- 9 Jiménez-Moya, G. E.; León, C. A.; Piñero, P. P. Y. y Romillo, T. A. 2016. Sigepro: Sistemas de Información Geográfica para controlar proyectos. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*. 10(2):181-195. <http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci-arttext&pid=S222718992016000200012&Ing=es&tlng=pt>.
- 10 Lokers, R.; Knapen, R.; Janssen, S.; Van-Randen, Y. and Jansen, J. 2016. Analysis of big data technologies for use in agro-environmental science. *Environmental Modelling & Software*. 84(1):494-504. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2016.07.017>.
- 11 Martínez-Martínez, N.; Ramírez-Dávila, J. F.; Mejía-Carranza, J.; Vera-Noguez, S. y Ramírez-Chimal, J. 2023. Ahuacatl: aplicación móvil para determinar la distribución espacial de problemas fitosanitarios en aguacate. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 14(3):471-476. <https://doi.org/10.29312/remexca.v14i3.3052>.
- 12 Mora, A. G.; Acevedo, S. G.; Coria, C. J.; González, G. R.; López, B. A. y López, J. M. 2015. Alertas tempranas para el manejo de focos de roya del cafeto en México. *Revista Mexicana de Fitopatología*. 33(1):62-70.

- 13 Orozco, Ó. A. y Ramírez, G. L. 2016. Sistemas de información enfocados en tecnologías de agricultura de precisión y aplicables a la caña de azúcar, una revisión. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*. 15(28):103-124. <https://doi.org/10.22395/rium.v15n28a6>.
- 14 Pérez-García, C. A.; Pérez-Atray, J. J.; Hernández-Santana, L.; Gustabello-Cogle, R. y Becerra-Armas, E. 2019. Sistema de información geográfica para la agricultura cañera en la provincia de Villa Clara. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*. 13(2):30-46. <http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci-arttext&pid=S222718992019000200030&lng=es&tlng=en>.
- 15 Pérez-Constantino, A.; Ramírez-Dávila, J. F.; Gutiérrez-Rodríguez, F. y Pérez-López, D. 2024. Comportamiento espacial de roya del cafeto en Sultepec, Estado de México, México. *Revista Acta Agrícola y Pecuaria*. 10(1):1-12. <https://doi.org/10.30973/aap/2024.10.0101004>.
- 16 Pino, M. E. 2023. Comportamiento espacial de ojo de gallo *Mycena citricolor*, en cafetales del municipio de Sultepec, Estado de México. *Café Mexiquense: Producción, mercado y política pública*. 293-328 pp.
- 17 Rea-Sánchez, V.; Maldonado-Cevallos, C. y Villao-Santos, F. 2015. Los sistemas de información para lograr un desarrollo competitivo en el sector agrícola. *Revista Ciencia Unemi*. 8(13):122-129. <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol8iss13.2015.122-129pp>.
- 18 Shekhar, S. y Xiong, H. 2017. *Enciclopedia de SIG. Medios de ciencia y negocios de Springer*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-23519-6>.
- 19 SIAP. 2023. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Producción Agrícola. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. <http://www.siap.gob.mx/>.
- 20 Silva, C. B.; Moraes, M. A. F. D. and Molin, J. P. 2011. Adoption and use of precision agriculture technologies in the sugarcane industry of São Paulo state, Brazil. *Precision Agric*. 12(1):67-81. <https://doi.org/10.1007/s11119-009-9155-8>.
- 21 SENASICA. 2024. Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. Muestreo y evaluación de variables de daño de Roya. <https://www.royacafe.lanref.org.mx/>.
- 22 Sosa-Escalona, Y.; Peña-Casadevall, M. and Santiesteban-Toca, C. E. 2017. System for early warning of the effects of climate change on agriculture. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*. 11(3):64-76. <http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci-arttext&pid=S222718992017000300006&lng=es&tlng=es>.



SIG para la gestión de problemas fitosanitarios del café en Sultepec

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

Article/Issue Information
Date received: 01 March 2025
Date accepted: 01 June 2025
Publication date: 12 August 2025
Publication date: Jul-Aug 2025
Volume: 16
Issue: 5
Electronic Location Identifier: e3760
DOI: 10.29312/remexca.v16i5.3760

Categories

Subject: Artículo

Palabras clave:

Palabras clave:

gestión sustentable
mapas temáticos
potencial agronómico

Counts

Figures: 9

Tables: 0

Equations: 0

References: 22

Pages: 0