

Ahuacatl: aplicación móvil para determinar la distribución espacial de problemas fitosanitarios en aguacate

Nancy Martínez-Martínez¹
José Francisco Ramírez-Dávila^{2§}
Jaime Mejía-Carranza³
Sara Vera-Noguez⁴
Jovanny Ramírez-Chimal⁴

¹Facultad de Ciencias Agrícolas, Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales-Universidad Autónoma del Estado de México. Carretera Toluca-Ixtlahuaca km 15, *Campus* 'El Cerrillo' Piedras Blancas, Toluca, Estado de México. CP. 50200. ²Universidad Autónoma del Estado de México-Facultad de Ciencias Agrícolas. Carretera Toluca-Ixtlahuaca km 15, *Campus* 'El Cerrillo', Piedras Blancas, Toluca, Estado de México. CP. 50200. ³Universidad Autónoma del Estado de México-Facultad de Ingeniería. Cerro de Coatepec, paseo universidad s/n, Ciudad Universitaria, Toluca, Estado de México. CP. 50100.

§Autor para correspondencia: jframirez@uaemex.com.mx.

Resumen

El cultivo de aguacate se ha visto afectado por diversas plagas y enfermedades lo que ha limitado su comercialización. A causa de ello se ha generado el uso indiscriminado de productos químicos por parte de los productores, lo que ha provocado gran contaminación ambiental, aumento en los costos de producción y la presencia de residuos de pesticidas en los frutos. El objetivo del presente trabajo fue desarrollar una aplicación móvil para determinar la distribución espacial de problemas fitosanitarios en el cultivo de aguacate. El desarrollo de la aplicación se realizó en 2020 y se basó en la metodología Rational Unified Process. Se incorporaron fórmulas y modelos matemáticos para obtener y ajustar el semivariograma. También se anexo la fórmula del método de kriging ordinario, con la finalidad de obtener mapas de densidad de las poblaciones de problemas fitosanitarios del cultivo de aguacate. La aplicación App Ahuacatl se puede instalar en celulares móviles o tabletas con el sistema operativo Android como ios. El usuario puede obtener su ubicación geográfica sin la necesidad de estar conectado a una red de internet o los datos móviles del celular.

Palabras clave: kriging ordinario, mapas de densidad, semivariogramas.

Recibido: abril de 2023

Aceptado: mayo de 2023

El aguacate (*Persea americana* Mill.) es uno de los principales cultivos a nivel mundial, en donde México destaca como principal exportador. Sin embargo, la producción de aguacate para exportación es limitada por plagas y enfermedades que limitan su comercialización a nivel mundial. Esto ha llevado a los productores a la aplicación excesiva e indiscriminada de agroquímicos, lo cual conduce a la presencia de residuos de pesticidas en los frutos, contaminación ambiental, pérdidas de biodiversidad, riesgos para la salud (Carbajal y Martos, 2019), resistencia de plagas y altos costos de producción.

En los últimos años, se ha incorporado de forma masiva tecnologías avanzadas a las prácticas agrícolas (Kamilaris *et al.*, 2017). La tecnificación e implementación de herramientas en los campos agrícolas han transformado la estructura productiva de varios países. Con ello han logrado mejorar en calidad y cantidad sus productos, obteniendo una mayor productividad. La implementación de tecnología está asociada al desarrollo de una región (Eberhardt y Vollrath, 2016), mediante el aumento de los ajustes económicos y ambientales (Chen *et al.*, 2017). Actualmente existen una serie de aplicaciones móviles disponibles para el sector agrícola, que ha generado múltiples ventajas como: optimización del uso de recursos, mejores prácticas agronómicas, programación de tareas (Mbabazi *et al.*, 2017), calibración de equipos de fumigación, geoposicionamiento de muestras de suelo, entre otros.

Estas tecnologías se han desarrollado y aplicado como estrategia para la gestión de cultivos y la toma de decisiones (Lokers *et al.*, 2016) de forma oportuna y eficaz. Existen programas que ayudan a determinar el tipo de comportamiento y la distribución de problemas fitosanitarios en los cultivos. Sin embargo, estos programas son un poco desconocidas para agricultores o técnicos, ya que solo se encuentran en los centros de investigación. Entre ellos se encuentra el programa Variowin 2.2 (Software for Spatial Data Analysis in 2D, Springer Verlag, New York) quien ayuda a conocer el tipo de comportamiento que presentan las plagas dentro de las parcelas.

El programa Surfer 16, determina la ubicación de las plagas y las representa en forma de mapas de densidad. Estos programas son de gran ayuda para los productores y técnicos, pues les facilitarían el diagnóstico real de las plagas y enfermedades en los cultivos. La investigación tiene como objetivo desarrollar una aplicación móvil para facilitar el manejo de problemas fitosanitarios en el cultivo de aguacate, mediante la elaboración de mapas de densidad, utilizando el método de interpolación llamado krigado ordinario, el desarrollo se llevó a cabo durante el año 2020.

Para el proceso de desarrollo de la aplicación se utilizó la metodología rational unified process (RUP). Esta metodología toma como elemento central del desarrollo los requerimientos del usuario; es decir, cada paso en el proceso de desarrollo es para construir una aplicación que atienda las necesidades identificadas. Así mismo, incorpora pruebas continuamente, que permiten identificar posibles errores, corregirlos cuanto antes reduciendo el impacto y costo derivado de ellos (Jacobson *et al.*, 2000).

La definición de los requisitos se realizó analizando el proceso que se sigue para incorporar un estudio geoestadístico en el diagnóstico de problemas fitosanitarios. De lo que deriva el requerimiento de poder coleccionar valores para la variable, asociados a datos de geolocalización. En este sentido la primera etapa es el análisis exploratorio de los datos para verificar la normalidad de los datos coleccionados en campo. Una vez integradas las bases de datos se lleva a cabo la creación del semivariograma experimental y su ajuste a modelos teóricos que permitan explicar la naturaleza del fenómeno o variable estudiada.

El valor del semivariograma se puede calcular por medio de la siguiente fórmula (Journel y Huijbregts, 1978; Isaaks y Srivastav, 1978): $\gamma^*(h) = \frac{1}{2N_p(h)} \sum_{i=1}^{N_p(h)} [Z(X_i) - Z(X_i+h)]^2$ (1). Donde: $\gamma^*(h)$ = al valor experimental del semivariograma para el intervalo de distancias h ; $N(h)$ = al número de pares de puntos muestrales separados por el intervalo de distancia h ; $Z(x_i)$ = al valor de la variable de interés en el punto muestral x_i ; $Z(x_i+h)$ = al valor de la variable de interés en el punto muestral x_i+h .

El semivariograma experimental debe ser ajustado al semivariograma teórico, dado que es necesario ajustar una función para cuantificar el grado y escala de variación espacial. Existen modelos que se usan en geoestadística, siendo los más comúnmente utilizados el modelo esférico, el modelo exponencial y el modelo gaussiano. Todos estos modelos tienen tres parámetros comunes que son efecto pepita, meseta y rango o alcance, parámetros que sirven para ajustar y validar al semivariograma.

Una vez que el semivariograma experimental fue ajustado a alguno de los modelos descritos fue necesario validarlos. La validación del modelo se realizó con el procedimiento denominado validación cruzada (Isaaks y Srivastava, 1978). Este método es utilizado para evaluar el grado de bondad entre los datos. Después de realizar la validación cruzada se procede a determinar el nivel de dependencia espacial el cual consiste en dividir el efecto pepita entre la meseta y el resultado es expresado en porcentaje, con la finalidad de conocer el grado de relación entre los datos (Cambardella *et al.*, 1994). Si el resultado es de 0% a 25% en nivel de dependencia espacial es alta, si se encuentra entre 26%-75% el nivel de dependencia es moderado y de 76%-100% el nivel de dependencia espacial es bajo.

Una vez que el modelo del semivariograma se valida se utiliza el método de interpolación denominado krigeado ordinario, para la elaboración de mapas de densidad de las poblaciones de problemas fitosanitarios. Este método de interpolación permite la estima no sesgada de puntos en donde no se realizaron muestreos. Para atender este requerimiento se utilizó la siguiente fórmula: $Z^{\wedge}(S_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i z(x_i)$ (2). Donde: $Z(X_i)$ = valor medido en la ubicación; λ_i = un peso desconocido para el valor medido; S_0 = ubicación de la predicción; N = número de valores medidos.

Después del desarrollo de la aplicación móvil y la incorporación de las fórmulas, la aplicación puede generar semivariogramas, mapas de densidad y determinar el porcentaje de superficie infestada por alguna plaga o enfermedad. Asimismo, puede obtener las coordenadas geográficas del usuario sin la necesidad de estar conectado a una red de internet o a los datos del celular. Sin embargo, esta aplicación sólo se desarrolló para el cultivo de aguacate. A continuación, se muestra un diagrama de flujo de la entrada y salida de datos de la aplicación App Ahuacatl (Figura 1).

Para corroborar que la aplicación funcionaba correctamente y que los resultados que arrojaba eran correctos, se compararon datos obtenidos con los programas de escritorio (Variowin 2.2 y Surfer 16) y los obtenidos con la aplicación. Para ello se tomó uno de los muestreos de escama armada (*Hemiberlesia lataniae* Signoret). El muestreo se realizó en el municipio de Coatepec Harinas, Estado de México en un huerto de aguacate cuya superficie fue de 4 ha. El cultivo presentaba una edad aproximada de 8 a 10 años, de la superficie del huerto se muestrearon 400 árboles de forma aleatoria.

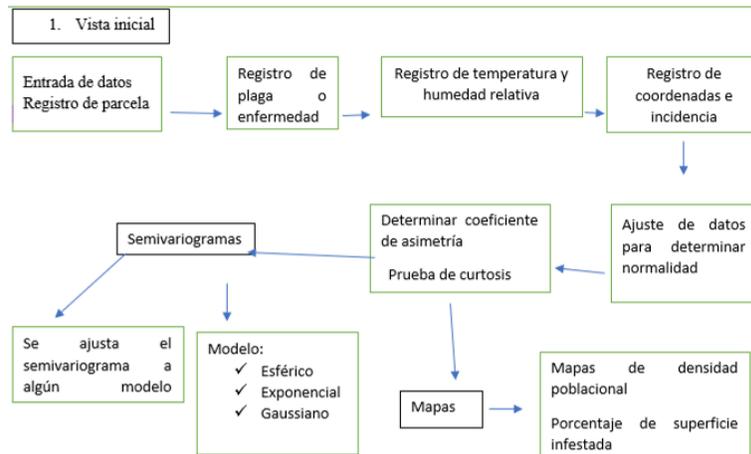


Figura 1. Diagrama de flujo de entrada y salida de datos de App Ahuacatl.

Los datos obtenidos con la aplicación fueron similares a los obtenidos con los programas Variowin 2.2 y Surfer 16. Con el programa Variowin, el semivariograma se ajustó al modelo esférico, quien obtuvo un efecto pepita cero, meseta de 360.8 y un rango de 7.2 m. La aplicación arrojó los mismos resultados. En la Figura 2 se puede observar a los dos semivariogramas ajustados al modelo de tipo esférico.

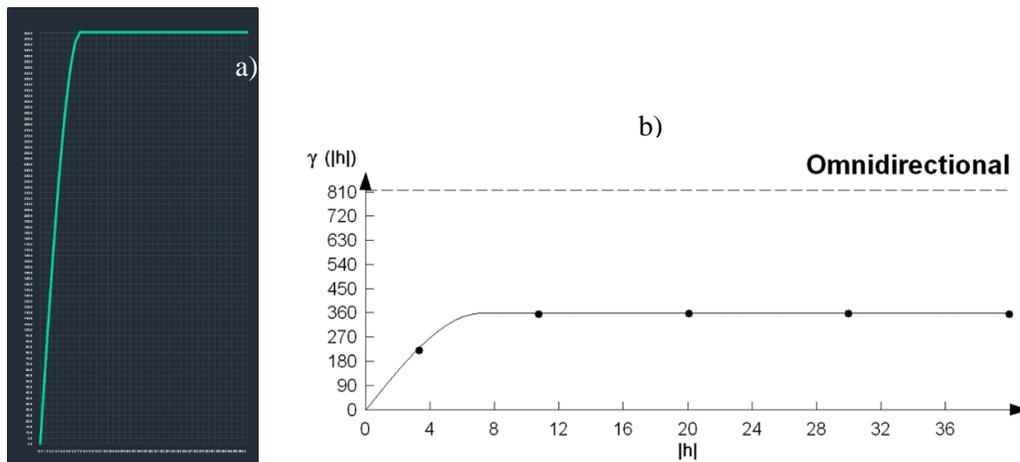


Figura 2. Semivariogramas del muestreo de escama armada. a) semivariograma obtenido por la aplicación móvil; y b) semivariograma obtenido por el programa Variowin.

Una vez ajustado el semivariograma en la aplicación se puede visualizar el mapa de densidad. En el mapa se presenta las zonas en donde se encuentran distribuidas las poblaciones del insecto. En la Figura 3a, del lado izquierdo del mapa se pueden observar las coordenadas norte junto con el baremo o escala de colores y de la parte inferior aparecen las coordenadas este y debajo de dichas coordenadas aparece el porcentaje de superficie infestada por la plaga. En el mapa aparecen los colores: blanco el cual indica ausencia o zona libre de infestación, el color rojo indica una incidencia alta de la plaga, el color verde presencia baja y el color amarillo presencia moderada.

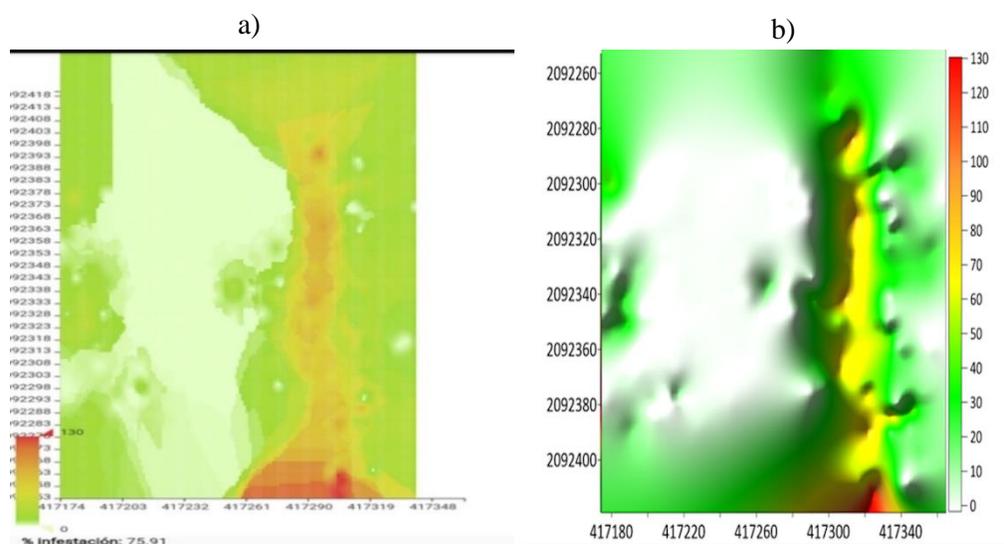


Figura 3. Mapas de densidad y porcentaje de superficie infestada. a) mapa elaborado con la aplicación móvil; y b) mapa elaborado con el programa Surfer 16.

La Figura 3b las coordenadas norte aparecen del lado izquierdo del mapa y las coordenadas este en la parte inferior del mapa. En este caso el baremo aparece del lado derecho del mapa con los mismos colores blanco, rojo, amarillo y verde. El valor máximo que aparece en el baremo determina el número máximo de incidencia del insecto en el muestreo.

Conclusiones

En cada muestreo aparecen datos como: nombre de la parcela, superficie de la parcela, nombre de la plaga o enfermedad que se está muestreando, fecha de muestreo, temperatura y humedad relativa. Así mismo, los datos del semivariograma: modelo, valores de efecto pepita, meseta, rango, nivel de dependencia espacial. La aplicación puede compartir los datos del muestreo con otro usuario ya sea por WhatsApp, correo, entre otros. El documento que se envía tiene un formato csv (valores separados por comas), dicho documento se puede observar tanto en la computadora como en el celular o tableta.

Los datos que se comparten solo son las coordenadas geográficas y la incidencia. Al enviar el documento por correo electrónico se envía en el cuerpo del correo: número de estudio, fecha en la que se realizó el muestreo, humedad relativa, total de muestreos realizados, número de incidencias, varianza, desviación estándar y la media muestral. La aplicación descrita en esta nota científica fue liberada con el nombre App Ahuacatl y fue desarrollada para el sistema operativo Android y IOS. La aplicación para teléfonos inteligentes se publicó en la plataforma Google Play y está disponible en <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.uaemex.ahuacatl>. Los resultados obtenidos del funcionamiento de la aplicación son conscientes con los obtenidos por software de laboratorio.

Con el desarrollo de la aplicación móvil permitirá a los técnicos como a los productores de aguacate controlar y prevenir plagas y enfermedades de forma oportuna. Es una herramienta que permite conocer las zonas en las que se encuentra presente algún problema fitosanitario. De esta forma ayudara a implementar algún método de control más adecuado de manera focalizada dirigiendo el

método de control hacia las zonas que realmente presenten altas densidades poblacionales. Con ello se evitarán pérdidas económicas y altos costos de producción, gasto excesivo en pesticidas, contaminación ambiental y la presencia de residuos químicos en los frutos.

Literatura citada

- Cambardella, C.; Moorman, T.; Novak, J.; Parkin, T.; Karlen, Y.; Turco, R. and Konopka, A. 1994. Field scale variability of soil properties in central iwa soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58:1501-1511. <https://doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800050033x>.
- Carbajal, A. y Martos, A. 2019. Parasitismo de *Encarsia citrina* (signoret) sobre *Hemiberlesia lataniae* (Crawford) (hemiptera: diaspididae), en cultivo de “palto”. *Agroindustrial Sci.* 10(1):49-54. <https://doi.org/doi.org/10.17268/agroind.sci.2020.01.07>
- Chen, X.; Jing, J.; Wan, G.; Yan, R. and Tao, S. 2017. Selection of an index system for evaluating the application level of agricultural engineering technology. *Pattern Recognition Letters.* 109:12-17. <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2017.09.028>.
- Eberhardt, M. and Vollrath, D. 2016. The effect of agricultural technology on the speed of development. *World Development.* 109:483-496. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2016.03.017>.
- Isaaks, E. and Srivastava, R. M. 1978. An introduction to applied geostatic. Oxford University Press. https://www.org.mx/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=273091&pid=S00651737201300030000700016&Ing=es.
- Jacobson, I.; Booch, G. and Rumbaugh, J. 2000. El proceso unificado de desarrollo de Software. Addison-Wesley.
- Journel, A. and Huijbregts, Z. 1978. Mining geostatistics. 2nd Ed. Academic press. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_nlinks&pid=S01886266201800050002400012&Ing=en.
- Kamilaris, A.; Kartakoullis, A. and Prenafeta, B. F. X. 2017. A review on the practice of big data analysis in agriculture. *Comp. Elec. Agric.* 143:23-37. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.09.037>.
- Lokers, R.; Knapen, R.; Janssen, S.; Van-Randen, Y. and Jansen, J. 2016. Analysis of big data technologies for use in agro-environmental science. *Environ. Mod. Software.* 84:494-504. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2016.07.017>.
- Mbabazi, D.; Migliaccio, K. W.; Crane, J. H.; Fraise, C.; Zotarelli, L.; Morgan, K. T. and Kiggundu, N. 2017. An irrigation schedule testing model for optimization of the smartirrigation avocado app. *Agric. Water Manag.* 179:390-400. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.09.006>.