

## Modelo espacial de áreas potenciales para plantaciones de aguacate en el Estado de México

Dulce Karen Figueroa-Figueroa<sup>1</sup>

José Francisco Ramírez-Dávila<sup>2,5</sup>

Xanat Antonio-Némiga<sup>3</sup>

Rodolfo Serrato-Cuevas<sup>3</sup>

1 Unidad de Estudios Superiores Coatepec Harinas-Universidad Mexiquense del Bicentenario. Ejido San Luis, El Reynoso, Coatepec Harinas, Estado de México. CP. 51700. Tel. 722 5185660. ([dulce.figueroa@umb.mx](mailto:dulce.figueroa@umb.mx)).

2 Facultad de Ciencias Agrícolas-Universidad Autónoma del Estado de México. Carretera Toluca-Ixtlahuaca km 15.5, El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca Estado de México. CP. 50295. Tel. 722 2965529.

3 Facultad de Geografía-Universidad Autónoma del Estado de México. Cerro Coatepec s/n, Ciudad Universitaria, Toluca, Estado de México. CP. 50110. Tel. 722 2150255. ([xanynemiga@hotmail.com](mailto:xanynemiga@hotmail.com); [rserratoc@uaemex.mx](mailto:rserratoc@uaemex.mx)).

Autor para correspondencia: [jframirez@uaemex.mx](mailto:jframirez@uaemex.mx)

### Resumen

En los últimos años, el cultivo de aguacate se ha convertido en uno de los más importantes y demandados a nivel internacional, México tiene el 30% de la producción mundial y el Estado de México es el tercer productor a nivel nacional, situación que propicia la expansión desmedida de este cultivo en el estado. Por tal motivo, el objetivo de esta investigación fue identificar regiones con potencial óptimo y subóptimo para el establecimiento de plantaciones de aguacate en los municipios de: Coatepec Harinas, Donato Guerra, Temascaltepec y Tenancingo del Estado de México. El estudio se desarrolló en tres etapas, la integración de una base de datos geoespaciales en entorno de sistemas de información geográfica, la construcción de criterios de análisis y ponderación de las variables territoriales y el desarrollo y validación de un modelo de asignación de potencial para el cultivo de aguacate. Como resultados, las áreas que mostraron un óptimo potencial representan un total de 9 543.82 ha ubicadas al sur de los municipios, se distribuyó de esta forma: 3 261.2 ha en Coatepec Harinas; 2 973.87 ha en Temascaltepec; 2 124.41 ha en Donato Guerra; y 1 184.33 ha en Tenancingo. Las áreas con subóptimo potencial representan un total de 6 098.54 ha de las cuales, Coatepec Harinas cuenta con 2 183.63 ha, Temascaltepec 1 846.41 ha, Donato Guerra 1 326.34 ha y Tenancingo 742.16 ha. El alto potencial de los diferentes municipios del estado de México, no indica que la totalidad de la superficie cuente con las condiciones adecuadas para el establecimiento del cultivo de aguacate.

### Palabras clave:

análisis SIG multivariado, cultivo de aguacate, potencial agronómico.



License (open-access): Este es un artículo publicado en acceso abierto bajo una licencia **Creative Commons**

El cultivo de aguacate (*Persea americana* Mill.) ha sido de interés para los agricultores, como una alternativa para la diversificación de cultivos con alto rendimiento, rentabilidad e importancia comercial y nutricional. En el Estado de México, Coatepec Harinas produce el 25% del aguacate en una superficie de 2177 ha; es decir, que uno de cada cuatro frutos mexiquenses proviene de este municipio (El Financiero, 2019). De acuerdo con la información reportada por el SIAP (2023) otros municipios contribuyen con grandes superficies de aguacate como: Tenancingo 884 ha con superficie cosechada de 846 ha y producción de 9 977.18 t, Temascaltepec 1 887 ha con superficie cosechada de 1 599 ha y producción de 14 982.69 t y Donato Guerra 1 533 ha superficie cosechada de 1 329 y producción de 15 515.41 t.

El incremento en la superficie cultivada fue motivado por el aumento en el volumen de exportación de aguacate desde el año 2000 y como consecuencia que el precio de venta tomara una considerable tendencia al alza, lo que despertó mayor interés por incursionar en la producción de este fruto (SENASICA, 2022). Por eso es necesario practicar una agricultura más productiva y con un menor nivel de riesgo, buscando la producción de cultivos en ambientes que provean condiciones que satisfagan los requerimientos agroecológicos de las plantas. Esto implica una zonificación de cultivos que permita identificar áreas con diferente nivel de aptitud agroecológica, desde las marginales, hasta las óptimas (Ruiz, 1999). En México el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) ha determinado el potencial productivo de diversos cultivos mediante sistemas de información geográfica (SIG) integrando información obtenida de imágenes de satélite, fotografías aéreas e información presentada en mapas y en bases de datos georreferenciadas (Reyes *et al.*, 2017).

Se consideró la importancia de optimizar la producción de aguacate y reconociendo la necesidad de estudios más específicos por su alta demanda, el objetivo de esta investigación fue identificar regiones con potencial óptimo y subóptimo para el establecimiento de plantaciones de aguacate en los municipios de Coatepec Harinas, Donato Guerra, Temascaltepec y Tenancingo del Estado de México.

El estudio se llevó a cabo en cuatro municipios al sur del Estado de México: Coatepec Harinas, Donato Guerra, Tenancingo y Temascaltepec ubicados en los paralelos 19° 25' 51" y 18° 46' 58.14" de latitud norte y 100° 19' 59" y 99° 28' 46.45" longitud oeste. El estudio se desarrolló en tres etapas, la primera fue la integración de una base de datos geoespaciales en entorno de SIG y la segunda la construcción de criterios de análisis y ponderación de las variables territoriales y la tercera el desarrollo y validación de un modelo de asignación de potencial para el cultivo de aguacate.

Se consultaron diferentes repositorios de información geográfica abierta, como: (INEGI, 2020; Atlas de Riesgos Ante el Cambio Climático en el Estado de México, 2023), de ellos se extrajeron las capas de: edafología, temperatura media anual, uso del suelo, precipitación media anual, curvas de nivel y límite estatal, así como cuatro imágenes obtenidas por el sensor Sentinel 2 de la (Agencia Espacial Europea, 2022) (Cuadro 1).

**Cuadro 1. Cartografía empleada en la elaboración de mapa de aptitud y requerimientos agroecológicos para el cultivo de aguacate Hass.**

Cobertura	Fuente	Escala	Valor mínimo	Valor optimo	Valor Máximo
Clima	Atlas de riesgos climatológicos	1: 250 000	Vertisol		
Edafología	Atlas de riesgos climáticos	1: 250 000	12 °C	Andosol	Vertisol
Temperatura media anual	Atlas de riesgos climáticos	1: 250 000		12 - 22 °C	27 °C
Uso de suelo	Atlas de riesgos climáticos	1: 250 000			

Cobertura	Fuente	Escala	Valor mínimo	Valor óptimo	Valor Máximo
Precipitación media anual	INEGI	1: 250 000	850 mm	1 000 - 1 400 mm	1 800 mm
Curvas de nivel	INEGI	1: 250 000	1 400 msnm	1 600 - 2 200 msnm	2 400 msnm
MDE a partir de curvas de nivel	Elaboración a partir de curvas de nivel	1: 250 000			
Pendientes a partir de MDE	Elaboración a partir de MDE	1: 250 000	1%	5-10%	20%
Limite estatal	INEGI	1: 250 000			
Imágenes satelitales Sentinel 2	Agencia Espacial Europea	10 m/píxel			

Las cartas se unieron cuando fue necesario, y se reproyectaron al sistema de coordenadas UTM Zona 14 N con el datum WGS1984. Sus tablas de datos relacionados se recodificaron en función de los criterios de potencial, generando un nuevo campo de aptitud. Posteriormente se convirtieron al formato ráster.

Se desarrolló una sobreposición ponderada (Weighted overlay) en ArcGis™ integrando los valores de aptitud de cada una de las variables (Cuadro 1) y recodificadas, restringiendo aquellas áreas que desea excluir del análisis y ponderando cada capa de entrada según su peso de influencia en el cultivo de aguacate, este peso se expresa en porcentaje y la suma de los pesos porcentuales de influencia de todas las variables es 100 (Cuadro 1).

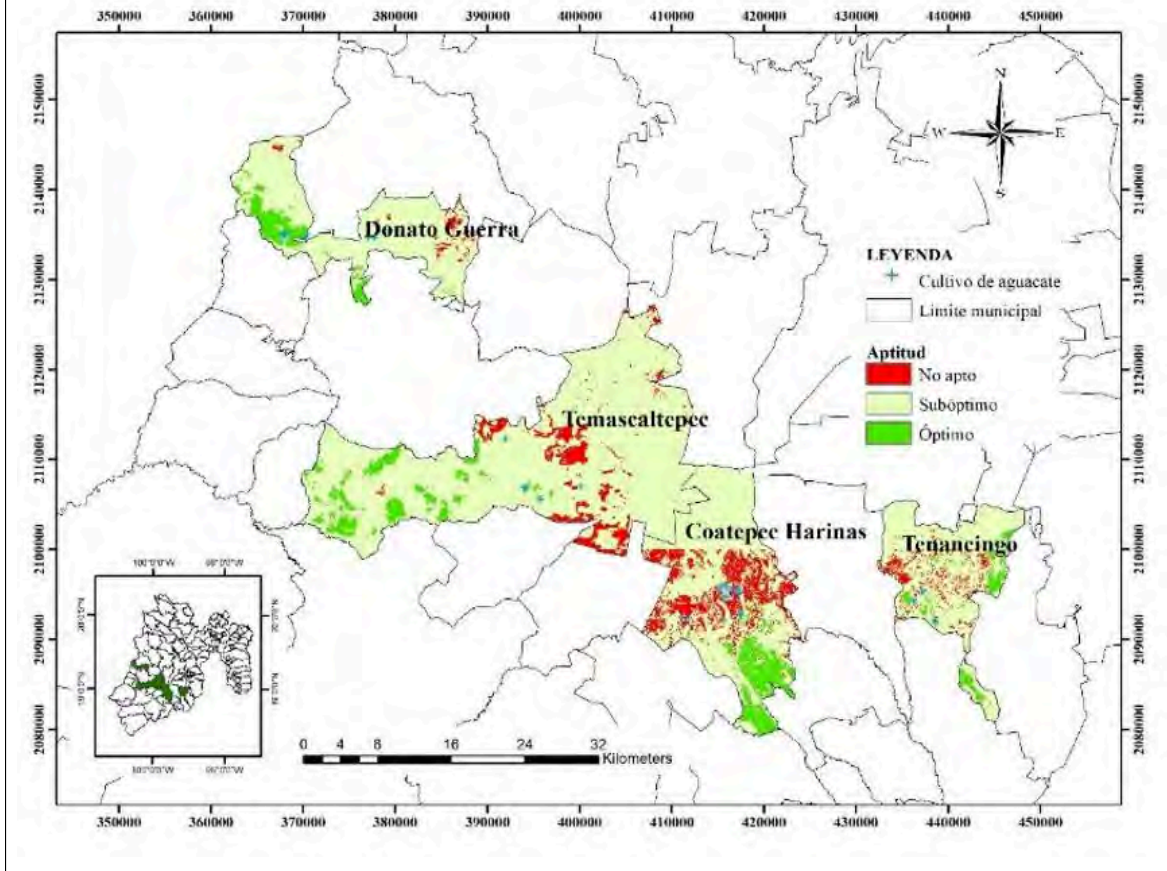
Al modelo resultante se le aplicó una máscara que excluye las zonas de alta reflectancia. Esta máscara se derivó de las escenas del sensor Sentinel 2B correspondientes al 7 de noviembre de 2022. Estas fueron sub muestreadas para extraer únicamente las bandas 2, 3, 4, 8, 11 y 12 que son compatibles con aquellas regiones que abarca Landsat ETM, para poder posteriormente calcular la transformación Tasseled Cap (Kauth and Thomas, 1976). Esta transformación sintetiza los valores de las bandas de la imagen generando tres nuevas bandas de información mediante la multiplicación por factores definidos, las cuales muestran el brillo, el verdor y la humedad en la imagen.

Posteriormente se reclasificó la banda 1 (correspondiente a brillo) mediante el método de clasificación no supervisada isodata clasificación en el software Envi. Esto permitió extraer los píxeles altamente reflectantes y se restó esta superficie al modelo de aptitud para quitar estas regiones imposibilitadas para el cultivo.

El resultado del mapa de aptitud indica que la superficie con óptima aptitud para el establecimiento del cultivo de aguacate es de 120 262.91 ha, mientras que 100 237.27 ha tienen aptitud subóptima y 10 481.82 ha no cuentan con las condiciones para este cultivo. Asimismo, Coatepec Harinas es el municipio con mayor superficie con aptitud óptima para el establecimiento de este cultivo con 3 261.2 ha, seguido de Temascaltepec con 2 973.83 ha, Donato Guerra con 2 124.41 ha; y Tenancingo con 1 184.33 ha. Las áreas con subóptimo potencial representan un total de 6 098.54 ha de las cuales, Coatepec Harinas cuenta con 2 183.63 ha, Temascaltepec 1 846.41 ha, Donato Guerra 1 326.34 ha y Tenancingo 742.16 ha.

En el mapa de aptitud con sobreposición de puntos de cultivo de aguacate (Figura 1), se observó que la tendencia de áreas con potencial para el cultivo se encuentra hacia el sur de los municipios, mostrando que, en Donato Guerra las plantaciones actuales se desarrollan en áreas con alto potencial, en contraste con las actuales plantaciones en los municipios de Temascaltepec, Coatepec Harinas y Tenancingo que se encuentran en áreas con aptitud subóptima y no apta.

Figura 1. Mapa de aptitud con sobreposición de puntos de cultivo de aguacate.



El establecimiento no se ha basado en los análisis necesarios para determinar el potencial territorial, realizando una propagación de este sin contemplar las necesidades de la especie, comprometiendo los resultados de adaptación y rendimiento del cultivo, por lo que se infiere que el alto potencial de los diferentes municipios del estado de México no indica que la totalidad de la superficie cuente con las condiciones adecuadas para el establecimiento del cultivo de aguacate.

Los resultados obtenidos coinciden con los reportados por INIFAP (2012); INIFAP (2012b), quienes mencionan que los Distritos de Desarrollo Rural (DDR): Coatepec Harinas, Valle de Bravo y Tequilco tienen como centro de atención para el desarrollo rural (CADER) a estas localidades como potenciales para el cultivo de aguacate, así mismo en 2019, la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER) en su publicación avance de la producción de aguacate en la entidad mexicana señala que el Estado de México es una de las entidades más importantes en cuanto a la producción de Aguacate y algunos de los municipios donde se tiene registrada la mayor producción de aguacate son: Coatepec Harinas, Donato Guerra, Temascaltepec, Tenancingo, Valle de Bravo y Villa de Allende.

Derivado de los resultados los SIG, son una alternativa eficiente y precisa que permite la toma de decisiones pertinentes en el área agrícola. Con los datos arrojados, los interesados en el tema pueden llevar a cabo una agricultura más productiva con un menor nivel de riesgo y una planeación certera de los programas de expansión del cultivo, buscando la producción en ambientes que provean condiciones que satisfagan los requerimientos agroecológicos de las plantas. Esto implica una zonificación de cultivos que permita identificar áreas y épocas con diferente nivel de aptitud agroecológica, desde las marginales, en donde el cultivo difícilmente satisface sus necesidades ecológicas, hasta las óptimas, donde el cultivo satisface íntegramente tales exigencias (Ruiz et al., 1999).

## Conclusiones

El municipio Coatepec Harinas es el de mayor superficie óptima para el establecimiento del cultivo de aguacate con 3 261.2 ha. La mayoría de las plantaciones establecidas en el área de estudio, no se encuentran en áreas con características óptimas para el cultivo de aguacate, por lo que se puede decir que el alto potencial de los diferentes municipios del Estado de México, no indica que la totalidad de la superficie cuente con las condiciones adecuadas para el establecimiento del cultivo de aguacate. Los sistemas de información geográfica son una herramienta con la versatilidad adecuada para conocer, visualizar y proponer las mejores opciones para la toma de decisiones y planeaciones futuras de los recursos disponibles.

## Bibliografía

- 1 Atlas de Riesgos Ante el Cambio Climático en el Estado de México. 2023. Atlas de Riesgos Ante el Cambio Climático en el Estado de México <http://ieecc.edomex.gob.mx/altas-riesgos>.
- 2 El Financiero. 2019. Edomex buscará tener primera planta certificada de aguacate. <https://www.elfinanciero.com.mx/nacional/edomex-buscará-tener-primeraplantacertificada-de-aguacate>.
- 3 European Space Agency. 2022. ESA. El programa Copérnico. <http://www.esa.int/esl/ESA-in-your-country/Spain/El-programa-Copernico>.
- 4 INEGI. 2020. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Biblioteca digital de mapas. <https://www.inegi.org.mx/app/mapas/>.
- 5 INIFAP. 2012. Instituto Nacional de Investigaciones forestales, Agrícolas y Pecuarias. Determinación del potencial productivo en cultivos prioritarios en el Estado de México. Zinacantepec, Estado de México.
- 6 INIFAP. 2012b. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Determinación del potencial productivo en cultivos prioritarios en el Estado de México. Zinacantepec, México. <https://isbn.cloud/9786074259476/determinacion-del-potencial-productivo-en-cultivos-prioritarios-en-el-estado-de-mexico/>.
- 7 Kauth, R. J. and Thomas, G. S. 1976. The Tasselled Cap-A Graphic Description of the Spectral-Temporal Development of Agricultural Crops as Seen by LANDSAT. LARS Symposia. 159 p.
- 8 Reyes, A. J. C.; Monteagudo, R. O.; Valdez, P. M. E.; Mejía, C. J.; Espíndola, B. M. y Urbina, S. E. 2017. Modelo fenológico para el aguacate "Hass" en el Estado de México. Memorias del V congreso latinoamericano del aguacate. Jalisco, México. 302-308 pp.
- 9 Ruiz, C. J. A. 1999. Determinación del potencial productivo de la costa sur de Jalisco. Estudio piloto. Informe de investigación INIFAP-Campo Experimental Centro de Jalisco.
- 10 SENASICA. 2022. Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. Impacto económico potencial de *Xyleborus glabratus* - *Raffaelea lauricola* en el cultivo de aguacate, en el estado de Michoacán, México. <https://dj.senasica.gob.mx/Contenido/files/2022/septiembre/Impactoecon%C3%B3micopotencialdeXyleborusglabratusRaffaelealauricolaenelcultivodeaguacate,enelestadodeMichoac%C3%A1n-4effcb0b-2b30-4ad2-abce-38360657eee5.pdf>.
- 11 SIAP. 2023. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. <http://www.siap.gob.mx/>.





## Modelo espacial de áreas potenciales para plantaciones de aguacate en el Estado de México

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 June 2024
Date accepted: 01 July 2024
Publication date: 02 September 2024
Publication date: Jul-Aug 2024
Volume: 15
Issue: 5
Electronic Location Identifier: e3515
DOI: 10.29312/remexca.v15i5.3515

### Categories

Subject: Nota de investigación

### Palabras clave:

**Palabras clave:**

análisis SIG multivariado  
cultivo de aguacate  
potencial agronómico.

### Counts

Figures: 1  
Tables: 1  
Equations: 0  
References: 11  
Pages: 0