



Zonificación Agroecológica del Cultivo de Estevia en la Subregión de los Ríos, Tabasco, México Agro-Ecological Zoning of Stevia Cultivation in the Ríos Subregion, Tabasco, Mexico

Mauricio Francisco Sánchez-Pérez¹ , Nicolás González-Cortés^{1†} ,
Marynor Elena Ortega-Ramírez² , Victorino Gómez-Valenzuela³  y
Wilmer Leonardo Velásquez-Vargas⁴ 

¹ Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Campus Tenosique, Ctra. Tenosique-Estabilla km 1, Cocoyal. 86902 Tenosique, Tabasco México; (M.F.S.P.), (N.G.C.).

[†] Autor para correspondencia: nicolas.gonzalez@ujat.mx

² Universidad Politécnica de Huatusco. Predio Axol S/N, Reserva Territorial. 94106 Huatusco de Chicuellar, Veracruz, México; (M.E.O.R.).

³ Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria Sursureste. km 7 carretera Teapa-Vicente Guerrero, San José Puyacatengo. 86800 Teapa, Tabasco, México; (V.G.V.).

⁴ Escuela de Ingenieros Militares. Cantón Caldas-Entrada PM 13. Cra. 46 #18. Barrio Batallón. 111611 Puente Aranda, Bogotá, Colombia; (W.L.V.).

RESUMEN

A nivel global, un sector de la industria alimentaria y farmacéutica demanda grandes cantidades de estevia (*Stevia rebaudiana*), y México puede contar con zonas de alto potencial para su cultivo. Sin embargo, no se cuenta con estudios de zonificación agroecológica para el establecimiento de la estevia como nuevo cultivo. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue caracterizar las zonas agroecológicas propicias para el cultivo de la estevia en la subregión de Los Ríos, estado de Tabasco. Se utilizó la metodología de zonificación agroecológica (ZAE) de la FAO, adaptada a las condiciones específicas del área de estudio y basada en la información disponible en la región considerando el clima (temperatura y precipitación), aptitud por unidades y subunidades edafológicas, textura del suelo, pendiente del terreno y la existencia de restricciones legales debido a la presencia de unas áreas naturales protegidas. Los resultados indican que existen condiciones edafoclimáticas muy aptas, aptas, marginalmente aptas para su cultivo. Se identificó una superficie de 132 084.93 ha con diferentes potenciales para plantaciones de estevia, distribuidos en los tres municipios de la subregión, de los cuales se sitúan 156 localidades. De la superficie potencial señalada, 48 146.96 ha presentan condiciones climáticas y edáficas favorables, y 83 937.97 ha presentan algún grado de restricción, pero que se puede mejorar con un manejo adecuado. Las propiedades físicas del suelo como lo fueron la composición de unidades edafológicas y de textura debido a que en la subregión existe una predominancia de suelos arcillosos que presentan una limitante para el establecimiento del cultivo.



Cita recomendada:

Sánchez-Pérez, M. F., González-Cortés, N., Ortega-Ramírez, M. E., Gómez-Valenzuela, V., & Velásquez-Vargas, W. L. (2025). Zonificación Agroecológica del Cultivo de Estevia en la Subregión de los Ríos, Tabasco, México. *Terra Latinoamericana*, 43, 1-15. e2145. <https://doi.org/10.28940/terralatinoamericana.v43i.2145>

Recibido: 13 de noviembre de 2024.

Aceptado: 16 de julio de 2025.

Artículo. Volumen 43.

Noviembre de 2025.

Editor de Sección:
Dra. Alejandra Nieto Garibay

Editor Técnico:
Dr. Fermín Pascual Ramírez

Palabras clave: aptitud agrícola, análisis especial, condiciones edafoclimáticas, factores edáficos, SIG.

SUMMARY

Globally, a sector of the food and pharmaceutical industries demands large quantities of stevia (*Stevia rebaudiana*), and Mexico may have areas with high potential for its cultivation. However, agroecological zoning studies for the establishment of stevia as a new crop are lacking. Therefore, the objective of this study was to characterize the agroecological zones suitable for stevia cultivation in the Los Ríos subregion, in the state of Tabasco. The agroecological zoning (AEZ) methodology of the FAO was used, adapted to the specific conditions of the study area and based on available regional information, considering climate (temperature and precipitation),



Copyright: © 2025 by the authors.

Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC ND) License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

land suitability by edaphological units and subunits, soil texture, terrain slope, and legal restrictions associated with the presence of protected natural areas. The results indicate the existence of very suitable, suitable, and marginally suitable edaphoclimatic conditions for stevia cultivation. A total of 132 084.93 ha with varying potential for stevia plantations were identified, distributed across the three municipalities of the subregion, including 156 localities. Of this potential area, 48 146.96 ha present favorable climatic and edaphic conditions, while 83 937.97 ha show some degree of restriction, which can be improved through appropriate management. The physical properties of the soil, particularly the composition of edaphological units and texture, constitute a limiting factor for crop establishment, given the predominance of clayey soils in the subregion.

Index words: agricultural suitability, spatial analysis, edaphoclimatic conditions, edaphic factors, GIS.

INTRODUCCIÓN

La sustentabilidad de los recursos naturales para satisfacer las necesidades de una población mundial en continuo crecimiento constituye un desafío clave a escala global. De acuerdo con las Naciones Unidas (2024), la población mundial superó los 8000 millones de habitantes y continúa aumentando, aunque con una desaceleración gradual en la tasa de natalidad. Recursos naturales vitales como el suelo y el agua han disminuido en cantidad y calidad debido a factores como la competencia entre las demandas de la industria y las grandes urbes, así como la degradación de los ecosistemas y la contaminación (Grupo Banco Mundial, 2021). El cambio climático es uno de los mayores desafíos actuales, y sus consecuencias afectan el desarrollo de varios sectores económicos, entre ellos la agricultura en el corto, mediano y largo plazo (IPCC, 2023). Por ello, se requieren estrategias que permitan identificar las mejores condiciones productivas en cada región frente a escenarios de cambio climático. Estudios recientes muestran que el análisis de aptitud de tierras es una herramienta clave para diseñar sistemas agrícolas más resilientes y sustentables (Gómez-Díaz, Flores y Monterroso, 2020). La Zonificación Agroecológica (ZAE) es una técnica que permite identificar unidades del territorio que comparten características ecológicas similares, relacionadas con su capacidad y potencial de producción (Pérez-Portilla y Geissert, 2006). La metodología fue establecida en 1975 por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) para identificar áreas con elevado potencial productivo, con base en la combinación de factores como el tipo de suelo, la fisiografía y las condiciones climáticas (Rivera-Hernández et al., 2012).

La aplicación de la ZAE es importante en la planificación de los sectores productivos, ya que permite mitigar los riesgos asociados a la agricultura y lograr una gestión racional de los recursos naturales (Soto, Tejeda, Hernández y Florido, 2001). Cortéz-Marín, Aceves, Arteaga y Vázquez (2005) señalan que la zonificación es útil tanto para la programación de nuevas áreas agrícolas como para mejorar el uso de las tierras ya cultivadas, y enfatizan que la evaluación de los recursos agroclimáticos constituye un paso esencial previo a cualquier proyección o planificación territorial agrícola.

La estevia (*Stevia rebaudiana Bertoni*), se utiliza como edulcorante natural no calórico, hasta 300 veces más dulce que el azúcar; de manera reciente, se han reportado importantes incrementos en el consumo a nivel global (Paredes-Suárez et al., 2021). México es uno de los principales productores y exportadores de estevia a nivel mundial, lo que ha generado un impacto económico significativo en los territorios donde se cultiva. Para el año agrícola, el SIAP (2022) reportó que la producción de estevia en México alcanzó las 594.60 toneladas, generando ingresos superiores a los 22 millones de pesos mexicanos. Además, se espera que la demanda de estevia en el mercado interno siga aumentando debido a la creciente preocupación de los consumidores por la salud y la búsqueda de alternativas al azúcar. Este fenómeno ha impulsado a las empresas mexicanas a invertir en el cultivo y procesamiento de estevia, lo que ha generado empleos y contribuciones al PIB agropecuario por su alta rentabilidad, ya que el precio de la estevia fluctúa entre los 13 000 pesos por tonelada en campo hasta los 58 mil pesos por tonelada procesada y molida (SIAP 2022).

El cultivo de estevia requiere condiciones agroecológicas específicas para su óptimo desarrollo. Prefiere climas cálidos y templados. La temperatura óptima media de producción es de 26 °C (Bonilla, Sánchez, Perlaza, 2007), con un régimen de humedad de 1400 a 1800 mm distribuidos durante todo el año. El exceso de lluvias durante la polinización puede afectar la germinación y producción de semilla (Shuping y Shizhen, 1995). En condiciones de humedad excedente por períodos prolongados, el cultivo puede presentar estrés por inundación, lo que

se traduce en pérdidas significativas de biomasa y muerte de plantas (Jarma, Mercado y Cleves, 2015) Prefiere suelos profundos (Ramesh, Singh y Megeji, 2006). En cuanto a la textura, cuando el agua no es un factor limitante, la planta puede crecer en una variedad de suelos, desde arenosos y arenoso-arcillosos hasta aquellos ricos en materia orgánica (Shock, 1982; Madan *et al.*, 2010). Los suelos arcillosos pueden ser adecuados siempre que cuenten con un buen drenaje; sin embargo, la estevia se desarrolla mejor en suelos de textura ligera a media, particularmente aquellos con una proporción equilibrada de humus y componentes ferrosos característicos de suelos rojizos. Además, presenta buena adaptación en suelos fracos y en suelos fértilles de origen aluvial, siempre que mantengan adecuada aireación y no retengan humedad excesiva (Shock, 1982; Madan *et al.*, 2010; Ramesh *et al.*, 2006). El objetivo de la presente investigación fue realizar un estudio de zonificación agroecológica para localizar los sitios aptos para el cultivo de estevia en una región del estado de Tabasco, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del Área de Estudio

Los Ríos es una de las cinco subregiones productivas en las que se divide el estado mexicano de Tabasco, se llama así por la gran cantidad de ríos que la cruzan, entre ellos, el río Usumacinta, el más caudaloso del país. Esta subregión se ubica en la región hidrográfica del río Usumacinta; a la que también pertenece la subregión de los Pantanos. Su superficie es de 6 051.89 km², lo que representa el 24.67% del total del Estado; y su población era de 153 015 habitantes en el año 2020, es decir, el 6.36% de la población total de la entidad (INEGI, 2020). La subregión está formada por tres municipios: Balancán, Emiliano Zapata y Tenosique (INEGI, 2020). El territorio, Figura 1, se caracteriza por ser preponderantemente plano entre los 20 a los 50 m de altitud con pocas elevaciones, excepto en sus porciones en el sureste, en las estribaciones y colindancias con la sierra norte de Chiapas y las sierras bajas del Petén Guatemala con elevaciones menores a los 500 m de altitud (INEGI, 2017).

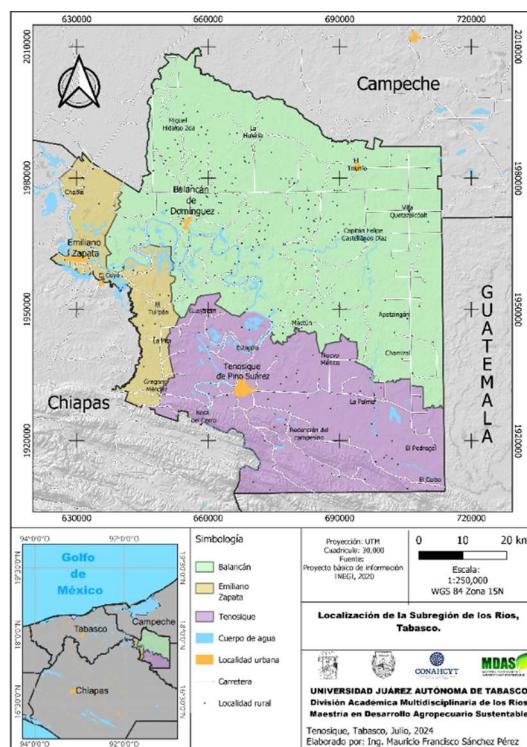


Figura 1. Ubicación de la subregión de los Ríos del estado de Tabasco, México.

Figure 1. Location of Los Ríos subregion of the state of Tabasco, Mexico.

Dentro del área de estudio se ubican dos Áreas Naturales Protegidas (ANP). La primera es el Área de Protección de Flora y Fauna Cañón del Usumacinta, con una extensión de 461.28 km², decretada el 22 de septiembre de 2008 y localizada en el municipio de Tenosique. La segunda corresponde a la Reserva de la Biosfera Wanha', con una superficie de 382.55 km², designada el 31 de agosto de 2023, que abarca los municipios de Balancán y Tenosique. De acuerdo con el Artículo 54 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, estas áreas se destinan a la preservación y manejo sustentable de las especies nativas.

Se utilizó una versión simplificada de la metodología de Zonificación Agroecológica propuesta por la FAO (1997), incorporando los ajustes necesarios de acuerdo con la información disponible en la región y considerando un nivel de inversión alto, el cual asume la disponibilidad de insumos mejorados, fertilización completa, mecanización y manejo tecnificado. La aptitud del territorio se clasificó en cuatro categorías: Muy apta (MA), Apta (A), Marginalmente apta (mA) y No apta (NA), representadas en el mapa mediante los colores verde oscuro, verde, amarillo y rojo, respectivamente. Las variables empleadas incluyeron la precipitación media anual (mm), temperatura media ambiental (°C), unidades y subunidades edafológicas, clases de textura del suelo, pendiente del terreno y la delimitación de áreas naturales protegidas que fueron excluidas del análisis. Aunque la metodología FAO utilizada corresponde a la edición de 1997, se incorporó la modificación de Pájaro y Ortiz (1992) para la delimitación del periodo de crecimiento efectivo, dado que este ajuste antecede al documento oficial y ha sido empleado en aplicaciones regionales previas dentro del marco conceptual de la ZAE. Finalmente, la obtención de las clases de aptitud se realizó mediante la sobreposición de los mapas temáticos resultantes, integrando los factores agroclimáticos, edáficos y topográficos en un único mapa de aptitud final (Figura 2).

Como primer paso en la Zonificación Agroecológica de la FAO (1997) se hizo la evaluación de los recursos climáticos. Este proceso se subdividió en dos etapas: la delimitación por unidades climáticas y la delimitación por períodos de crecimiento efectivo. En la delimitación de unidades climáticas se utilizó la información generada por la FAO para la clasificación de las cuatro unidades climáticas, de acuerdo con el intervalo de temperatura media anual (TMA) de los años de 1991-2020.

La estevia se ubica en el grupo de cultivo II, la TMA debe ser >20 °C para que pueda ubicarse en la unidad climática tropical caliente (Cuadro 1).

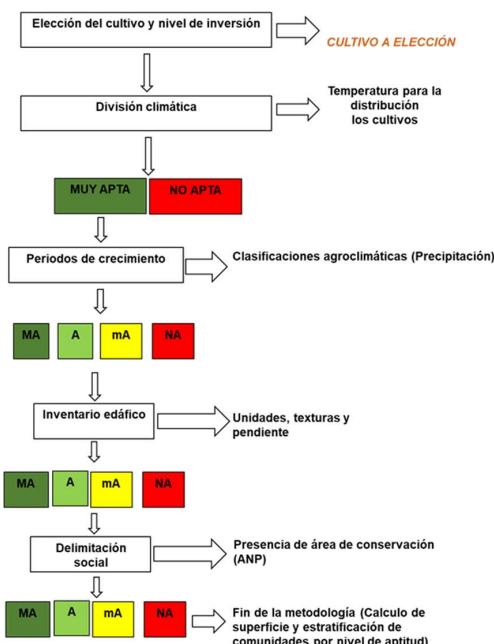


Figura 2. Secuencia metodológica de zonificación agroecológica modificada para el cultivo de la estevia en la subregión de Los Ríos, Tabasco, México.

Figure 2. Methodological sequence of modified agroecological zoning for the cultivation of stevia in the Los Ríos subregion, Tabasco, Mexico.

Cuadro 1. Clasificación de unidades climáticas para el cultivo de la estevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni)

de acuerdo con la clasificación climática de los cultivos de la FAO (1981).

Table 1. Classification of climatic units for the cultivation of stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) according to the FAO (1981) climatic classification of crops.

| Temperatura (°C) | Característica | Nivel de aptitud |
|------------------|-------------------|------------------|
| <18 | Subtropical | NA (No Apto) |
| 18 | Tropical caliente | A (Apto) |
| 20-30 | Tropical caliente | A (Apto) |
| 30-43 | Tropical caliente | A (Apto) |
| >43 | Tropical caliente | NA (No Apto) |

Para la clasificación por períodos de crecimiento efectivo se utilizó el modelo propuesto por Pájaro y Ortiz (1992) en donde se diseñó una ecuación para México para obtener períodos de crecimiento utilizando como parámetro la precipitación anual normal.

$$PC = 0.2489 (PT) - 0.0000372 (PT)^2 - 33.1019 \quad (1)$$

Donde: PC = período de crecimiento en días; PT = precipitación total anual o isoyetas medias anuales (mm) con $R^2 = 0.7984$ FC = 5881 y n = 288 estaciones.

Con este modelo la precipitación total anual o isoyeta media anual se convierte en el período de crecimiento para toda el área de estudio. Para obtener las clases de aptitud (NA, mA, A y MA) se utilizó una tabla de clasificación agroclimática de acuerdo con el cultivo, división climática y nivel de inversión. En este caso se ocupó la Cuadro 2, donde se asignaron rangos de período de crecimiento según los requerimientos hídricos de la estevia, aplicando el modelo propuesto por Pájaro y Ortiz (1992).

Finalmente se recopiló la información disponible sobre los diferentes tipos de clima en la región y se comparó con los requerimientos del cultivo de la estevia a través de la base de datos de ECOCROP del GAEZ Data Portal que recopila las variables agronómicas de los cultivos.

Cuadro 2. Niveles de aptitud del área de estudio para el cultivo de la estevia (*Stevia rebaudiana* B.) según la clasificación por períodos de crecimiento de acuerdo con la FAO (1997).**Table 2. Suitability levels of the study area for the cultivation of stevia (*Stevia rebaudiana* B.) according to the classification by growth periods according to FAO (1997).**

| Nivel de aptitud | Precipitación | Periodos de crecimiento | Superficie | | |
|------------------|---------------|-------------------------|-----------------|------------|----|
| | Milímetros | Días | km ² | ha | % |
| MA | 1400-1800 | 243-294 | 4708.79 | 470 879.94 | 85 |
| A | 1801-2200 | 295-334 | 1339.51 | 133 951.64 | 15 |
| | 1001-1399 | 180-242 | | | |
| mA | 2201-2600 | 103-179 | - | - | 0 |
| | 601-1000 | 335-362 | | | |
| NA | >2601 | >363 | - | - | 0 |
| | <600 | <103 | | | |

Simbología: NA = no Apto; mA = marginalmente Apto; A = apto; MA = muy Apto.

Symbolology: NA = not suitable; mA = marginally suitable; A = suitable; MA = highly suitable.

Inventario Edáfico

La segunda etapa del proceso metodológico de la Zonificación Agroecológica de FAO 1997 involucra la evaluación del recurso edáfico a través de la elaboración de un inventario de suelos. Para determinar los criterios de evaluación de las subunidades de suelos existentes en la subregión de los Ríos se compararon sus características con los requisitos necesarios para el cultivo de estevia.

Se identificaron diversas categorías de aptitud para el cultivo en la región. Mediante la superposición de los mapas temáticos generados, se elaboró un mapa de zonificación agroecológica que clasificó la subregión de los Ríos en cuatro categorías de aptitud: Muy apto (MA), Apto (A), Marginalmente apto (mA) y No apto (NA).

Recopilación de Información Edafoclimática

Para la segunda fase se recopiló información edafoclimática. Se obtuvieron los datos de temperatura y precipitación media anual de las normales climatológicas del periodo 1991-2010 del Servicio Meteorológico Nacional (SMN). También se utilizó el Conjunto de Datos Vectorial Edafológico, Escala 1:250 000, Serie II, Continuo Nacional, publicado por el INEGI en su edición 2024. Este producto integra la cartografía edafológica generada originalmente durante el periodo 2002-2006, clasificada conforme a la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (WRB). Se elaboraron mapas temáticos de temperatura y precipitación para visualizar las diferencias climáticas regionales, información fundamental para la evaluación de la aptitud agroclimática del cultivo. Estos mapas se integraron posteriormente con la información edafológica y de pendiente para conformar la aptitud agroecológica del suelo y obtener la clasificación final de aptitud para la estevia.

Se utilizó un modelo de elevación digital (MDE), obtenido del Continuo de Elevaciones Mexicano (CEM) (INEGI, 2013), que permitió delimitar los niveles de altitud y pendiente de la zona de estudio. Esta información fue importante para la identificación de áreas aptas porque las condiciones topográficas condicionan el establecimiento del cultivo.

Procesamiento de Datos

Con la información recopilada del área de estudio, mediante el empleo del software ArcMap® de ESRI (2016), se aplicaron operaciones de álgebra de mapas para crear coberturas vectoriales de clasificación de unidades climáticas, períodos de crecimiento, subunidades de suelo, textura, pendiente y áreas susceptibles a inundaciones. Este procedimiento permitió delimitar las áreas del territorio para el cultivo de la estevia de acuerdo con sus requerimientos agroecológicos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Clasificación por Unidades Climáticas

La distribución térmica en la subregión presenta un comportamiento homogéneo, con una temperatura media anual cercana a 27 °C (Figura 3). Este valor se encuentra dentro del intervalo óptimo de crecimiento para Stevia rebaudiana, cuyo rango ideal de temperatura en condiciones mexicanas oscila entre 18 y 30 °C, con una media aproximada de 24 °C (Rank & Midmore, 2002). El cultivo tolera condiciones subóptimas entre 15-18 °C y 30-40 °C, aunque temperaturas extremas por debajo de -6 °C o por encima de 43 °C pueden afectar severamente su fisiología. Además, la exposición a temperaturas bajas tiende a incrementar la floración, lo que puede reducir el rendimiento (Brandle y Telmer, 2007).

El régimen térmico registrado en la subregión coincide plenamente con los requerimientos del cultivo, por lo que no se identificaron restricciones climáticas asociadas a la temperatura. En consecuencia, toda la región se clasificó como Apta en esta fase del análisis agroclimático.

Por otra parte, la radiación solar juega un papel determinante en la fisiología de la estevia, influyendo en el rendimiento y la producción de materia seca (Jarma, Rengifo, y Araméndiz, 2005). En regiones tropicales, la menor luminosidad puede acortar los ciclos de floración a períodos de 45-60 días, dependiendo de la interacción entre precipitación, temperatura y luz (Baloch, Khan, Zubair y Munir, 2009; Jarma, Cardona y Fernández, 2012).

Precipitación

El análisis mensual de la precipitación muestra un régimen marcadamente estacional en la subregión, con un incremento sostenido a partir de mayo y máximos entre agosto y septiembre, cuando se registran valores de 237.3 a 284.9 mm. (Figura 3). La temporada más seca se presenta entre febrero y abril, con precipitaciones que oscilan entre 39.3 y 55.0 mm. En conjunto, el territorio acumula 1644.7 mm anuales, cantidad que se ubica dentro del intervalo óptimo de 1400 a 1800 mm recomendado para el cultivo, siempre que exista una adecuada

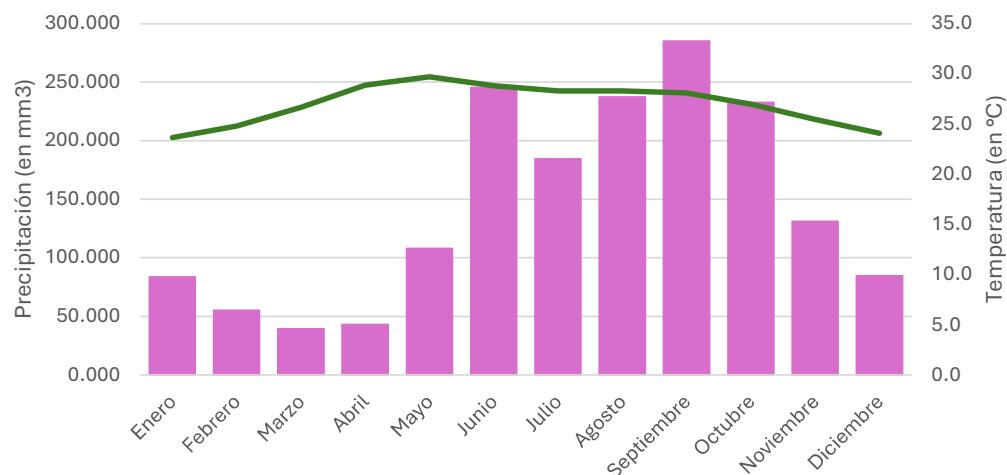


Figura 3. Distribución mensual de la precipitación y temperatura media en la subregión de los Ríos.
Figure 3. Monthly distribution of precipitation and mean temperature in the Ríos subregion.

distribución temporal del agua (Bonilla *et al.*, 2007). No obstante, los picos de lluvia al final del verano pueden representar un riesgo para la fase reproductiva, ya que la humedad excesiva afecta la polinización y reduce la producción de semilla (Shuping & Shizhen, 1995).

Con base en la variación mensual de la lluvia y en los requerimientos hídricos de la estevia, se determinó que aproximadamente 92% del territorio presenta condiciones Muy aptas, mientras que el 8% restante muestra excedencias estacionales que lo clasifican como Apto con restricciones, principalmente debido a la concentración de precipitación durante el periodo crítico del cultivo. La incorporación de la precipitación mensual permitió caracterizar de manera más precisa el comportamiento hidrológico regional y fortalecer la interpretación agroclimática de la aptitud.

Periodos de Crecimiento

En el cálculo de los períodos de crecimiento efectivo se consideraron como zonas Muy aptas aquellas con regímenes de precipitación entre 1400 y 1800 mm anuales, lo que se traduce en períodos de crecimiento de entre 243 y 294 días cuando la distribución de la lluvia es relativamente homogénea. Aunque la estevia puede tolerar episodios breves de humedad elevada e incluso inundaciones de corta duración mediante mecanismos fisiológicos de aclimatación (Pagano, Wolosiuk y Chueca, 2010). Los períodos prolongados de exceso de agua pueden generar afectaciones en la fase reproductiva, particularmente durante la polinización, reduciendo la germinación y la producción de semilla (Shuping y Shizhen, 1995). Esto es debido a que la estevia es una planta con metabolismo C3 y ante ambientes desfavorables donde la presión parcial de CO₂ disminuye críticamente por anegamiento, se aclimata adoptando metabolismo C4 (Pagano *et al.*, 2010). De acuerdo con los períodos de crecimiento efectivo, el 85% del área de estudio es Muy Apto mientras que el 15% restante tiene restricción por exceso de precipitación, Cuadro 2.

La integración de las capas climáticas permitió obtener la clasificación por períodos de crecimiento efectivo, la cual fue utilizada como insumo para la determinación de la aptitud agroecológica del cultivo en fases posteriores del análisis.

Clasificación por Unidades y Subunidades Edafológicas

De las 28 subunidades edafológicas presentes en el área de estudio se encontró que 17 (provenientes de los arenosoles, luvisoles, lixíosoles, regosoles y phaeozem) son adecuadas para el cultivo de la estevia, de ellas se encontró que 12 (provenientes de los arenosoles, luvisoles y phaeozem) son las que reúnen todas las características necesarias para que prospere la planta, las cinco restantes (de las unidades de cambisol calcisol y lixisol), presentan alguna restricción, por lo que se degradaron una clase. Las 11 subunidades edafológicas restantes no reúnen las condiciones que la planta de estevia requiere para ser productivamente aceptable, por lo tanto, se clasificaron como No Aptas (NA), Cuadro 3.

Cuadro 3. Clasificación de los suelos para el cultivo de estevia (*Stevia rebaudiana* B.) en la subregión de Los Ríos, Tabasco, México
Table 3. Soil classification for the cultivation of stevia (*Stevia rebaudiana* B.) in the Los Ríos subregion, Tabasco, Mexico.

| Unidad | Subunidad | Clasificación | Área (km ²) |
|----------------|-------------|---------------|-------------------------|
| Arenosol | Eútrico | S1 | 221.75 |
| Calcisol | Pétrico | S2 | 61.65 |
| Cambisol | Eútrico | S2 | 412.89 |
| Cambisol | Gleyco | S1 | 288.41 |
| Gleysol | Arénico | S1 | 151.18 |
| Gleysol | Calcárico | N | 41.81 |
| Gleysol | Eútrico | N | 49.01 |
| Gleysol | Húmico | S1 | 136.15 |
| Gleysol | Mólico | N | 389.51 |
| Gleysol | Plíntico | N | 210.85 |
| Gleysol | Vértico | N | 1 011.41 |
| Leptosol | Lítico | N | 28.40 |
| Leptosol | Rendzénico | N | 610.93 |
| Lixisol | Abrúptico | S2 | 111.13 |
| Lixisol | Arénico | S2 | 71.08 |
| Luvisol | Esquelético | S1 | 51.87 |
| Luvisol | Profondíco | S1 | 56.90 |
| Phaeozem | Gleyco | S1 | 139.44 |
| Phaeozem | Húmico | S1 | 47.41 |
| Phaeozem | Léptico | S1 | 21.43 |
| Phaeozem | Páchico | S1 | 7.56 |
| Regosol | Eútrico | S1 | 6.43 |
| Regosol | Léptico | S1 | 100.46 |
| Vertisol | Gleyco | N | 741.02 |
| Vertisol | Húmico | N | 73.03 |
| Vertisol | Léptico | N | 549.36 |
| Vertisol | Másico | N | 119.04 |
| Vertisol | Pálico | N | 154.25 |
| Zona urbana | | No aplica | – |
| Cuerpo de agua | | No aplica | – |

Simbología: S1 = la clase se mantiene; S2 = se degrada una clase; N = No apta para el cultivo.

Symbolology: S1 = class maintained; S2 = class downgraded by one level; N = Not suitable for cultivation.

Los suelos clasificados como S1 son aptos para el cultivo de la estevia sin restricciones, ya que no presentan ninguna limitante. Esta clasificación se mantiene conforme al resultado obtenido del inventario climático. En cambio, los suelos clasificados como S2 presentan una restricción moderada, lo que resulta en una degradación de su clase. Por otra parte, los suelos clasificados como N no son aptos para el cultivo de la estevia, por lo que se les asigna una categoría de aptitud NA. De manera similar, se descartan cuerpos de agua y zonas urbanas, pero se consideran dentro de los cálculos para la coherencia de las superficies.

La clasificación basada en las características edafológicas de la subregión de Los Ríos indica que el 36% de los suelos son aptos para el cultivo de estevia, mientras que solo el 9% se considera muy apto. Esta aptitud se debe a la presencia de unidades edáficas como los luvisoles, caracterizados por su profundidad y un horizonte enriquecido en arcilla debido a la migración de este material desde los horizontes superiores (IUSS Working Group WRB, 2022). Dado que la estevia prefiere suelos profundos con buen drenaje y baja capacidad de retención de humedad (Ramesh *et al.*, 2006), su desarrollo se ve limitado en áreas propensas a la acumulación de agua. Esto resulta especialmente importante porque *Stevia rebaudiana* presenta una elevada sensibilidad a la inundación. La exposición a anegamiento por más de 6 horas reduce el área foliar, el número de hojas y la biomasa total, mientras que períodos superiores a 24 horas generan mortalidad completa. Estos efectos se deben a hipoxia radicular, acumulación de compuestos tóxicos y redistribución desfavorable de biomasa, lo que incrementa la vulnerabilidad a enfermedades asociadas a suelos saturados (Jarma *et al.*, 2015). En este contexto, el 46% del territorio fue descartado debido a la profundidad y alta proporción de arcillas en los suelos, especialmente en las zonas del noroeste y sureste del área de estudio, donde predominan suelos inundables. El 9% restante fue clasificado como marginalmente apto, ya que, además de las limitaciones edáficas, presentaba una precipitación superior al umbral óptimo para el cultivo de estevia.

Clasificación por Textura

La retención de humedad de un suelo está relacionada con la textura y siendo esta determinante para un cultivo que no requiere gran cantidad de agua como lo es la estevia, por lo que este factor determina el grado de humedad que puede ser aprovechable para la planta; en este punto la metodología ajusta más los niveles de aptitud. Las calificaciones de aptitud obtenidas en el inventario climático fueron degradadas con las subunidades de suelos y textura, para esta fase menos de la mitad del territorio se mantuvo con potencial para este cultivo.

El cultivo de *Stevia rebaudiana* presenta una alta susceptibilidad al exceso de humedad en el suelo. La inundación prolongada genera hipoxia radicular, reducciones drásticas en el área foliar y la biomasa, e incluso mortalidad total después de 24 horas de anegamiento (Jarma *et al.*, 2015). Debido a ello, las áreas con texturas finas que retienen mayor humedad se degradaron una clase en la clasificación de aptitud. En contraste, las zonas con texturas medianas y gruesas se mantuvieron sin restricciones para el establecimiento del cultivo (Cuadro 4).

De acuerdo con la textura, el área de estudio se ve modificada en su clasificación de aptitudes para el cultivo de la estevia. Se observa que las áreas No Aptas obtienen un incremento ligero de 46 a 47% estando presentes en la zona oeste y este del área de estudio. Las áreas Marginalmente Aptas fueron las que tuvieron mayor incremento, ascendiendo de 9% hasta 31%, esto debido a que los suelos existentes presentan propiedades arcillosas, las cuales son sujetas a inundaciones, así como fracturación durante períodos de sequía, lo que daña al sistema radicular del cultivo. Por otro lado, las áreas Aptas sufrieron una disminución y pasaron de 35 a 14%, presentes en la zona norte y centro de la subregión de los Ríos y, finalmente, las áreas Muy Aptas solo tuvieron un ligero descenso de 9 a 8% con respecto a la fase anterior de subunidades edafológicas existiendo en la zona norte y centro-oeste del territorio estudiado.

Cuadro 4. Superficie ocupada por nivel de aptitud modificada por las subunidades de suelos y textura.
Table 4. Surface area occupied by suitability level modified by soil subunits and texture.

| Nivel de aptitud | Superficie | | |
|-------------------------|-----------------|---------|-----|
| | km ² | ha | % |
| Muy Apto (MA) | 481 | 48 147 | 8 |
| Apto (A) | 861 | 86 091 | 14 |
| Marginalmente Apto (mA) | 1849 | 184 892 | 31 |
| No Apto (NA) | 2861 | 286 059 | 47 |
| Total | 6052 | 605 189 | 100 |

Aptitud por Pendientes

Aunque la pendiente no es uno de los factores más críticos para el cultivo de la estevia, se ha reportado que un terreno con pendientes superiores a 30 grados puede causar problemas en la mecanización de la siembra y la cosecha, así como en la retención de agua y la erosión del suelo (Ramírez-Jaramillo, 2011). Por otro lado, se ha sugerido que las pendientes más adecuadas para el cultivo de la estevia se encuentran en el rango de 5 a 15 grados, ya que permiten una buena infiltración de agua y una menor erosión del suelo (Ramírez-Jaramillo, 2011).

En general, en la subregión de los Ríos predomina una topografía plana en donde se puede llevar a cabo el establecimiento de este cultivo sin limitaciones; sin embargo, también existen algunas elevaciones no mayores a 500 m de altitud, localizadas al sur de la subregión (INEGI, 2020), donde pueden encontrarse inclinaciones que limitan la presencia del cultivo de la estevia.

Debido a que en la subregión de Los Ríos existen áreas con pendientes superiores al 30%, las cuales representan una limitante severa para el establecimiento y manejo del cultivo, estas zonas se integraron directamente en la categoría de "No Apto", en concordancia con los requerimientos fisiográficos para el cultivo (Ramírez-Jaramillo, 2011). En esta etapa del análisis, mayormente se aplicó el criterio de pendiente a las áreas clasificadas como Marginalmente Aptas, debido a que estas unidades presentaban condiciones fisiográficas más susceptibles a degradación. Se consideró como apto el cultivo en terrenos con pendientes de hasta 30%, siempre que se implementen prácticas adecuadas de conservación del suelo. Pendientes superiores a este valor fueron clasificadas directamente como No Apto para el establecimiento de *Stevia rebaudiana*.

Con base en este criterio fisiográfico, se excluyeron 221 hectáreas previamente clasificadas como *Marginalmente Aptas*, debido a que se ubican en terrenos con pendientes superiores al 30% y presentan suelos con características accidentadas y degradadas. Las demás unidades de aptitud conservaron su extensión, ya que no se identificaron restricciones asociadas a pendientes pronunciadas.

Delimitación por Presencia de Área de Conservación (Área natural protegida)

En esta fase del análisis, las Áreas Naturales Protegidas presentes en la subregión fueron clasificadas directamente como No Aptas, en cumplimiento del artículo 54 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, el cual establece que estos territorios se destinan prioritariamente a la preservación y aprovechamiento sustentable de especies nativas. Por este motivo, dichas superficies fueron excluidas del análisis de aptitud para *Stevia rebaudiana*.

Al sobreponer la carta de aptitudes que se llevaba por componentes físicos (climáticos, edafológicos y fisiográficos) con el filtro legal da por resultado que las demarcaciones No Aptas aumentaron en un 9%, siendo descartadas coincidentemente con las regiones Marginalmente Aptas mientras que, los otros dos estratos conservaron su extensión.

Zonificación Agroecológica para el Cultivo de la Estevia en la Subregión de los Ríos, Tabasco

El análisis integrado de los factores climáticos, edáficos, fisiográficos y legales evidencia una distribución espacial heterogénea de la aptitud para el cultivo de *Stevia rebaudiana* en la subregión de Los Ríos. Esta variación se explica por las condiciones físicas específicas que requiere el cultivo para su establecimiento. De acuerdo con la metodología de zonificación agroecológica, cada componente del ambiente modifica de manera diferenciada la idoneidad del territorio, lo que conduce a la delimitación final de áreas Muy Aptas, Aptas, Marginalmente Aptas y No Aptas.

La delimitación de las áreas permitió identificar cuatro niveles de aptitud considerando únicamente las características naturales del territorio. De acuerdo con la metodología de Zonificación Agroecológica de la FAO, la evaluación debe realizarse bajo un supuesto explícito de nivel de inversión; en este estudio se asumió un nivel de inversión alto, que implica la disponibilidad de insumos mejorados y manejo tecnificado. No obstante, la clasificación obtenida refleja exclusivamente las condiciones biofísicas del área de estudio, ya que no se incorporaron prácticas agronómicas específicas destinadas a mejorar la aptitud del cultivo.

Al integrar las dimensiones climáticas, edáficas, fisiográficas y legales, se obtuvo el mapa de aptitud agroecológica para el cultivo de *Stevia rebaudiana* en la subregión de Los Ríos (Figura 4). Este resultado sintetiza la interacción de los factores analizados y permite identificar cuatro clases de aptitud: Muy Apta (MA), Apta (A), Marginalmente Apta (mA) y No Apta (NA).

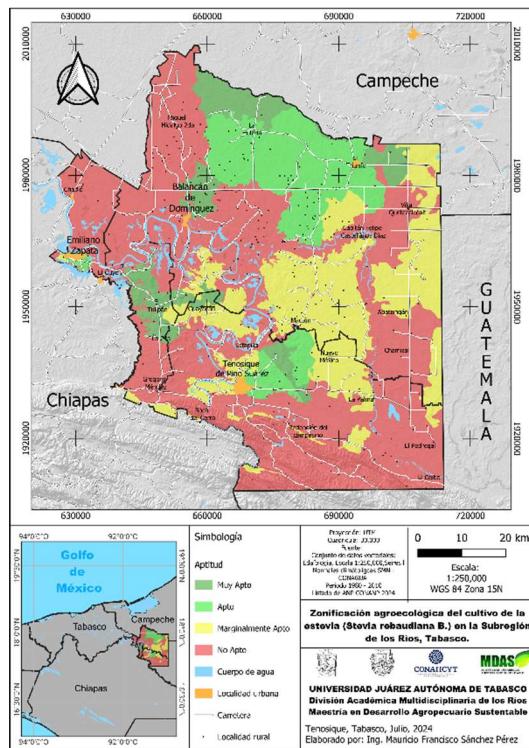


Figura 4. Zonificación agroecológica para cultivo de la estevia (Stevia rebaudiana B.) en la subregión de los Ríos, Tabasco, México.

Figure 4. Agroecological zoning for the cultivation of stevia (Stevia rebaudiana B.) in the Los Ríos subregion, Tabasco, Mexico.

Las características de la zonificación agroecológica realizada quedan de la siguiente manera: hacia la parte noroeste, sur y toda la ribera del río San Pedro se ubican las áreas no aptas para el cultivo; mientras que en la porción centro y norte se localiza la categoría apta, la mejor representada en el área de estudio. En pequeñas áreas al centro-este y este, en los límites con Guatemala se ubica la categoría marginalmente apta. Finalmente, con mínima representación se encuentra la categoría muy apta, al suroeste del área de estudio en la porción central de Emiliano Zapata y en pequeñas porciones en el norte de Balancán a los límites con el estado de Campeche. La distribución proporcional de estas categorías en términos de superficie se presenta en la Figura 5.

Categorías de Aptitud Resultante

De conformidad con la metodología abordada, se obtuvieron las cuatro categorías que describen la aptitud agroclimática, con base en un criterio espacialmente explícito.

Muy apto. Son zonas que reúnen las condiciones climáticas y edáficas favorables para el desarrollo del cultivo de la estevia. Se encuentra distribuida en el norte de Balancán, en el centro de Emiliano Zapata y en una porción importante en el municipio de Tenosique. Cubre una superficie de 48,146.96 ha, 8% del territorio e incluye 61 comunidades. Con respecto al establecimiento actual del cultivo, no existe información sobre la superficie sembrada total en la zona. En recorridos de campo se ha observado que hay plantaciones de subsistencia y sin registros sobre su productividad; sin embargo, es la zona que menos implementación técnica tiene aun cuando contiene mayor potencial para su explotación agrícola.

Apto. Se trata de áreas que, aunque reúnen la mayoría, no satisfacen totalmente los requerimientos de cultivo. Esta categoría cubre el 1 % del territorio (83 937.97 ha), está presente en 109 localidades. La superficie abarca porciones de los tres municipios. El municipio de Balancán es donde se presenta la mayor extensión, en particular en la zona norte; en el municipio de Tenosique está presente en la parte central; y en Emiliano Zapata, en una zona próxima a la cabecera municipal. En estas zonas se recomienda realizar actividades de adecuación del terreno, por ejemplo, nivelación de tierras o construcción de obras de drenaje agrícola.

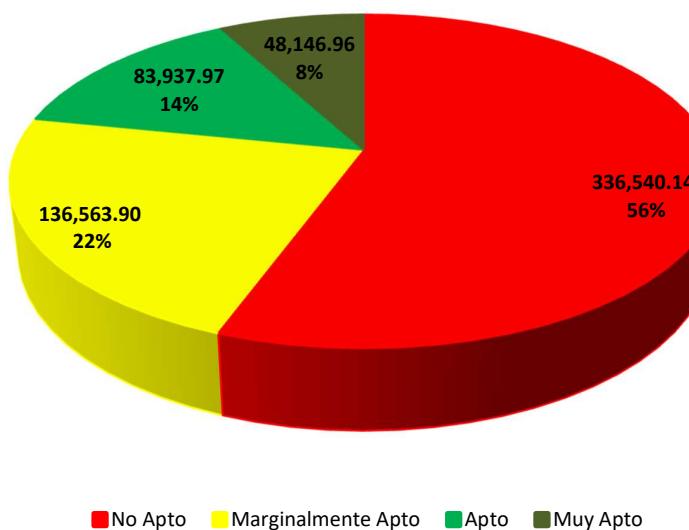


Figura 5. Superficie en hectáreas de las aptitudes en la zonificación agroecológica del cultivo de la estevia (*Stevia rebaudiana* B.) en la subregión de Los Ríos, Tabasco, México.

Figure 5. Area in hectares of the agroecological zoning of the cultivation of stevia (*Stevia rebaudiana* B.) in the Los Ríos subregion, Tabasco, Mexico.

Marginalmente apto. Estas zonas presentan mayores limitaciones, puesto que no cumplen con la mayoría de las exigencias del cultivo. Se clasificaron 136 563.90 ha (8% del territorio), la porción incluye 101 localidades, ubicadas en la fracción centro y centro-este correspondientes a los municipios de Balancán y Emiliano Zapata. En esta categoría, se ubicaron las áreas con degradación edafológica, se consideró primero por subunidades edafológicas y después por clases texturales. Si los suelos presentes reciben un manejo especial, pueden albergar el cultivo, así que actividades como labores de suelo, drenes pueden aumentar la aptitud y facilitar el establecimiento del cultivo.

No apto. estas áreas no reúnen las condiciones mínimas necesarias para el cultivo de la estevia, cubren el 56% del territorio de la subregión, en una superficie de 336 540.14, lo que incluye 289 localidades. El área está ubicada en el sur, este y oeste de Tenosique, sur y norte de Emiliano Zapata y noroeste y toda la ribera del río San Pedro Mártir en el municipio de Balancán. Se trata de suelos rocosos como en el sur de Tenosique, donde se encuentran las serranías. También incluye terreno de topografía accidentada con pendiente pronunciada, así como suelos con propiedades arcillosas y sujetos a inundación. Adicional a los requerimientos físicos, también se descartaron zonas por presencia de alguna área de conservación (Cuadro 5).

En las categorías Apto y Muy Apto, el ambiente natural ofrece condiciones favorables para el establecimiento del cultivo y no presenta restricciones asociadas a áreas naturales protegidas. En estas zonas, el manejo agronómico debe centrarse en regular la humedad del suelo, especialmente en sitios donde pueden presentarse períodos de saturación. La instalación de drenes permite mantener niveles óptimos de humedad y favorecer el desarrollo del cultivo. Por ello, la gestión del agua y del suelo constituye un componente clave para mejorar el rendimiento en estas áreas (Cuadro 6).

Cuadro 5. Zonificación agroecológica del cultivo de la estevia (*Stevia rebaudiana* B.) en la subregión de Los Ríos, Tabasco, México.

Table 5. Agroecological zoning of stevia (*Stevia rebaudiana* B.) cultivation in the Los Ríos subregion, Tabasco, Mexico.

| Categorías | Superficie (ha) | % |
|------------|-----------------|----|
| NA | 336 540.14 | 56 |
| mA | 136 563.90 | 22 |
| A | 83 937.97 | 14 |
| MA | 48 146.96 | 8 |

Simbología: NA = no apto; mA = marginalmente apto; A = apto; MA = muy apto.

Symbology: NA = not suitable; mA = marginally suitable; A = suitable; MA = highly suitable.

Cuadro 6. Distribución de la superficie por municipios según los niveles de aptitud agroecológica, de la subregión de Los Ríos, Tabasco, México.**Table 6. Distribution of the surface by municipalities according to the levels of agroecological suitability, in the subregion of Los Ríos, Tabasco, Mexico.**

| Municipio | Superficie por nivel de aptitud en hectáreas | | | |
|-----------------|--|-----------|-----------|------------|
| | MA | A | mA | NA |
| Balancán | 30 697.10 | 68 751.73 | 97 633.96 | 160 654.50 |
| Emiliano Zapata | 10 315.18 | 1691.37 | 1892.03 | 45 314.35 |
| Tenosique | 7134.68 | 13 494.87 | 37 037.91 | 130 571.28 |

Simbología: NA = no apto; mA = marginalmente apto; A = apto; MA = muy apto.
Symbolology: NA = not suitable; mA = marginally suitable; A = suitable; MA = highly suitable.

Ramírez-Jaramillo y Lozano (2016) realizaron una zonificación agroecológica nacional para el cultivo de estevia y señalaron que la subregión de los Ríos concentra 132 084.93 ha en condiciones Apta y Muy Apta, superficie que supera a la suma conjunta de Yucatán (94 729 ha) y Quintana Roo (31 577 ha), y es mayor que la extensión óptima identificada en 17 estados del país. Respecto a las áreas subóptimas, la subregión reúne 136 563.90 ha, cifra comparable a la que en conjunto presentan estados como Jalisco, Michoacán, Colima, Puebla y Sinaloa, que suman más de 180 000 ha. Esta comparación evidencia que, aun siendo una sola subregión, la subregión de Los Ríos aporta una superficie potencial similar o superior a la de varios estados completos, destacando su importancia estratégica para la expansión del cultivo en el contexto nacional.

Diversos trabajos de zonificación agroecológica (ZAE) se han realizado previamente en la subregión de Los Ríos para otros cultivos. Entre ellos se encuentran estudios para arroz (*Oryza sativa* L.) (Sánchez-Pérez et al., 2023), pitahaya roja (*Hylocereus undatus* Haw.) (Vázquez-Álvaro, 2022¹), yuca (*Manihot esculenta* Crantz) (Rivera-Hernández et al., 2012) y jatropha (*Jatropha curcas* L.) (González-Mancillas, Juárez, Aceves, Rivera y Guerrero, 2015). Cada uno de estos cultivos presentó extensiones de aptitud distintas según sus requerimientos agroecológicos (Cuadro 7).

Aunque los estudios previos no especifican la ubicación exacta de las áreas con potencial óptimo, sus resultados permiten comparar el desempeño productivo entre cultivos. A escala de subregión, la estevia y la pitahaya roja destacan por presentar las mayores superficies clasificadas como óptimas y, por lo tanto, el mayor potencial de rendimiento. Esta coincidencia sugiere que ambos cultivos podrían integrarse como alternativas productivas viables en la región, dadas sus condiciones agroecológicas favorables.

Cuadro 7. Extensión de aptitud óptima agroecológica en hectáreas para diferentes cultivos en la subregión de Los Ríos, Tabasco, México.**Table 7. Extension of optimal agroecological suitability in hectares for different crops in the subregion of Los Ríos, Tabasco, Mexico.**

| Cultivo | Extensión | Rendimiento | Precio por tonelada | Valor de producción en miles de pesos estimada |
|--|------------|----------------------------------|---------------------|--|
| | | | en 2022 | |
| | ha | Mg ha ⁻¹ (SIAP, 2022) | MXN | SIAP, 2022 |
| Estevia (Presente investigación) | 268 648.83 | 5.5 | 17 547.28 | 259 273 093 |
| Arroz (Sánchez-Pérez et al., 2023) | 340,170 | 6.3 | 3592.06 | 76 980 396 |
| Pitahaya (Vásquez-Álvaro, 2022 ¹) | 386 584.74 | 6.7 | 11 740.26 | 304 086 559 |
| Jatropha (González-Mancillas, Juárez, Aceves, Rivera y Guerrero, 2015) | 418 135.11 | 0.72 | 5046.00 | 15 191 350 |
| Yuca (Rivera-Hernández et al., 2012) | 153 971.00 | 11.4 | 3775.02 | 66 261 771 |

¹ Vázquez-Álvaro, G. J. (2022). *Condiciones agroecológicas para el cultivo de pitahaya roja (*Hylocereus undatus* Haworth, Britton & Rose) en el estado de Tabasco, México*. Tesis para obtener el grado de Ingeniero Agronomo. Universidad Autónoma Chapingo

CONCLUSIONES

La zonificación agroecológica permitió identificar variaciones claras en la aptitud territorial para el cultivo de la estevia en la subregión de Los Ríos. Las condiciones más favorables se concentran en el norte y en la zona central, donde los factores climáticos y edáficos coinciden con los requerimientos del cultivo.

Las restricciones climáticas fueron mínimas. La temperatura no limitó el desarrollo del cultivo en ningún sector, y solo un 8% del territorio presentó excedencias de precipitación que redujeron la aptitud. En contraste, el suelo fue el principal factor condicionante, especialmente en unidades edafológicas con texturas finas o drenaje deficiente, lo que ocasionó degradación de la aptitud final.

La categoría No Apta (NA) fue la de mayor extensión y cubrió el 56% del territorio (336 540.14 ha). Le siguió la categoría Marginalmente Apta (mA) con el 22% (136 563.90 ha). La categoría Apta (A) representó el 14% (83 937.97 ha) y la Muy Apta (MA) únicamente el 8% (48 146.96 ha). Las mejores áreas se localizaron en Emiliano Zapata (17%), Balancán (9%) y Tenosique (4%).

En total, la subregión de los Ríos presenta 268 648.83 ha con potencial para el cultivo de estevia al considerar las categorías Muy Apta, Apta y Marginalmente Apta. Si se compara esta disponibilidad con la superficie actualmente establecida en México aproximadamente 100 ha, debido a que la estevia es un cultivo de reciente introducción en el país, el incremento potencial asciende a 268 548.83%. Esta diferencia evidencia la alta capacidad productiva no aprovechada en la región y posiciona a la subregión como un territorio estratégico para la expansión del cultivo a nivel nacional.

DECLARACIÓN DE ÉTICA

No aplicable.

CONSENTIMIENTO PARA PUBLICACIÓN

No aplicable.

DISPONIBILIDAD DE DATOS

Los conjuntos de datos utilizados o analizados durante el estudio actual están disponibles del autor correspondiente a solicitud razonable.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

FINANCIACIÓN

No aplicable.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Participó en la recopilación de información de los requerimientos edafoclimáticos de la estevia y realizó el análisis de datos geoespaciales, cálculo de superficies y redacción de artículo: M.F.S.P. Realizó la construcción de las gráficas y figuras, escritura y revisión del artículo: N.G.C. Realizó adecuaciones metodológicas y revisión del artículo: M.E.O.R. Participó en la metodología de definición de las estratificaciones de aptitud y revisión del artículo: V.G.V. Realizó mejoras y revisión de datos geoespaciales: W.L.V.V.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por la beca otorgada para realizar estudios de Maestría en Desarrollo Agropecuario Sustentable en la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

LITERATURA CITADA

- Baloch, J., Khan, M., Zubair, M., & Munir, M. (2009). Effects of different photoperiods on flowering time of facultative long day ornamental annuals. *International Journal of Agriculture & Biology*, 11, 251-256.
- Bonilla, C. R., Sánchez, M. S., & Perlaza, D. F. (2007). Evaluación de métodos de propagación, fertilización nitrogenada y fenología de Stevia rebaudiana en condiciones del Valle del Cauca. *Acta Agronómica*, 56(3), 131-134.
- Brandle, J. E., & Telmer, P. G. (2007). Steviol glycoside biosynthesis. *Phytochemistry*, 68, 1855-1863.
- Cortéz-Marín, A. L., Aceves-Navarro, L. A., Arteaga-Ramírez, R., & Vázquez-Peña, M. A. (2005). Zonificación agroecológica para aguacate en la zona central de Venezuela. *Terra Latinoamericana*, 23(2), 159-166.
- ESRI (2016). *ArcGis User's Guide*. Released 10.4. Redlands, CA, USA: Environmental Systems Research Institute.
- FAO (Food and Agriculture Organization). (1981). Report on the Agro-Ecological Zones Project. Vol. 1: Methodology and Results for Africa (World Soils Report No. 48). Rome, Italy: FAO.
- FAO (Food and Agriculture Organization). (1997). Zonificación agroecológica: Guía general. Boletín de Suelos 73. Roma, Italia: FAO.
- Gómez-Díaz, J. D., Flores-Velázquez, R., & Monterroso-Riva, A. I. (2020). Aptitud actual bajo escenarios de cambio climático para tres cultivos en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(4), 777-788. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i4.2463>
- González-Mancillas, R., Juárez-López, J. F., Aceves-Navarro, L. A., Rivera-Hernández, B., & Guerrero-Peña, A. (2015). Zonificación edafoclimática para el cultivo de *Jatropha curcas* L. en Tabasco, México. *Investigaciones Geográficas*, 86, 25-37.
- Grupo Banco Mundial. (2021). Tasa de natalidad, nacidos vivos en un año (por cada 1.000 personas). Consultado el 13 de febrero, 2025, desde <https://datos.bancomundial.org/indicador/SP.DYN.CBRT>
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2013). Continuo de elevaciones mexicano y modelos digitales de elevación (CEM) Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Consultado el 5 de abril, 2024 desde <https://www.inegi.org.mx/app/geo2/elevacionesmex/>
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2017). Anuario estadístico y geográfico de Tabasco. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Consultado el 20 de marzo, 2024 desde https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/anuarios_2017/702825095123.pdf
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2020). Proyecto básico de información: Cartografía digital de México. Consultado el 13 de febrero, 2025 desde <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825108995>
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2024). Conjunto de datos vectorial edafológico. Escala 1:250 000 Serie II, Continuo Nacional. Consultado el 25 de abril, 2024 desde <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=794551131916>
- IPCC. (2023). Climate Change 2023: Synthesis Report. Longer Report. Intergovernmental Panel on Climate Change. Consultado el 20 de marzo, 2024 desde https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_LongerReport.pdf
- IUSS Working Group WRB. (2022). World Reference Base for Soil Resources: International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps (4th ed.). Vienna, Austria: International Union of Soil Sciences (IUSS).
- Jarma, A., Mercado-Fernández, T., & Cleves-Leguizamo, J. A. (2015). Efecto de la inundación sobre parámetros de crecimiento de Stevia rebaudiana Bertoni. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 18(2), 393-399.
- Jarma, A., Rengifo, T., & Araméndiz-Tatis, H. (2005). Aspectos fisiológicos de estevia (Stevia rebaudiana Bertoni) en el Caribe colombiano: I. Efecto de la radiación incidente sobre el área foliar y la distribución de biomasa. *Agronomía Colombiana*, 23(2), 207-216.
- Jarma, A., Cardona-Ayala, C., & Fernández-Herrera, C. (2012). Efecto de la temperatura y radiación en la producción de glucósidos de esteviol en Stevia rebaudiana en el Caribe húmedo colombiano. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 15(2), 339-347.
- Madan, S., Ahmad, S., Singh, G. N., Kohli, K., Kumar, Y., Singh, R., & Garg, M. (2010). Stevia rebaudiana (Bert.) Bertoni: A review. *Indian Journal of Natural Products and Resources*, 1(3), 267-286.
- Pájaro, D., & Ortiz, C. (1992). Estimación del periodo de crecimiento por disponibilidad de agua y libre de heladas para la República Mexicana. *Revista de Geografía Agrícola*, 17, 119-125.
- Pagano, E. A., Wolosiuk, R. A., & Chueca-Sancho, A. (2010). Evolución del metabolismo fotosintético C4 y los estados de transición C3-C4. En J. L. González-Rebollar & A. Chueca Sancho (Eds.). *C4 y CAM: características generales y uso en programas de desarrollo de tierras áridas y semiáridas* (pp. 19-30). Madrid, España: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- Paredes-Suárez, P. D. C., Bautista-Gálvez, A., Ortega-Ramírez, M. E., Jiménez-Vera, R., Benítez-Mandujano, M., & González-Cortés, N. (2021). Enraizamiento de mini esquejes de Stevia rebaudiana Bertoni con ácido indolbutírico en hidroponía. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 44(3), 367-372.
- Pérez-Portilla, E., & Geissert-Kientz, D. (2006). Zonificación agroecológica de sistemas agroforestales: el caso café (*Coffea arabica* L.)-Palma Camedor (*Chamaedorea elegans* Mart.). *Interciencia*, 31(8), 556-562.
- Rank, A., & Midmore, D. (2002). *A new rural industry: Stevia to replace imported chemical sweeteners*. Barton, Australia: Rural Industries Research and Development Corporation (RIRDC).
- Ramírez-Jaramillo, G. (2011). Paquete Tecnológico Estevia (Stevia rebaudiana): Establecimiento y mantenimiento. En *Programa Estratégico para el desarrollo rural sustentable de la región sur-sureste de México: Trópico Húmedo 2011*. México: SAGARPA-INIFAP.
- Ramírez-Jaramillo, G., & Lozano-Contreras, M. G. (2016). Potencial productivo de Stevia rebaudiana Bertoni bajo condiciones de riego en México. *Agro Productividad*, 9(12), 76-81.
- Ramesh, K., Singh, V., & Megeji, N. W. (2006). Cultivation of Stevia rebaudiana (Bert.) Bertoni: A comprehensive review. *Advances in Agronomy*, 89, 137-177. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(05\)89003-0](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(05)89003-0)
- Rivera-Hernández, B., Aceves-Navarro, L. A., Juárez-López, J., Palma-López, D. J., González-Mancillas, R., & González-Jiménez, V. (2012). Zonificación agroecológica y estimación del rendimiento potencial del cultivo de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) en el estado de Tabasco, México. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 16(1), 29-47.
- Shuping, C., & Shizhen, S. (1995). Study on storage technique of Stevia rebaudiana seed. *Acta Agronomica Sinica*, 21, 102-105.
- Shock, C. (1982). Rebaudi's stevia: natural noncaloric sweeteners. *California Agriculture*, 36(9), 4-5.
- Sánchez-Pérez, M. F., Gómez-Valenzuela, V., Ramírez-Hernández, B., Vásquez-Rendón, R. R., Pérez-Cruz, U. G., & Ortiz-Gil, G. (2023). Potencial productivo del cultivo del arroz (*Oryza sativa* L.) en la subregión de los Ríos, Tabasco, México. En *Ciencia y Tecnología* (pp. 96-106). Córdoba, Veracruz: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2022). Estadística de producción agrícola (Conjunto de datos). Cierre agrícola municipal en 2022. Consultado el 20 de marzo, 2024, desde http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos/ProduccionAgricola/Cierre_agr_mun_2022.csv
- Soto, F., Tejeda, T., Hernández, A., & Florido, R. (2001). Metodología para la zonificación agroecológica del *Coffea arabica* L. en Cuba. *Cultivos Tropicales*, 22(4), 51-53.