CIENCIA E INNOVACIÓN AGROALIMENTARIA
DE LA UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO
Vol. 6, Núm. 2 (2025), pp. 99-112.

ZONIFICACIÓN AGROECOLOGICA DEL CULTIVO DE MAIZ (*Zea mays* L.) EN EL ESTADO DE VERACRUZ[1]

AGROECOLOGICAL ZONING OF MAIZE (*ZEA MAYS L*) CULTIVATION IN THE STATE OF VERACRUZ

Angel-Capetillo Burela[1]; Catalino Jorge-Lopez Collado[2*]; Lenom-Cajuste Bontemps[3]; Rigoberto-Zetina Lezama[1]

[1] *Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)-Campo Experimental Cotaxtla. Km 34.5 carretera Federal Veracruz-Córdoba. Municipio de Medellín de Bravo, Veracruz. Correo: capetillo.angel@inifap.gob.mx; capetillo@colpos.mx*
[2] *Colegio de Postgraduados Campus Veracruz. Dirección. Km. 88.5 Carretera Xalapa-Veracruz, Predio Tepetates, Municipio de Manlio F. Altamirano; Veracruz, Ver. C.P. 91700. México*
[3] *Colegio de Postgraduados Montecillos. Dirección. Carretera México-Texcoco de Mora Km. 36.5, Montecillo, Texcoco 56264, Estado de México*
** E-mail: cjlc2000@hotmail.com*

Fecha de envío: 17 de mayo del 2025 Fecha de publicación: 20, julio, 2025

Resumen. La zonificación agroecológica optimiza el uso del suelo, mejora rendimientos y reduce impactos ambientales, favoreciendo con ello la seguridad alimentaria y sostenibilidad de los recursos naturales, por lo que el objetivo de la presente investigación fue determinar las zonas aptas y potenciales para la producción de maíz mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (QGIS v3.40.4). Se utilizaron mapas temperatura, precipitación y textura de suelos del INEGI, con los cuales, mediante la superposición de capas, y validación espacial de cada uno de los mapas, se lograron generar por separado y en conjunto cada una de las zonas aptas para la producción de maiz en el estado de Veracruz. Se encontró que más del 95% del estado de Veracruz presenta condiciones climáticas favorables (temperaturas entre 18-35°C), así como suelos con texturas medias (suelos francos) y texturas finas (suelos pesados y/o arcillosos; sin embargo, se observó que aproximadamente sólo el 3 % cumple con el rango de precipitación establecido (700-1100 mm/año), lo que sugiere una subestimación de áreas potenciales debido a criterios pluviométricos restrictivos. Se concluye que los resultados obtenidos resaltan la importancia de ajustar los umbrales climáticos en futuras zonificaciones para evitar sesgos, ya que la herramienta QGIS demostró ser eficaz para la planificación agrícola sostenible, optimizando recursos y reduciendo riesgos asociados al cambio climático en la producción de maíz en el estado de Veracruz.

Palabras clave: Suelo, temperatura, precipitación, capas, QGIS

[1] Esta investigación se derivó de un proyecto sobre la zonificación agroecológica y gestión ambiental llevado a cabo por el Colegio de Postgraduados, Campus, Veracruz

Abstract:
Agroecological zoning optimizes land use, improves yields, and reduces environmental impacts, thereby promoting food security and the sustainability of natural resources. Therefore, the objective of this research was to determine suitable and potential zones for corn production using Geographic Information Systems (QGIS v3.40.4). Temperature, precipitation, and soil texture maps from INEGI were used, and through layer overlay and spatial validation of each map, suitable zones for corn production in the state of Veracruz were generated both individually and collectively. It was found that over 95% of Veracruz has favorable climatic conditions (temperatures between 18-35°C), as well as soils with medium textures (loamy soils) and fine textures (heavy and/or clayey soils). However, it was observed that only about 3% meets the established precipitation range (700-1100 mm/year), suggesting an underestimation of potential areas due to restrictive rainfall criteria. It is concluded that the results highlight the importance of adjusting climatic thresholds in future zoning efforts to avoid bias, as QGIS proved to be an effective tool for sustainable agricultural planning, optimizing resources, and reducing risks associated with climate change in corn production in the state of Veracruz.
Keywords: Soil, temperature, precipitation, layers, QGIS

INTRODUCCIÓN

La zonificación agroecológica (ZAE) es una de las principales herramientas utilizadas en México y el mundo para garantizar y optimizar la producción agrícola sostenible, especialmente en cultivos estratégicos como el maíz (*Zea mays* L). La importancia de realizar este tipo de actividades, es que permite identificar las áreas más adecuadas para ese cultivo, debido que en ella se consideran factores como el clima, el suelo y la disponibilidad de agua con el fin de maximizar el rendimiento y minimizar el impacto ambiental (FAO, 2018). México enfrenta desafíos significativos debido al cambio climático (CC); el cual, se manifiesta con la presencia de fenómenos extremos como sequías prolongadas, cambios radicales en los patrones de precipitación, aumento de temperaturas y eventos climáticos extremos (como huracanes y heladas); los cuales, afectan directamente la producción agrícola, de cultivos estratégicos como el maíz, que es fundamental para la seguridad alimentaria del país (Conde-Álvarez et al., 2011), por lo que la zonificación agroecológica se convierte en una herramienta clave para la adaptación al cambio climático, ya que permite identificar áreas con menor vulnerabilidad y mayor resiliencia para el cultivo de maíz (CONABIO, 2018); debido que al analizar variables como el clima, el tipo de suelo, la disponibilidad de agua y la altitud, es posible determinar las zonas donde el maíz puede cultivarse con menores riesgos y mayores probabilidades de éxito (INIFAP, 2017). De acuerdo con la SEMARNAT,

(2020), y Rodríguez *et al*. (2020), la ZAE es de suma importancia para prevenir prácticas agrícolas inadecuadas que pueden llevar a la erosión y degradación del suelo, especialmente en regiones con suelos frágiles y de laderas, promoviendo prácticas como la rotación de cultivos y el uso eficiente del agua, que son clave para la producción de maíz en México; así como también es esencial para la formulación de políticas públicas enfocadas a promover la seguridad alimentaria y el desarrollo rural sostenible de nuestro país enfocado al cultivo de maíz principalmente (SAGARPA, 2016). Por otro lado, el maíz, es uno de los principales cultivos agrícolas de México, ya que, de los 20 millones de hectáreas dedicadas a la agricultura, 6.4 millones se destinan a la producción de maíz de grano y 0.5 millones para maíz forrajero. A nivel nacional, el estado de Veracruz es el segundo productor de maíz de grano, con una superficie sembrada de 598,902 ha, sólo por debajo de Chiapas (688,085 ha). El rendimiento promedio nacional de grano es de 4.3 t/ha, mientras que el de Veracruz es de 2.3 t/ha, siendo el estado con mayor rendimiento promedio Sinaloa con 12.3 t/ha (SIAP, 2023).

El maíz es uno de los cereales de mayor importancia en el mundo y principalmente en México, ya que forma parte fundamental de la dieta de los mexicanos, y se consume de diferentes formas, siendo unas de las más comunes las tortillas, harinas, grano entero, y aceites. Además, también forma parte de la dieta de los animales, principalmente del grano y forraje (Hernández et al., 2024). En el año 2021, México ocupó el séptimo lugar a nivel mundial, con una producción de más de 27 millones de toneladas de maíz, destacando que este grano se cultiva en los 32 estados del país, siendo los principales productores Sinaloa, Jalisco, Estado de México, Guanajuato y Michoacán. Para el caso específico del estado de Sonora, éste aportó un 20 % de la producción nacional, para ello fueron destinados más de 7 millones de hectáreas (SIAP, 2021); sin embargo, en el año 2023, de los 23.4 millones de hectáreas destinadas para la agricultura en México, sólo 20 millones de hectáreas fueron cultivadas, mientras que para la producción de grano de maíz sólo se destinaron 6.4 millones, de la cual se obtuvo un registro de producción de 27,550 millones de toneladas, lo que representa aproximadamente 2.3 % de la producción mundial, siendo México el 6° lugar como productor mundial, para los cuales las exportaciones fueron de 28 millones de toneladas, mientras que se importaron 19

millones (SIAP, 2024). Por lo anterior, el objetivo de la investigación fue generar la zonificación agroecológica con el programa QGIS versión 3.40.4 para identificar las zonas potenciales para la producción de maíz en el estado de Veracruz, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación geográfica. La investigación se llevó a cabo en las instalaciones del Colegio de Posgraduados Campus, Veracruz; el cual se ubica en el Predio Tepetates, km. 88.5 de la carretera federal Veracruz-Xalapa, municipio de Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, México, entre las localidades de Puente Jula y Paso San Juan. Geográficamente, se ubica a los 19° 11´ 53" de Latitud Norte y 96° 19´ 47" de Longitud Oeste a una elevación de 32 msnm (García, 2004).

La metodología para la ZAE en el cultivo de maíz en Veracruz permitió realizar una zonificación agroecológica precisa del cultivo en el estado de Veracruz utilizando QGIS versión 3.40.4; el cual, combinó el análisis de datos climáticos, edáficos y topográficos con herramientas geoespaciales, proporcionando información valiosa para la planificación agrícola y la adaptación al cambio climático. De acuerdo con la FAO (2018) y Benacchio (1982), se deben previamente definir los criterios basados en los requerimientos agroecológicos del cultivo de maíz como por ejemplo los rangos óptimos de temperatura, precipitación y tipo de suelo principalmente; los detalles se describen a continuación:

- Recopilación de datos: Se recopilaron datos climáticos, edáficos (suelos), topográficos y biológicos del estado de Veracruz, relevantes para el cultivo de maíz, los cuales fueron obtenidos y consultados en la página del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de las estaciones meteorológicas que están en operación (Hijmans *el al*., 2005). Así mismo, los datos sobre tipos de suelo, textura, pH, capacidad campo, pendiente, altitud y otros, fueron obtenidos de la página del INEGI, (2020). Asimismo, se realizó un análisis de las variables climáticas con la finalidad de identificar patrones y limitaciones.
- Requerimientos del cultivo: Se identificaron las condiciones óptimas de temperatura, precipitación, tipo de suelo y altitud que requiere el maíz para su desarrollo (González, 1984).
- Análisis espacial: Se utilizaron sistemas de información geográfica en QGIS, con el cual se superpusieron capas de información para identificar zonas con

características adecuadas para el maíz. Dichas capas fueron importadas de los datos climáticos, edáficos y topográficos en el programa QGIS, (2023) como capas vectoriales y raster; asimismo, se analizó y verificó que todas las capas estuvieran correctamente georreferenciadas en el mismo sistema de coordenadas WGS-84 para poder realizar interpolaciones, superposiciones y cálculos de índices agroclimáticos. En este sentido es necesario mencionar que la superposición de capas, es una operación fundamental para el análisis espacial, ya que permite combinar información de diferentes capas (por ejemplo, polígonos, líneas o puntos) para obtener nuevos datos o realizar análisis más complejo (Conde-Álvarez*et al*., 2011).

- Evaluación de aptitud: Se clasificaron las áreas en categorías de aptitud (alta, media, baja o no apta) según su compatibilidad con los requerimientos del cultivo de maíz.
- Validación de campo: Posteriormente se realizarán visitas a zonas seleccionadas para corroborar la precisión del análisis); la cual se realiza mediante estudios de campo, lo que permitir ajustar los modelos y confirmar la viabilidad del cultivo en las zonas identificadas (Rodríguez et al., 2020).
- Identificación de limitantes: Se detectaron factores limitantes como inundaciones, sequías o suelos poco fértiles.
- Generación de mapas y reportes. Los mapas temáticos generados en QGIS, mostraron las zonas aptas para el cultivo de maíz, incluyendo información sobre clima, suelo y topografía (SEMARNAT, 2020)
- Propuesta de manejo: Se elaboraron recomendaciones técnicas específicas para el cultivo de maíz según las zonas identificadas. Además, los requerimientos agroecológicos del cultivo, según Ruiz et al. (2013) y Villalpando, (1986)., incluyen: altitud de 0 a 2500 m, temperatura entre 18 y 35 °C, precipitación de 700 a 1100 mm, suelos con texturas franco-limosa, franco-arcillosa y franco-arcillo-limosa, y un pH entre 5.5 y 7.5.
- Análisis de información. La validación y análisis de información en QGIS se realizó mediante la combinación de herramientas, técnicas, revisión manual y comparación con fuentes externas; con la finalidad de asegurar que los datos generados fueran precisos, confiables y útiles para la toma de decisiones en la producción del cultivo de maíz.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1, se muestra el mapa de la distribución de la temperatura del estado de Veracruz a partir del mapa del INEGI (2006), en el cual se muestran las isoyetas de la temperatura media anual que se tienen en lo largo y ancho del estado de Veracruz. En este sentido, las isoyetas de color rojo indican las temperaturas mayores a 20°C, las líneas verdes indican las zonas que tienen temperaturas entre 10 y 20°C; mientras que las zonas azules indican aquellas temperaturas que son menores a 10° C respectivamente. Derivado de lo anterior, Ramírez-Villegas *et al*. (2013), encontraron que la inclusión de variables térmicas de alta resolución espacial y temporal mejora la precisión de la zonificación agroecológica, permitiendo identificar áreas marginales donde el estrés por calor puede reducir los rendimientos de cultivo de maíz; por lo que se puede corrobora que la variable temperatura es uno de los factores determinantes para la producción de maíz en el estado de Veracruz.

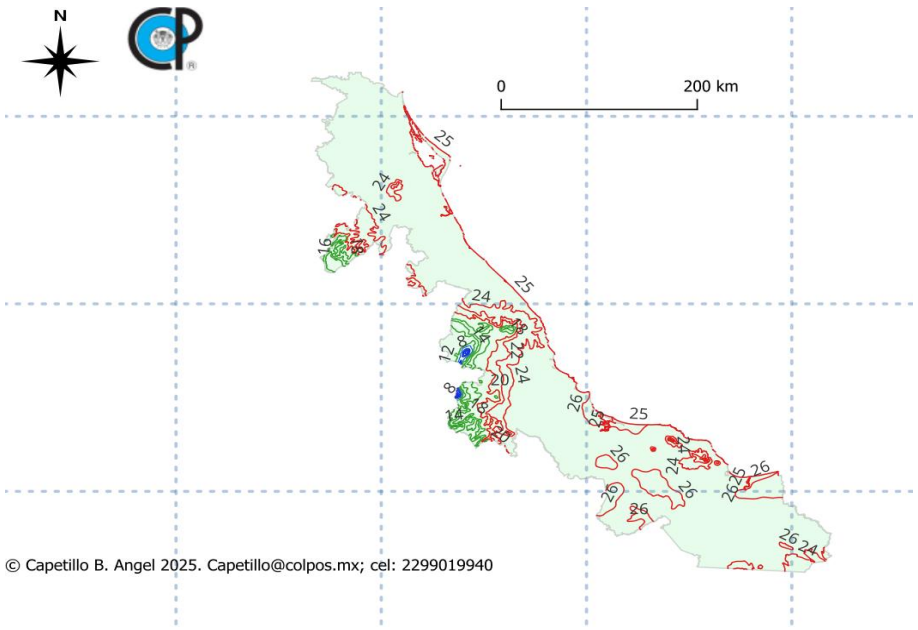

Figura 1. Mapa de temperatura del estado de Veracruz a partir del mapa generado por el INEGI,2006. Fuente: Elaboración propia con el programa QGIS versión 3. 40.4

Figure 1. Temperature map of the state of Veracruz based on the map generated by INEGI, 2006. Source: Prepared by the authors using QGIS version 3.40.4.

Por otro lado, en la Figura 2, se observa el mapa de precipitación con sus respectivas isoyetas (lado izquierdo); así como también el mapa de suelos (lado derecho) del estado de Veracruz, generados a partir de los mapas del INEGI (2006) con el programa QGIS Versión 3.40.4; en el cual, para el caso del mapa de precipitación, las isoyetas marcadas de color azul indican las zonas con precipitaciones superiores a 1500 mm, mientras que las de color verde muestran las zonas con precipitaciones de 1000 a 1500 mm, y finalmente las isoyetas de color rojo indican zonas con precipitaciones menores a 1000 mm respectivamente. Asimismo, para el caso del mapa de suelos (lado derecho), se observan solamente los diferentes tipos de suelos considerando la textura gruesa, media y fina de todo el estado de Veracruz. Por otro lado, los mapas descritos de precipitación y suelos son herramientas esenciales para la zonificación agroecológica del maíz en Veracruz, permitiendo con ello, una agricultura más sostenible y adaptada a las condiciones locales, ya que su integración en sistemas de información geográfica (SIG) mejora la toma de decisiones en políticas agrícolas y manejo agronómico; asimismo, son parte de la materia prima para la identificación de áreas óptimas para la producción de maíz, reduciendo riesgos climáticos y mejorando la planificación agrícola (Pérez-Olvera *et al*., 2011) y (Doorenbos & Kassam, 1979).

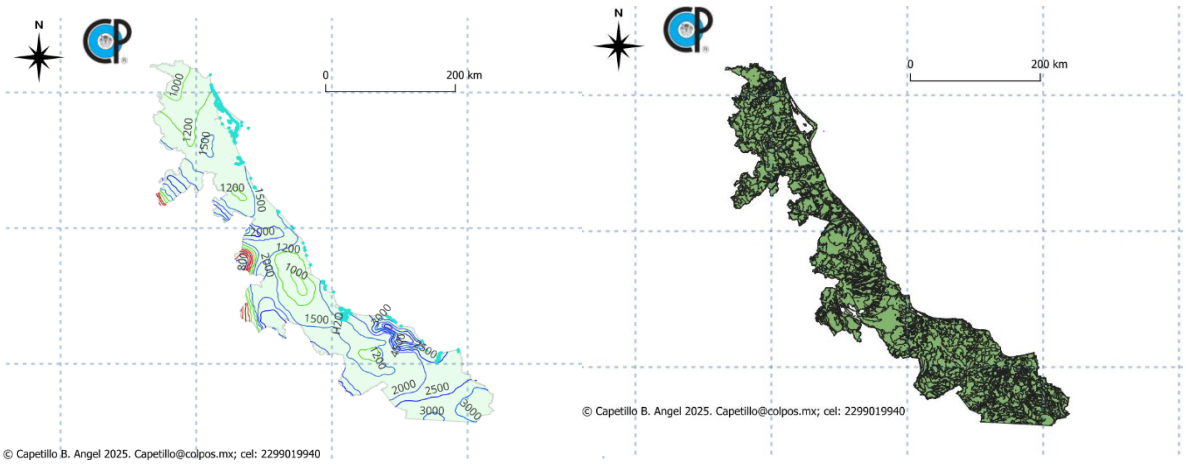

Figura 2. Mapa de precipitación (lado izquierdo) y mapa de suelos (lado derecho) del estado de Veracruz a partir del mapa generado por el INEGI, 2006. Fuente: Elaboración propia con el programa QGIS versión 3. 40.4

Figure 2. Precipitation map (left side) and soil map (right side) of the state of Veracruz, based on the map generated by INEGI, 2006. Source: Prepared by the authors using QGIS version 3.40.4.

En la Figura 3, se muestra el mapa de las temperaturas óptimas (18 a 35 °C) generado con el programa QGIS versión 3. 40.4 para el cultivo de maíz en el estado de Veracruz, en el cual considerando sólo esta variable, se puede observar que más del 95 % del estado presenta zonas aptas para la producción de maíz; sin embargo, esta variable no es determinante por si sola para determinar la zonificación agroecológica para este cultivo. En este sentido, en una investigación realizada por Gómez-Diaz *et al.* (2021), al evaluar con QGIS la variable temperatura media anual, sus rangos térmicos y precipitación para la zonificación agroclimática de maíz en Veracruz, lograron identificar las áreas con estrés térmico (>30 °C) y zonas óptimas (20 a 28 °C) para maíz en el estado antes mencionado.

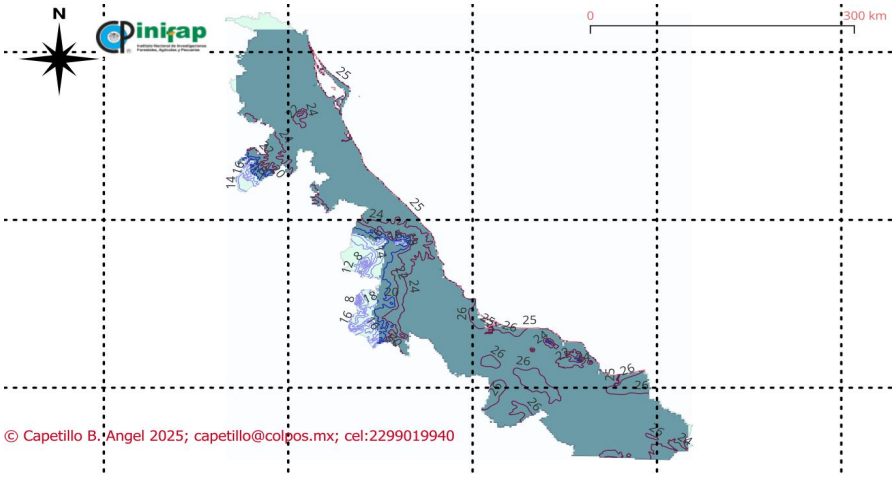

Figura 3. Mapa de zonificación agroecológica considerando la temperatura optima (18-35°C) para el cultivo de maíz del estado de Veracruz. Fuente: Elaboración propia con el programa QGIS versión 3. 40.4

Figure 3. Agroecological zoning map considering the optimal temperature range (18–35°C) for maize cultivation in the state of Veracruz. Source: Prepared by the authors using QGIS version 3.40.4.

En lo que respecta a la precipitación óptima para el cultivo de maíz en el estado de Veracruz, en la Figura 4 se muestra el mapa generado con el programa QGIS para dicha variable; en el cual se puede observar que de acuerdo con los datos proporcionados por Ruiz et al. (2013), se tiene no más de 3 % de la superficie de dicho estado con condiciones óptimas de precipitación para la producción de maíz (área dentro del mapa de color azul); sin embargo, existen investigaciones en las cuales el maíz puede desarrollarse adecuadamente en precipitación de hasta 2000 mm de precipitación. En este sentido Sánchez et al. (2018) y Conde-Álvarez et al.

(2014), mencionan que los mapas de precipitación permiten evaluar la disponibilidad hídrica para el maíz como un favor crítico para dicho cultivo, ya que de acuerdo con la FAO (2015), este requiere entre 500 y 800 mm de precipitación; sin embargo, en Veracruz, donde la precipitación varía desde 1,200 mm en zonas bajas hasta más de 3,500 mm en zonas montañosas, éstos mapas ayudan principalmente a identificar zonas con estrés hídrico o exceso de humedad, optimizar las fechas de siembra y principalmente prevenir pérdidas por sequías o inundaciones, especialmente en el contexto del cambio climático respectivamente.

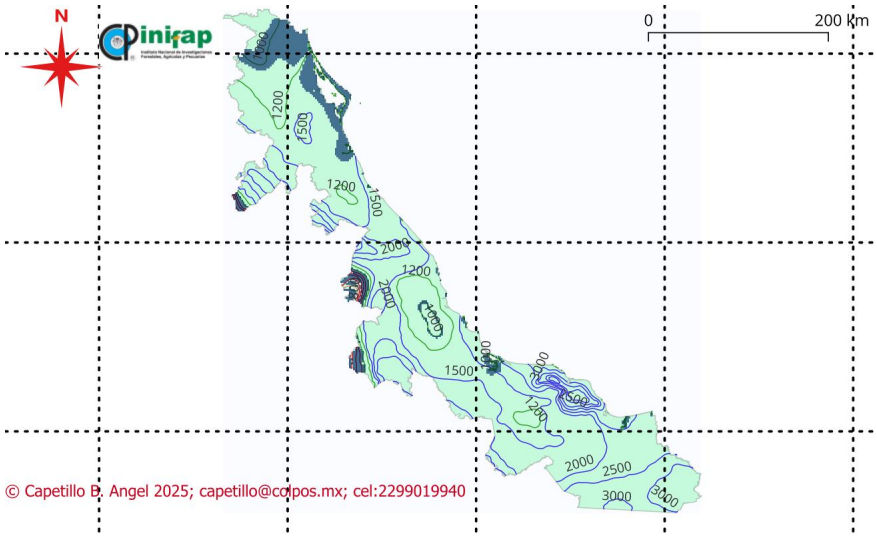

Figura 4. Mapa de zonificación agroecológica considerando la precipitación optima (700 a 1100 mm) para el cultivo de maíz del estado de Veracruz. Fuente: Elaboración propia con el programa QGIS versión 3. 40.4

Figure 4. Agroecological zoning map showing the optimal precipitation range (700 to 1100 mm) for maize cultivation in the state of Veracruz. Source: Prepared by the authors using QGIS version 3.40.4.

Los suelos son una parte fundamental y medular en la realización de estudios de la zonificación agroecológica para el cultivo de maíz, ya que con ello es posible determinar la disponibilidad de nutrientes, agua y factores críticos para el rendimiento del cultivo, permitiendo con ello identificar áreas con suelos fértiles (como Andisoles) versus zonas con limitaciones (acidez o erosión), permitiendo reducir riesgos de degradación al evitar cultivos en suelos marginales. En este sentido, en la Figura 5 se muestra el potencial que se tiene para la producción de maíz considerando la textura del suelo (más de 95% del estado de Veracruz), que, en este caso, las zonas marcadas de color café, son aquellas áreas óptimas para

dicho cultivo considerando texturas medias (suelos francos); mientras que las áreas sombreadas de color rojo, igualmente son adecuadas para el cultivo de maíz pero que considerando texturas finas (suelos pesados y/o arcillosos). Estudios realizados por Palma-López *et al.* (2007), indican que los suelos determinan la fertilidad, retención de agua y aptitud para el cultivo de maíz, mencionando a la vez que el estado de Veracruz presenta una gran diversidad edáfica que considera suelos Andisoles fértiles hasta Acrisoles ácidos; es decir, determinaron que las propiedades físicas y químicas de los suelos (como textura, pH, materia orgánica y capacidad de intercambio catiónico) son determinantes en la fertilidad del suelo, afectando directamente el crecimiento y rendimiento del maíz; por lo que los suelos con alta retención de agua (como los Andisoles) favorecen la disponibilidad de nutrientes y reducen el estrés hídrico en períodos secos; mientras que los Acrisoles, aunque limitantes, pueden ser mejorados con un manejo adecuado, concluyendo que aptitud agrícola en Veracruz está condicionada por la heterogeneidad de suelos y refuerza la necesidad de la generación de mapas edáficos detallados para la planificación agrícola."

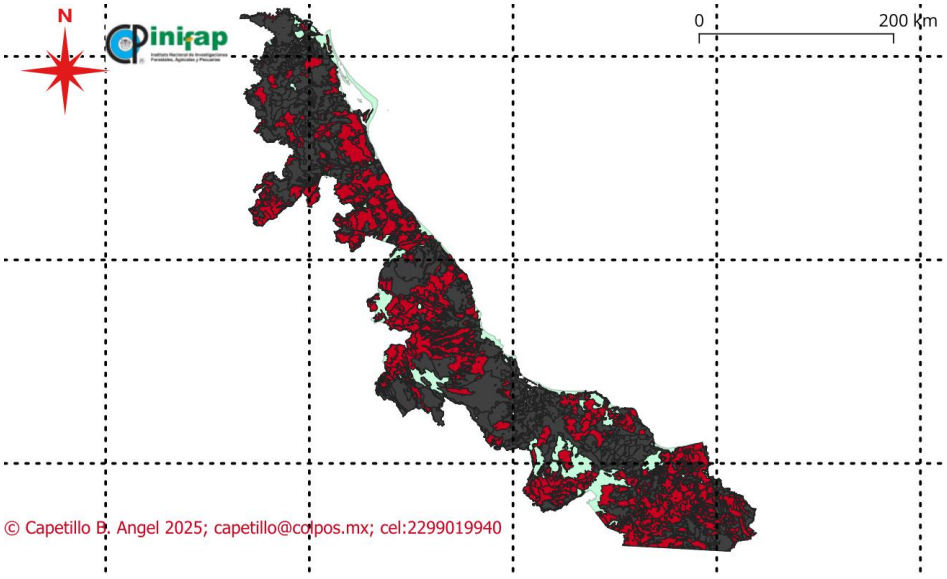

Figura 5. Mapa de zonificación agroecológica considerando la textura media/suelos francos (áreas de color café) y textura fina/suelos arcillosos (áreas de color rojo) del suelo para el cultivo de maíz del estado de Veracruz. Fuente: Elaboración propia con el programa QGIS versión 3. 40.4

Figure 5. Agroecological zoning map showing medium-textured/loamy soils (brown areas) and fine-textured/clayey soils (red areas) suitable for maize cultivation in the state of Veracruz. Source**:** Prepared by the authors using QGIS version 3.40.4.

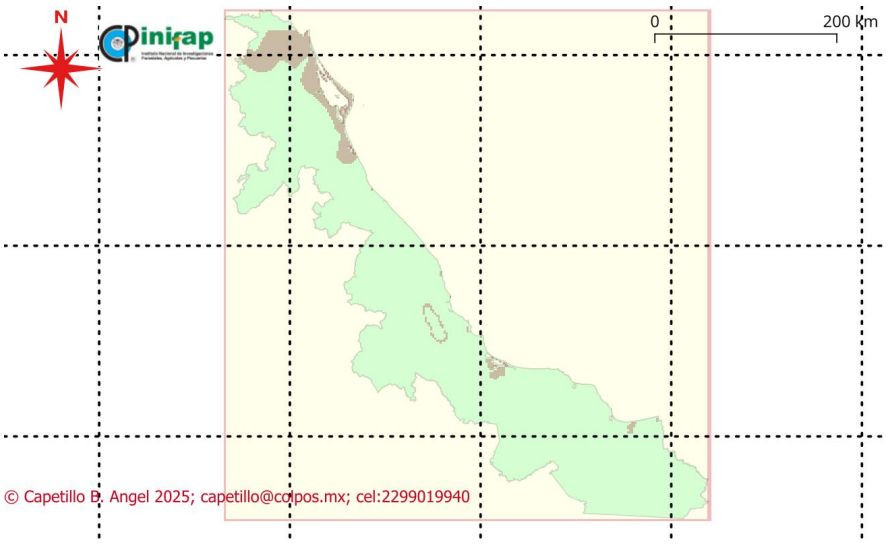

Figura 6. Mapa de zonificación agroecológica para el cultivo de maíz del estado de Veracruz, considerando la temperatura, precipitación y la textura del suelo. Fuente: Elaboración propia con el programa QGIS versión 3. 40.4

Figure 6. Agroecological zoning map for maize cultivation in the state of Veracruz, integrating temperature, precipitation, and soil texture parameters. Source: Prepared by the authors using QGIS version 3.40.4.

La zonificación agroecológica del maíz en Veracruz usando el programa QGIS, es clave para optimizar la producción agrícola, ya que esta herramienta permite integrar capas de temperatura, precipitación y suelos mediante las cuales se lograron identificar las zonas con alta aptitud para el cultivo antes mencionado. Asimismo, el QGIS también facilita el análisis espacial, ayudando a técnicos y planificadores a tomar decisiones basadas en datos para con ello maximizar el rendimiento del cultivo, reduciendo costos y a la vez promoviendo una agricultura sostenible adaptada a las condiciones locales. En este sentido, en la Figura 6, se muestra el mapa de zonificación agroecológica para el cultivo de maíz del estado de Veracruz; el cual fue creado a partir de las capas de temperatura, precipitación y textura del suelo; sin embargo considerando las tres capas antes mencionados, se encontró que existen un estimado del 15% de la superficie del estado de Veracruz como zonas aptas para este cultivo (áreas marcadas de color café), lo cual posiblemente se deba a que el rango de precipitación (700-1100 mm al año) no fue el adecuado, ya que se ha sabe que esta gramínea puede producir en regiones con precipitaciones de hasta 2000 mm sin demérito del rendimiento cosechado. En este sentido Bautista-Zúñiga *et al*. (2010) realizaron un estudio sobre la zonificación

agroecológica del maíz de temporal en Veracruz mediante SIG y análisis espacial para integrar capas de suelos, pendiente, clima y rendimientos históricos, y en el cual lograron clasificar el 35% del territorio veracruzano como "alta aptitud" para maíz de temporal, principalmente en las regiones de Huasteca y Centro y en los cuales los suelos Phaeozems y Luvisoles fueron los que mostraron mejor balance entre fertilidad y drenaje.

CONCLUSIÓN

Los resultados del análisis en QGIS revelaron una subestimación de las áreas potencialmente aptas para el cultivo de maíz en el estado de Veracruz, por lo que esta limitación se atribuye al rango restrictivo de precipitación establecido (700–1100 mm anuales), el cual no refleja la variabilidad climática real de la región, ya que al incorporar datos de temperatura y propiedades edáficas, el modelo identificó que más del 95% del territorio presenta condiciones agroclimáticas favorables para este cultivo; por lo que dichos hallazgos sugieren que los criterios de zonificación basados únicamente en parámetros pluviométricos pueden generar sesgos en la delimitación de zonas aptas.

LITERATURA CITADA

Bautista-Zúñiga, F., Castillo-González, F., & Ortiz-Solorio, C. A. (2010). Zonificación agroecológica del maíz de temporal en Veracruz mediante SIG y análisis espacial. Agrociencia, *44*(6), 703–715. https://doi.org/10.13140/RG.2.1.5115.5286

Benacchio, S. S. (1982). Algunas exigencias agroecológicas en 58 especies de cultivo con potencial de producción en el Trópico Americano. FONAIAP-Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias.

CONABIO. (2018). Impacto ambiental de la agricultura intensiva. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.

Conde-Álvarez, A. C., Liverman, D. M., & Flores-Palacios, X. (2014). Climate change and maize production in Mexico: Vulnerability and adaptation options. Atmósfera, *27*(3), 339–356. https://doi.org/10.1016/S0187-6236(14)71119-1

Doorenbos, J., & Kassam, A. H. (1979). Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos (Estudio FAO: Riego y Drenaje No. 33). FAO.

FAO. (2015). Crop water information: Maize. FAO Water Development and Management Unit. http://www.fao.org/nr/water/cropinfo_maize.html

FAO. (2018). Zonificación agroecológica: Guía para la planificación del uso de la tierra. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

García, E. (2004). Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. https://librosoa.unam.mx/handle/123456789/1372

Gómez-Díaz, J. D., Monterroso-Rivas, A. I., Tinoco-Rueda, J. A., & Gómez-Díaz, L. (2021). Zonificación agroclimática para el cultivo de maíz en Veracruz mediante QGIS: Impacto de la temperatura y precipitación. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, *12*(4), 789–803. https://doi.org/10.29312/remexca.v12i4.2876

González de C., M. (1984). Especies vegetales de importancia económica en México. Editorial Porrúa.

Hernández, Santoyo, A., & Ayala, Ortiz, D. A. (2024). Cultivo de maíz y soberanía alimentaria en regiones lacustres de Michoacán. Consideraciones para su fortalecimiento. Relaciones. Estudios de historia y sociedad, *45*(178), 136–166. https://doi.org/10.24901/rehs.v45i178.1053

Hijmans, R. J., Cameron, S. E., Parra, J. L., Jones, P. G., & Jarvis, A. (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. International Journal of Climatology, *25*(15), 1965–1978. https://doi.org/10.1002/joc.1276

INEGI. (2020). Conjunto de datos vectoriales edafológico. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. https://www.inegi.org.mx

INIFAP. (2017). Manejo sostenible del suelo en regiones tropicales. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

Palma-López, D. J., Cisneros, J., Rincón-Ramírez, J. A., & Vázquez, N. (2007**).** *Plan de uso sustentable de los suelos de Tabasco: evaluación de la degradación del suelo por actividades antropogénicas.* Colegio de Postgraduados / Gobierno del Estado de Tabasco.

Pérez-Olvera, A., Navarro-Garza, H., & Zamora-Natera, J. F. (2011). Traditional maize agroecosystems in the highlands of Mexico: Soil fertility and productivity. Journal of Sustainable Agriculture, *35*(6), 620–638. https://doi.org/10.1080/10440046.2011.586591

QGIS Development Team. (2023). QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation. https://qgis.org

Ramírez-Villegas, J., Salazar, M., Jarvis, A., & Navarro-Racines, C. E. (2013). A way forward on adaptation to climate change in Colombian agriculture. Agricultural Systems, *159*, 149–164. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2012.11.001

Rodríguez, P., Torres, L., & Mendoza, A. (2020). Uso de materia orgánica para mejorar la estructura del suelo. Terra Latinoamericana, *38*(3), 123–135.

Ruiz C., J. A., Medina G., G., González A., I. J., Flores L., H. E., Ramírez O., G., Ortiz T., C., Byerly M., K. F., & Martínez P., R. A. (2013). Requerimientos agroecológicos de cultivos (2ª ed., Libro Técnico Núm. 3). INIFAP.

SAGARPA. (2016). Guía de prácticas agrícolas sostenibles. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.

Sánchez-Cohen, I., Díaz-Padilla, G., Ríos-Sánchez, K. M., & López-López, R. (2018). Zonificación agroclimática para maíz en Veracruz mediante herramientas geoespaciales. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, *9*(6), 1213–1225. https://doi.org/10.29312/remexca.v9i6.1353

SEMARNAT. (2020). Diagnóstico de la degradación del suelo en México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

SIAP. (2021). Maíz, cultivo de México. Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera. https://www.gob.mx/agricultura/articulos/maiz-cultivo-de-mexico

SIAP. (2023). Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera. https://www.gob.mx/siap

SIAP. (2024). Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera. https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/

Villalpando I., J. F. (1986). Informe anual de investigación. Programa de Agroclimatología. INIA