

# ANÁLISIS DE LA APTITUD DE LAS TIERRAS DEL ESTADO DE CHIAPAS PARA LA PRODUCCIÓN DE CAFÉ ARÁBICA (*COFFEA ARABICA*)

José Manuel Salvador-Castillo<sup>1</sup>, Martín Alejandro Bolaños-González<sup>1‡</sup>, Antoine Libert-Amico<sup>2</sup>, Carlos Ramírez-Ayala<sup>1</sup>, Axel Eduardo Rico-Sánchez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Posgrado en Hidrociencias, Colegio de Postgraduados *campus* Montecillo, Estado de México, México.

<sup>2</sup>Programa Mexicano del Carbono, Estado de México, México.

<sup>‡</sup>Autor para correspondencia: martinb72@gmail.com, bolanos@colpos.mx

## RESUMEN

Chiapas es el estado con mayor producción de café en México. Sin embargo, este sector enfrenta problemas ambientales, productivos y socioeconómicos, en los cuales la falta de acceso a la información a nivel local para la toma de decisiones juega un papel clave. En esta investigación se elaboró un mapa con el objetivo de conocer el nivel de aptitud de las tierras para la producción de café en dicho estado, se utilizó información geoespacial de la temperatura media anual, la precipitación total, la textura del suelo y la altitud. Además, se utilizó la ubicación geográfica de 325 268 parcelas cultivadas con café que cubren una superficie de 246 911.4 ha. El mapa de aptitud se generó con el método de evaluación multicriterio, aplicando el mismo peso a todas las variables. Se encontró que a nivel estatal existen 214 300 ha con grado de aptitud alto para la producción de café. Sin embargo, bajo esta condición solo se cultivan 25 045.6 ha y cerca del 90% de la superficie productora de café se encuentra en zonas con limitaciones para el máximo potencial del cultivo: 126 659.4 ha se ubicaron en zonas de aptitud media, 40 118.9 ha en zonas de aptitud baja y 36 899.8 ha en zonas no aptas. La información proporcionada por el mapa de aptitud es fundamental para la planificación y la toma de decisiones en la cafecultura bajo sombra; así como para estudios futuros relacionados con el impacto del cambio climático en este sector.

**Palabras clave:** *Coffea arabica*; *Qgis*; *análisis multicriterio*; *mapas de aptitud*.

## INTRODUCCIÓN

El café se produce en casi 80 países y se exporta en diferentes formas a más de 165 naciones; siendo el sustento de alrededor de 25 millones de familias productoras de este aromático de todo el mundo (Kathurima *et al.*, 2009). Davis *et al.* (2011) mencionan que se han registrado 124 especies silvestres de café distribuidas desde África tropical, Madagascar, Islas Comoras, Islas Mascareñas, Asia y Australasia.

Del total de especies, al menos un 60% se encuentran en riesgo de extinción, en especial en zonas con cambio climático acelerado (Davis *et al.*, 2019). Además, solo dos de estas especies, *Coffea arabica* (60%) y *Coffea canephora* (40%) dominan el mercado (Chandrasekhar *et al.*, 2023). Estas dos especies de café son muy diferentes entre sí, el arábica fue el primero en descubrirse y, aunque es más difícil su cultivo y menor su rendimiento, ofrece alta calidad, con un sabor y aroma más intenso; a diferencia de Robusta, que se utiliza para la producción de cafés de calidad estándar, es más resistente a la variación en altitud y clima, y frecuentemente se utiliza para la elaboración de café instantáneo debido a su bajo costo y alta eficiencia de producción (Yılmaz *et al.*, 2017).

En México, según los datos proporcionados por el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2021), se cultivan 710 897.4 ha de café. De estas, solo 257 ha pertenecen a la especie *C. canephora*, cultivadas en el estado de Chiapas. El resto corresponden a la especie *C. arabica* y se cultivan principalmente en los estados de Chiapas (35.7%), Veracruz (20.4%), Oaxaca (18.9%), Puebla (9.9%) y Guerrero (6.4%). De acuerdo con Benítez (2014) la especie *C. arabica* es la más favorecida en México debido a su alta calidad en taza.

Los productores de café han enfrentado crisis relacionadas con la disminución de los precios, la sobreproducción y los factores climáticos adversos. Situaciones que comprometen la seguridad alimentaria de pequeños productores con menos de 7 ha; los cuales, se ven obligados a vender el café sin agregarle valor para pagar a sus trabajadores y darles mantenimiento a las plantaciones (Avelino *et al.*, 2015). De forma particular, en México la producción de café es un medio de vida que permite el mantenimiento de familias rurales, pero enfrenta múltiples riesgos. Así, las regiones productoras de café se ubican en los sitios con los más altos índices de marginación, pobreza (Pérez *et al.*, 2011) y problemas migratorios (Oliva y López, 2019). Según Medina-Meléndez *et al.* (2016) muchas de estas zonas, como es el caso la región Frailesca en Chiapas, carecen de infraestructura, asesoría técnica, apoyo financiero y organización de productores que ayuden a impulsar la tecnificación del cultivo. Además, encontraron que el 32.1%, de 243 productores encuestados, obtuvo de 1 a 10 quintales por hectárea ( $qq\ ha^{-1}$ ), 53.1% de 11 a 20  $qq\ ha^{-1}$  y solo el 14% más de 20  $qq\ ha^{-1}$ , por lo cual, solo este último segmento estaría en posibilidades de competir en el mercado internacional del café.

Bajo este escenario, Pérez *et al.* (2011) mencionan que la producción de café de alta calidad destinada a los mercados diferenciados puede ser una forma de enfrentar la crisis en el mediano plazo, por la mejor estabilidad de los precios. Esto representa una oportunidad para los productores ubicados en zonas con mayor aptitud, ya que la calidad del café se encuentra en función de las condiciones donde se desarrolla la planta (Läderach *et al.*, 2011) y no de las características físicas del grano (Kathurima *et al.*, 2009). Debido

a lo anterior, es trascendente conocer las zonas adecuadas para producir café con oportunidad de competir en estos mercados.

Según Reyes *et al.* (2022) los sistemas tradicionales para la producción de *C. arabica* se desarrollan en ecosistemas bajo sombra, en los cuales las plantaciones de mayor edad presentan más diversidad, estructura arbórea y riqueza de especies, con respecto a las plantaciones jóvenes. Estos sistemas juegan un papel trascendental en la provisión de servicios ecosistémicos (Ruiz-García *et al.*, 2020), por lo mismo, a esta forma de producción se le ha considerado climáticamente inteligente, siendo resiliente ante los efectos del cambio climático global (CCG), ya que la vegetación arbórea, aparte de proveer la sombra, puede regular la aparición de plagas y enfermedades y contribuir a la sostenibilidad del sistema de cultivo (Cerdeña *et al.*, 2020). Además, dicha vegetación ayuda a regular el clima (Jha *et al.*, 2011), puede capturar hasta cuatro veces más carbono respecto a un cultivo a pleno sol (Van Rikxoort *et al.*, 2014), provee servicios hidrológicos (van Noordwijk, 2019), propicia la conservación de suelos (Muchane *et al.*, 2020) y la conservación de la agrobiodiversidad y de especies polinizadoras (Cerdeña *et al.*, 2020; Lamichhane, 2020).

No obstante, debido a su alto grado de adaptación, el café se puede estar cultivando en zonas donde no puede alcanzar los máximos rendimientos, mientras que existen zonas con un alto potencial que no se han aprovechado (Soto *et al.*, 2001b). La tendencia actual es utilizar técnicas que se enfocan en la agricultura de precisión a fin de mantener o incrementar el rendimiento de los cultivos ante las posibles consecuencias del CCG. De esta manera, se requiere contemplar la variabilidad en campo, para determinar unidades de manejo en las que el suelo, la topografía y el clima sean homogéneos (Läderach *et al.*, 2011). Así, se podrían implementar prácticas de manejo apropiadas, tanto del cultivo, como edáficas y de la sombra.

En ese sentido, Grüter *et al.* (2022) y Bunn *et al.* (2015) han estudiado el potencial actual y futuro de las tierras para la producción de café a nivel mundial. Mientras que en México se han realizado esfuerzos para conocer la aptitud a nivel municipal (Bautista *et al.*, 2018) y regional (López-Carmona *et al.*, 2021; Pérez-Portilla y Geissert-Kientz, 2006). Dichos trabajos se han manejado a escalas muy diferentes, por lo que es factible pensar que se requiere de información generada a nivel estatal para enfocar los programas de apoyo y acciones de incidencia a las zonas productoras de café más vulnerables o que tengan el mayor potencial. Por ello, en esta investigación se identificaron los niveles de aptitud de las tierras para la producción de *C. arabica* en el estado de Chiapas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Definición del área de estudio

Chiapas se localiza en el extremo sureste de México. Colinda al norte con Tabasco, al oeste con Veracruz y Oaxaca, al sur con el Océano Pacífico y al este con la República de Guatemala. De acuerdo con la división política estatal del año 2020, obtenida del portal de geoinformación CONABIO (2022) con escala 1: 250 000, Chiapas cuenta con una superficie de 72 991.1 km<sup>2</sup> y 5 543 828 habitantes.

Suárez *et al.* (2021) mencionan que en la entidad predomina el clima tipo Af (cálido húmedo con lluvias todo el año) en la zona norte y Am (cálido húmedo con lluvias en verano) en el resto del territorio. Las precipitaciones pueden alcanzar los 4 000 mm anuales y se presentan temperaturas medias anuales de 18 °C en la zona de los altos de Chiapas y de 28 °C en la Llanura Costeña. Los rangos de altitud van desde el nivel del mar hasta un poco más de los 4 000 m, en la cumbre del volcán Tacaná. Los autores también indican que los grupos de suelos existentes en el estado son: Cambisoles (12.4%), Luvisoles (19.8%), Nitisoles (4.8%) y Andosoles (1.5%), mientras que el restante 61.5% lo ocupan los Acrisoles, Litosoles, Regosoles, Solonchaks y Vertisoles).

El estado de Chiapas es el principal productor de café en México. Según el SIAP (2021) en 2021 se registró una superficie cosechada de 239 265 ha con un rendimiento promedio de 1.6 Mg ha<sup>-1</sup> de café cereza (aproximadamente 6.4 quintales de café pergamino). En la Figura 1 se muestra el área de estudio y el rango de superficie cosechada en los municipios, de acuerdo con los datos proporcionados por el SIAP (2021).

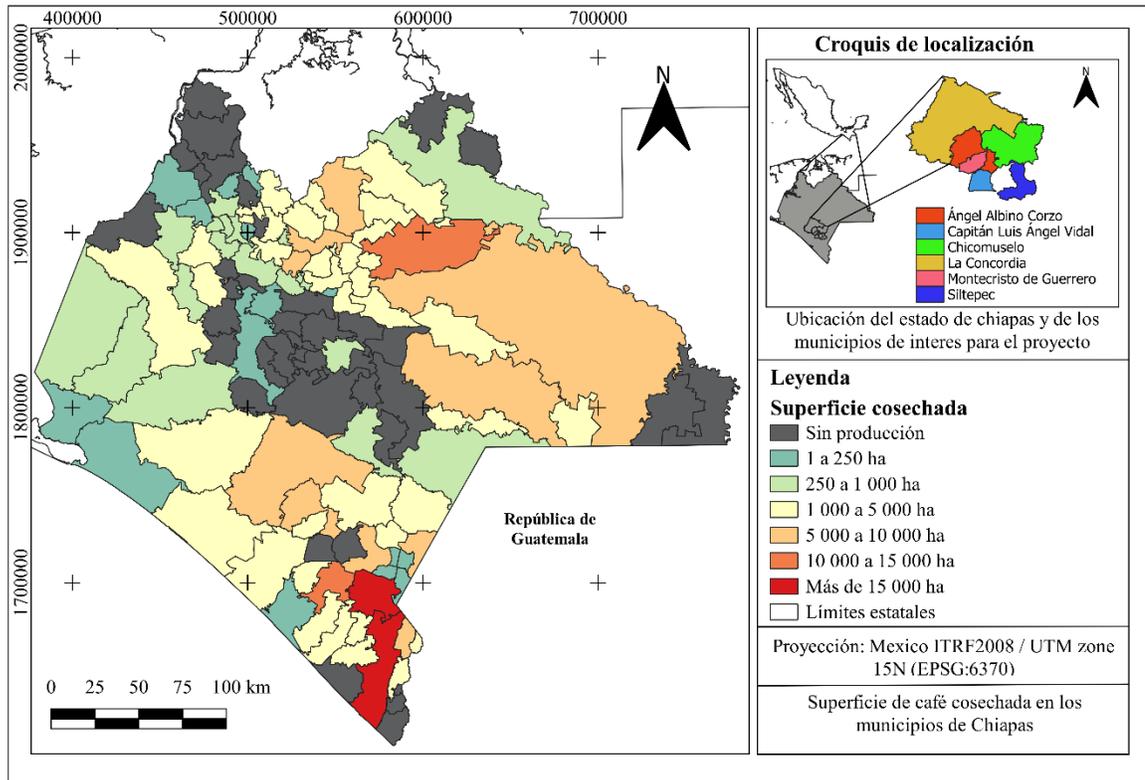


Figura 1. Localización del área de estudio e identificación de los municipios productores de café en el estado de Chiapas.

### Definición de variables a utilizar

Los requerimientos agroecológicos del café y la selección de variables para generar el mapa de aptitud se obtuvieron a partir de la revisión de literatura. Se seleccionó la precipitación, la temperatura, la textura del suelo y la altitud. La temperatura y precipitación se obtuvieron de la información generada por Fick y Hijmans (2017), la cual se encuentra en formato ráster con un tamaño de pixel de 900 m. Dichas capas fueron generadas con datos climáticos recopilados por estaciones meteorológicas entre los años 1970 y 2000. Para la altitud se utilizó el modelo digital de elevación (MDE) del estado, descargado de la página de INEGI (2022), con una resolución espacial de 30 m.

La información de textura del suelo se adquirió del acervo de información edafológica de la página Geoweb Chiapas 3.0 (2022), de la cual también se obtuvo un archivo en formato *shape* con datos de 325 322 parcelas productoras de café. De la información anterior se eliminaron 54 registros, que no incluían la superficie reportada por el productor, ni la superficie medida, mientras que a 1970 elementos se le asignó la superficie reportada porque no incluían el área medida, además no existía gran diferencia entre ambas variables. Después de depurar la información, se obtuvieron 325 268 registros con 246 911.4 ha. La página también proporcionó las zonas de exclusión, como áreas urbanas, localidades rurales, distritos de riego y

cuerpos de agua, en formato *shape*. Todos los datos se trabajaron en formato ráster, con un tamaño de píxel de 30 m, utilizando el sistema de referencia de coordenadas EPSG:6370 - Mexico ITRF2008 / UTM zone 15N y el software QGIS versión 3.16.9. La resolución del píxel de todos los mapas generados fue de 30 m.

Debido a que las variables no son medidas con la misma unidad, se realizó una estandarización. Para lo cual, se asignaron valores únicos en función del rango de aptitud para el desarrollo del cultivo, considerando cuatro niveles de aptitud: alto, medio, bajo y no apto (Cuadro 1). Este número de niveles coincide con el empleado en estudios previos que evalúan la aptitud de las tierras para la producción de café (González y Hernández, 2016; Monterroso-Rivas *et al.*, 2007). Sin embargo, otros investigadores han utilizado una cantidad distinta de clases, por ejemplo, López-Carmona *et al.* (2021) usaron cinco clases de altitud y pendiente para determinar la aptitud.

### Generación del mapa de aptitud

Para obtener el mapa de aptitud se aplicó la metodología de análisis multicriterio, la cual consiste en un conjunto de operaciones espaciales considerando de forma simultánea a la mayor cantidad de las variables que intervienen en un fenómeno específico (Manzano, 2019). La técnica de suma lineal ponderada es una de las más sencillas y aplicadas de forma común dentro de la evaluación multicriterio. En esta técnica, se asigna un factor de ponderación a cada variable para obtener su peso específico, previamente definido, y luego se suman las capas para obtener la evaluación multicriterio (Manzano, 2019). En este trabajo, se utilizó la forma más simple de esta técnica, que consiste en otorgar el mismo peso a todas las variables.

**Cuadro 1. Requerimientos técnicos para el cultivo de café (*C. arabica*).**

Variables	Unidades	Nivel de aptitud				Fuente
		Alto	Medio	Bajo	No apto	
Temperatura promedio	°C	18-22	14-18 y 22-24	12-14 y 24-26	<12 y >26	González y Hernández (2016)
Precipitación	mm año <sup>-1</sup>	1500-2000	1200-1500	1000-1200 y 2000-2500	<1000 y >2500	González y Hernández (2016)

Altitud	msnm	900-1600	600-900 y 1600-2000	400-600 y 2000-2200	<400 y >2200	López-Carmona <i>et al.</i> (2021)
Textura del suelo		Media	fina		gruesa	López-Carmona <i>et al.</i> (2021)

A continuación, se crearon mapas de aptitud individuales por variable, a una resolución espacial de 30 m, con el propósito de determinar la superficie de cada nivel, así como el número de predios y la superficie de café localizada en los distintos niveles de aptitud. En seguida, se sumaron los mapas individuales y se obtuvo una capa con valores de 4 a 16, la cual se reclasificó de la siguiente manera: a los pixeles con el número 4 se les asignó el nivel de aptitud alto, de 5 a 7 el medio, de 8 a 9 el bajo y a los mayores de 9 el no apto. Se eligió un intervalo amplio para las zonas no aptas, con el objetivo de incrementar la certeza de obtener zonas apropiadas para la producción de café. Las capas de los mapas en formato ráster se convirtieron a polígonos (*shape*) y se eliminaron las zonas de exclusión con la intención de extraer el número de parcelas y conocer la superficie de café cultivada en los diferentes niveles de aptitud.

Por último, se realizó un breve análisis del grado de aptitud en que se encuentran las plantaciones de café de los municipios: Ángel Albino Corzo, Capitán Luis Ángel Vidal, Chicomuselo, La Concordia, Montecristo de Guerrero y Siltepec, para los cuales también se elaboró un mapa de aptitud con una resolución espacial de 30 m. Estos municipios forman parte del área de estudio del proyecto de investigación e incidencia “*Resiliencia y estabilidad socioecológica de la cafecultura mexicana bajo sombra: hacia nuevos paradigmas*”, que coordina el Colegio de Postgraduados, y que forma parte de los Programas Nacionales Estratégicos (ProNacEs) del CONACYT, cuyo objetivo es fortalecer a los pequeños productores de café bajo sombra a través de la gestión de riesgos, la innovación en la cadena de valor y la retribución por las aportaciones de los sistemas agroforestales a la mitigación, adaptación al cambio climático y la provisión de servicios ecosistémicos (Bolaños *et al.*, 2021).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Pérez-Portilla y Geissert-Kientz (2006) mencionan que los mapas de aptitud en función de una sola variable pueden ser de utilidad para conocer las condiciones que limitan el desarrollo del cultivo en zonas sin condiciones óptimas. En el Cuadro 2 se reporta el número de parcelas de café encontradas en cada nivel de aptitud de las variables evaluadas.

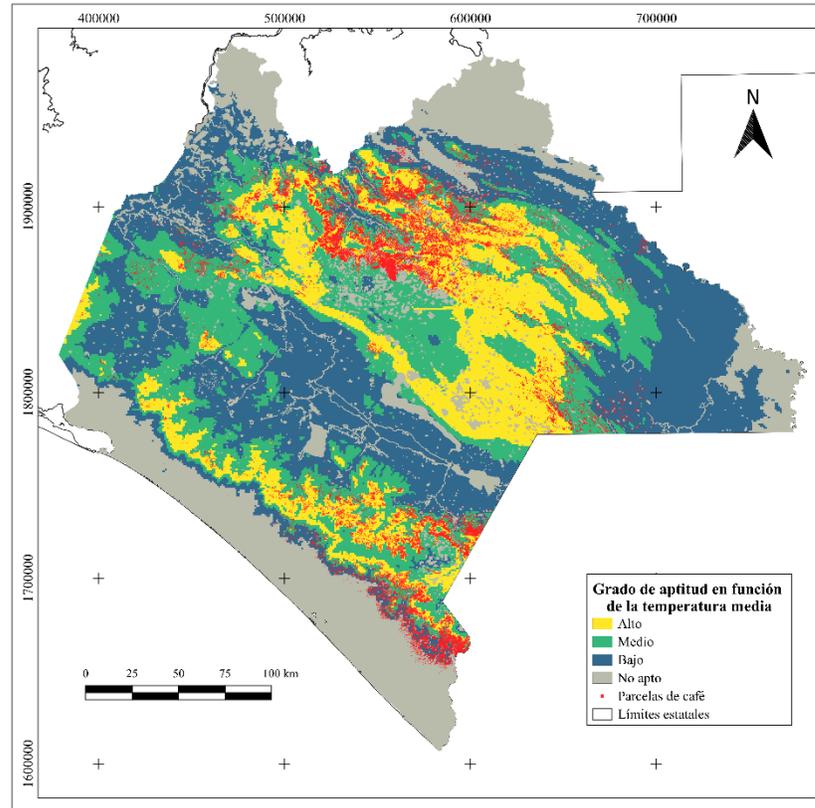
**Cuadro 2. Número de parcelas y superficie ocupada en los mapas de aptitud de las variables analizadas.**

Variable		Nivel de aptitud			
		Alto	Medio	Bajo	No apto
Temperatura	Parcelas	168 723	84 224	29 258	43 063
	Superficie <sup>cc</sup>	109 629.4	71 651.1	41 753.0	23 877.9
Precipitación	Parcelas	98 986	22 099	105 208	98 975
	Superficie	55 398.0	12 493.1	88 295.7	90 724.6
Textura	Parcelas	185 889	99 875		39 504
	Superficie	152 364.9	75 878.8		18 667.8
Altitud	Parcelas	179 375	74 097	19 017	52 779
	Superficie	131 422.3	60 259.5	22 837.7	32 392

<sup>cc</sup>La superficie se reporta en hectáreas

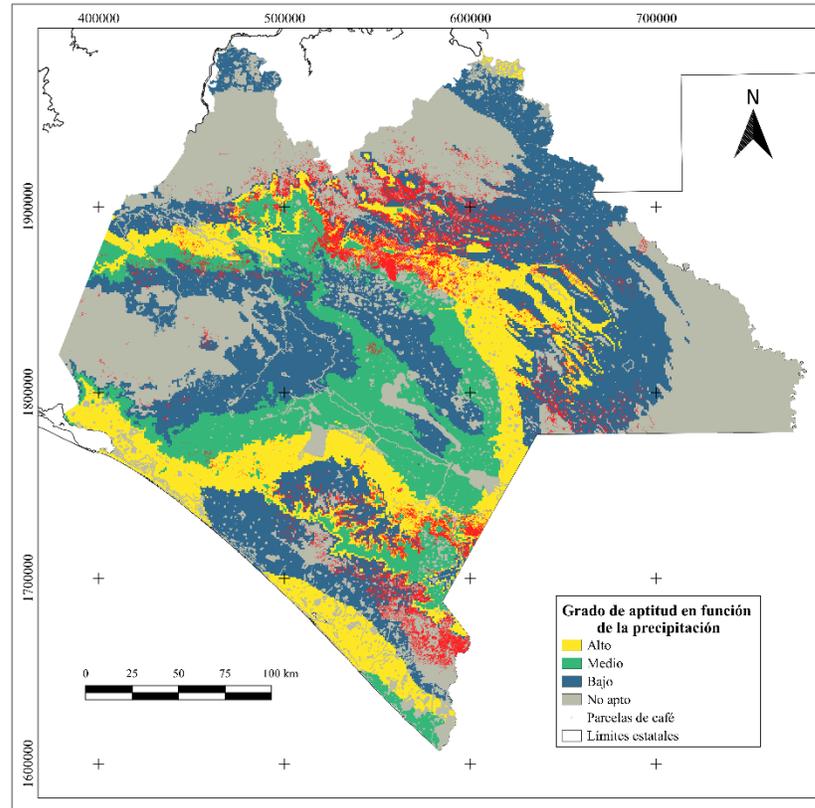
A nivel del estado de Chiapas se encontraron temperaturas promedio mínimas de 7.8 °C en las zonas montañosas y máximas de 28.4 °C en la planicie costera y en los límites con Veracruz y Tabasco. Debido a estas condiciones, dichas regiones, se catalogaron como no aptas para la producción de café (Figura 2). De los 72 947.8 km<sup>2</sup> evaluados a nivel estatal, se encontró que el 19.6% presentó un nivel de aptitud alto, el 25.8% nivel medio, el 33.2% nivel bajo y el 16.0% no fueron aptos, el restante 5.4% correspondió a zonas de exclusión. En lo referente a las parcelas cultivadas con café, el 51.9% se ubicaron en la categoría de aptitud alta. Mientras que, no se reportaron unidades de producción en zonas con temperaturas inferiores a 12 °C, lo anterior podría indicar que aún no se presenta migración de los campos de cultivo a lugares de mayor altitud.

Sin embargo, se encontraron 4 872 parcelas (8 811.6 ha) cercanas a la costa, en sitios con temperaturas promedio superiores a 26°C, por lo cual estas zonas presentan restricciones para la producción de *C. arabica* a causa de las altas temperaturas, pero podrían corresponder a *C. canephora* ya que se tiene registro de su cultivo en esta zona (Quintana-Escobar *et al.*, 2016). Adicionalmente, Pérez-Portilla y Geissert-Kientz (2006) encontraron que, en la planicie costera de la parte central de Veracruz, las altas temperaturas y los marcados déficits hídricos limitan la instalación de los sistemas agroforestales de café y palma camedor (*Chamaedora elegans*). De acuerdo con Parada-Molina *et al.* (2022) una opción clave para mantener la producción de café en estos lugares, en especial ante los incrementos de temperatura previstos por el CCG, es el uso de sombra. Dichos autores encontraron que en terrenos bajo la sombra de cedro rosado (*Acrocarpus fraxinifolius*) se redujeron las temperaturas máximas en 1.9 °C en comparación con los expuestos al sol.



**Figura 2. Mapa de aptitud para *C. arábica* en función de la temperatura**

La precipitación mostró valores mínimos de 591 y máximos de 4 615 mm año<sup>-1</sup>. La aptitud en función de la precipitación (Figura 3) arrojó que 13 254.9 km<sup>2</sup> tuvieron grado de aptitud alto, 29 421.7 km<sup>2</sup> medio, 16 463.1 km<sup>2</sup> bajo y 9 840.5 km<sup>2</sup> no fueron aptos. Por otro lado, el 30.43% de las parcelas, equivalente a 22.4% de la superficie, se ubicó en áreas con nivel de aptitud alto. En los límites con Tabasco las zonas no fueron aptas debido a las altas precipitaciones. Lo anterior concuerda con lo encontrado por Aceves-Navarro *et al.* (2020), quienes reportaron restricción para el cultivo de café debido a los excesos de lluvia en los municipios de Teapa, Tacotalpa y parte de los municipios de Jalapa, Macuspana y Huimanguillo. En cuanto a los mapas de precipitación (Figura 3) y temperatura (Figura 2) presentaron similitudes con los generados por Suárez *et al.* (2021) mediante datos de precipitación y temperatura medidos con estaciones meteorológicas.



**Figura 3. Mapa de aptitud para *C. arábica* en función de la precipitación**

La precipitación es una de las variables que determinan la idoneidad de un lugar para la producción de café (Soto *et al.*, 2001b). En ese sentido, Schroth *et al.* (2009) resaltan que la floración del café se desencadena por precipitaciones de al menos 7 a 10 mm al comienzo de la temporada de lluvias y si estas no son constantes conducirían a una floración y maduración errática, pero si son demasiado intensas tanto la flor como el fruto pueden caerse. Según Soto *et al.* (2001a) se debe presentar una precipitación mayor de 1 800 mm, si se quiere alcanzar un rendimiento cercano a los 2 Mg ha<sup>-1</sup> de café verde. Adicional al volumen precipitado, se debe considerar que la precipitación de mayo a octubre se distribuya de manera uniforme (López-Carmona *et al.*, 2021).

Referente a la textura del suelo (Figura 4), 38 390.5 km<sup>2</sup> mostraron grado de aptitud alto (suelos con textura media), 26 929.1 km<sup>2</sup> grado medio (suelos de textura fina), 2 651.3km<sup>2</sup> no fueron aptos (suelos de textura gruesa) y 3 964.0 km<sup>2</sup> se ubicaron en zonas de exclusión. Pérez-Portilla y Geissert-Kientz (2006) señalan que las texturas arenosas presentan baja fertilidad y retención de humedad, por lo cual podrían restringir el desarrollo del café. Bajo estas condiciones se ubicaron 558 parcelas. Según Rosas *et al.* (2008) en los suelos de textura media o franca se encuentra la mayor cantidad de unidades de producción orgánica,

ya que esta favorece el desarrollo del cafeto. Esto concuerda con los resultados obtenidos en el presente trabajo.

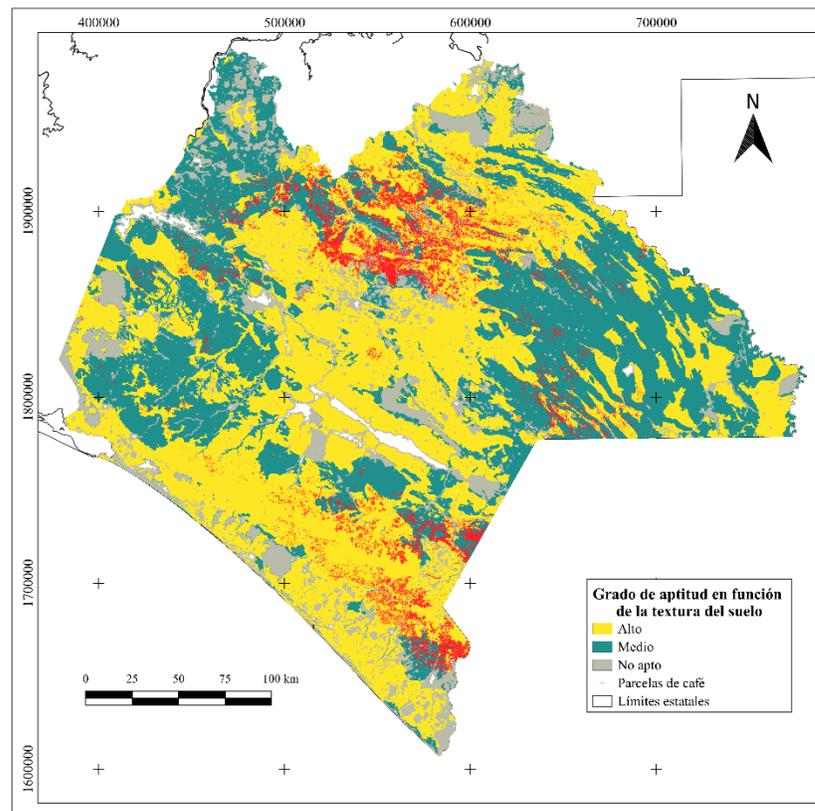


Figura 4. Mapa de aptitud para *C. arabica* en función de la textura.

La altitud del estado de Chiapas tiene un rango de -23 a 4 083 m. De acuerdo con esta variable, se encontraron 16 816.4, 19 555.2, 9 651.9, 23 277.2 y 3 968.2 km<sup>2</sup>, para los grados de aptitud alto, medio, bajo, no apto y zonas de exclusión, siguiendo la misma secuencia (Figura 5). El 55.2% de las parcelas (53.2% de la superficie) se ubicaron en grado de aptitud alto y 4.3% (5.8% de la superficie) en zonas no aptas. Sin embargo, en el estado se produce café de la especie *C. canephora*, por tal motivo parte de los predios registrados podrían ser de dicha especie, ya que en zonas con altitudes inferiores a los 500 m *C. canephora* reemplaza a *C. arabica* (Schroth *et al.*, 2009). Pese a lo anterior, de acuerdo con Soto *et al.* (2001b) el *C. arabica* se puede producir a 200 msnm en regiones ubicadas a 25° de latitud, en cambio en zonas cercanas al ecuador el cultivo se debe atemperar estableciendo las plantaciones a mayor altitud.

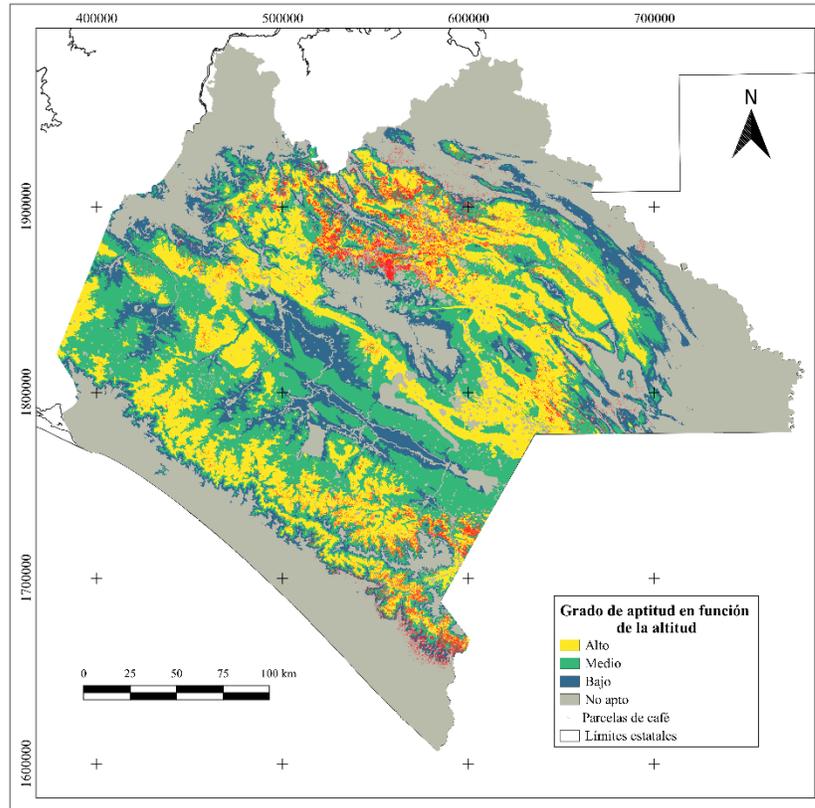
Gómez-Tosca *et al.* (2021) encontraron que el intervalo de altitud estimado actual, para la distribución potencial del *C. arabica*, en Decozalapa, estado de Veracruz, va de los 589 hasta los 2 262 m. No obstante, a nivel nacional, el 21.5% de las plantaciones se ubican a menos de 600 msnm, el 43.5% de 600 a 900 msnm y el 35% restante se ubica a más de 900 msnm, con zonas ubicadas casi a nivel del mar en

los estados de Nayarit y San Luis Potosí (SAGARPA, 2005). Considerando lo antes mencionado y la latitud de la zona de estudio, es probable que existan sitios con café arábica a menos de 400 msnm.

La altitud de las zonas productoras de café se ha asociado con la incidencia de plagas y enfermedades. Al respecto, López-Carmona *et al.* (2021) encontraron mayor incidencia de roya (*Hemileia vastatrix*) y de ojo de gallo (*Mycena citricolor*) en parcelas ubicadas a menos de 1 600 msnm en la Mixteca Alta, del estado de Oaxaca. Según los autores, este aspecto se debe a los serios problemas de sanidad de los cafetales en la actualidad. En ese sentido, Jonsson *et al.* (2015) encontraron que en los campos con sombra alta (123 árboles por hectárea) ubicadas en el rango de altitudes de 1 511 a 1 605 m el ataque del barrenador blanco del tallo (*Monochamus leuconotus*) se presentó en el 56% de los cafetos. Por otro lado, en predios con sombra baja (0-50 árboles por hectárea) ubicados entre los 1 717 y 1 840 msnm solo el 27% de los arbustos presentaron el ataque de dicha plaga. Debido a esos resultados, indican que incrementar el porcentaje de sombra, propuesto como una medida de adaptación con miras a disminuir los impactos del incremento de temperaturas en las parcelas ubicadas a baja altitud, puede aumentar el ataque de ciertas plagas durante los próximos 15 a 50 años.

Parada-Molina *et al.* (2022) indican que, las condiciones del cambio climático pueden redistribuir las zonas aptas para la producción de café a mayor altitud, se corre el riesgo de tener una menor superficie útil como consecuencia de las condiciones del relieve. Por lo cual, no es práctico pensar que los cafetales perdidos en lugares bajos se van a compensar al plantar en zonas altas. De forma adicional, en altitudes superiores a 2 200 m se presenta un alto riesgo de heladas, que se convierten en zonas no aptas para el cultivo de café (López-Carmona *et al.*, 2021). Sin embargo, Schroth *et al.* (2009) advierten que el incremento de las zonas óptimas para la producción de café solo se presentaría en sitios de mayor altitud, donde en la actualidad se presentan limitaciones a causa de las bajas temperaturas. En ese sentido, debido a que las zonas más altas son áreas de conservación de bosques primarios y otros ecosistemas clave por sus servicios ecosistémicos, el cambio de aptitud hacia zonas más elevadas acarreará problemas de gestión de reservas y conservación ecológica (Bunn *et al.*, 2015).

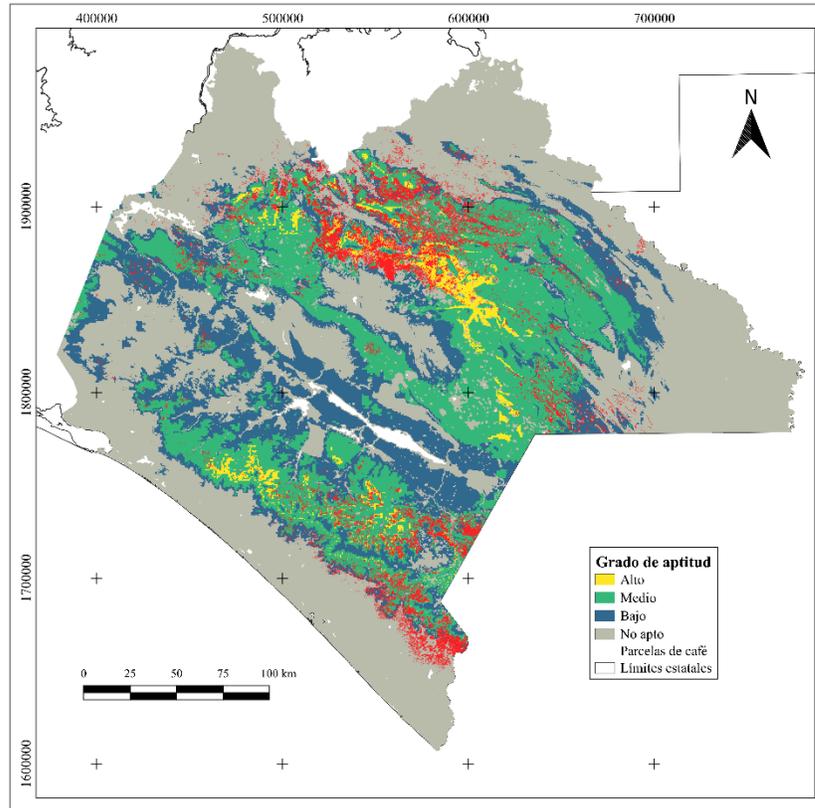
Pese a que la altitud y la temperatura están relacionadas, se justifica el uso de la primera, porque restringe la superficie apta obtenida con las otras variables. En este trabajo, la inclusión de la altitud como un factor de aptitud, disminuyó el efecto de la precipitación (Figura 3) y la textura (Figura 4) en el resultado global, ya que éstas presentan un grado de aptitud alto en las zonas cercanas a la costa. Este efecto se puede apreciar en la investigación de Quiroz *et al.* (2022) quienes, a pesar de haber incluido la altitud, reportan grados de aptitud marginal en la zona costera de la región del Soconusco en el estado de Chiapas, incluso cuando utilizaron escenarios de cambio climático. Tal situación no se presentó en este trabajo, lo cual se atribuye a que se otorgó el mismo peso a las variables estudiadas.



**Figura 5. Mapa de aptitud para *C. arábica* en función de la altitud.**

En lo referente a los mapas de aptitud individuales, la precipitación presentó solo el 30.4% de los sitios (22.4% de la superficie) en el nivel alto, mientras en el nivel bajo y no apto se registraron el 32.3 y 30.4% de los predios, respectivamente. En cambio, más del 50% de las parcelas se ubicaron en el nivel alto de las 3 variables restantes. Por esta razón, en cuanto al número de parcelas, la precipitación fue la variable que limitó en mayor medida la aptitud de las tierras productoras de café en el estado de Chiapas.

Con base en el mapa de aptitud generado a partir de la evaluación multicriterio, y después de quitar las zonas de exclusión (cuerpos de agua, distritos de riego, localidades rurales y mancha urbana), se encontró que, a nivel estatal, Chiapas cuenta con 2 143.0 km<sup>2</sup> (214 300 ha) en grado de aptitud alto, 20 477.1 km<sup>2</sup> en grado medio, 15 244.9 km<sup>2</sup> en grado bajo y 35 082.9 km<sup>2</sup> no aptos para el cultivo de café (Figura 6). No obstante, se encontraron 50 209 (25 045.6 ha), 164 909 (126 659.4 ha), 39 454 (40 118.9 ha), 31 734 (36 899.9 ha) y 38 797 (18 091.9 ha) parcelas ubicadas en zonas con grado de aptitud alto, medio, bajo, no apto y zonas de exclusión, en ese orden.



**Figura 6. Mapa de aptitud de las tierras del estado de Chiapas para la producción de *C. arábica*.**

De esta manera, solo el 15.4% de las unidades de producción (10.1% de la superficie cafetalera) se encuentra en zonas con grado de aptitud alto. El cociente de la superficie cultivada y el número de unidades de producción, ubicadas en zonas con grado de aptitud alto, da como resultado menos de 0.6 ha. Esto concuerda con el hecho de que las zonas óptimas para el cultivo de café se ubican en sitios aislados, con serias dificultades de acceso, rezago agrario y con un grado de ingresos demasiado bajo (entre otros problemas), que impiden a los pequeños productores poseer grandes plantaciones.

A grandes rasgos, más del 80% de las unidades de producción y 85% de la superficie cultivada con café se desarrolla en zonas con limitaciones. Por ello, este mapa de aptitud puede contribuir tanto al reordenamiento de las zonas cafetaleras, como a la identificación de posibles variables que limitan el crecimiento, desarrollo y rendimiento del cultivo (Pineda y Suárez, 2014). Además, el mapa de aptitud se puede utilizar para respaldar la demanda de precios más justos para el café producido en las parcelas ubicadas en zonas de grado de aptitud alto. Asimismo, puede contribuir en la formulación de políticas de fomento para la adopción de prácticas de manejo compatibles con la conservación, como el cultivo de café bajo sombra. Esta situación se vuelve aún más relevante debido a que la tendencia de la aptitud es migrar hacia zonas más elevadas, donde se encuentran las áreas prioritarias para la provisión de servicios

ecosistémicos (Bunn *et al.*, 2015). Conocer esta información permite anticipar escenarios futuros y tomar medidas para garantizar la sostenibilidad del sector cafetalero en Chiapas.

En ese sentido, González y Hernández (2016) y Pérez-Portilla y Geissert-Kientz (2006) mencionan que, en este tipo de trabajos, la escala es importante porque ayuda definir la utilidad de la cartografía generada. En sus trabajos utilizaron una escala 1:250 000, escala pequeña en comparación con la utilizada en este trabajo (1:4 200 000). Sin embargo, es posible realizar una cartografía a una escala menor con la información disponible.

El proyecto “Resiliencia y estabilidad socioecológica de la cafecultura mexicana bajo sombra: hacia nuevos paradigmas”, del cual forma parte el presente trabajo, se desarrolla en los municipios Ángel Albino Corzo, Capitán Luis Ángel Vidal, Chicomuselo, La Concordia, Montecristo de Guerrero y Siltepec. Por ello, se realizó un breve análisis del nivel de aptitud de las tierras de dichos municipios (Cuadro 3). De forma adicional se identificó la cantidad de parcelas y superficie de café plantada en cada nivel de aptitud (Cuadro 4) y se elaboró el mapa donde se muestra en mayor detalle esta zona (Figura 7).

**Cuadro 3. Superficie de los diferentes niveles de aptitud en los municipios de interés para el proyecto.**

Municipio	Nivel de aptitud				Exclusiones	Total
	Alto	Medio	Bajo	No apto		
	(ha)					
Ángel Albino Corzo	4 196.7	34 200.0	17 098.1	1 218.7	1 375.6	58 089.0
Capitán Luis Ángel Vidal	1 781.6	13 598.3	7 012.4	0.0	148.9	2 2541.1
Chicomuselo	6 455.9	45 691.4	42 037.0	3 920.7	1 499.9	99 604.9
La Concordia	11 155.3	105 254.7	104 144.2	10 518.4	26 109.6	257 182.1
Montecristo de Guerrero	1 901.1	16 226.3	1 160.3	159.2	343.0	19 790.0
Siltepec	2 585.4	18 274.2	11 493.2	5 100.4	1 000.8	38 454.0
Total	28 075.9	233 244.9	182 945.1	20 917.4	30 477.8	495 661.1

De acuerdo con las estimaciones realizadas, los seis municipios ocupan una superficie de 495 661.1 ha (Cuadro 3), siendo La Concordia el de mayor dimensión con 51.9% del área. De la extensión total el 5.7, 47.1, 36.9, 4.2 y 6.1% se ubica en niveles de aptitud alto, medio, bajo, no apto y zonas de exclusión, de acuerdo con el orden indicado. Por su parte, La Concordia, debido a su gran tamaño, ocupa el 2.3, 21.2, 21.0, 2.1 y 5.3% de las mismas categorías.

Los municipios analizados cuentan con 17 675 sitios de café registradas (32 244.9 ha). Siltepec tiene la máxima cantidad de predios (25.7%) seguido de Chicomuselo (21.1%). No obstante, la mayor

superficie de café se encuentra en Ángel Albino Corzo (27.6%), seguido de La Concordia (27.0%). Con respecto al nivel de aptitud, Chicomuselo tiene el mayor número de parcelas con el nivel alto (6.8%) y Siltepec la mayor cantidad en el nivel medio (19.1%), por su parte Ángel Albino Corzo destaca en el nivel bajo (4.3%). Con respecto a la superficie cultivada en los diferentes niveles de aptitud, se mantienen los mismos municipios en los niveles alto y bajo, pero La Concordia presenta la mayor superficie de producción de café en el nivel medio (22.1%).

Según el Cuadro 4 y la Figura 7, algunos predios se situaron en zonas de exclusión, esta condición se atribuye a que ciertas unidades de producción se ubicaron cerca de las comunidades. Asimismo, al comparar la información del Cuadro 3 y el Cuadro 4 se nota que existe una subutilización de las zonas con nivel de aptitud alto. Por tal motivo, de existir condiciones favorables, aun se pueden aprovechar esas zonas para la producción de café.

**Cuadro 4. Nivel de aptitud de las parcelas cultivadas con café de los municipios de interés para el proyecto.**

Municipio		Nivel de aptitud				Exclusiones	total
		Alto	Medio	Bajo	No apto		
Ángel Albino	Parcelas	495	2 191	765	14	119	3 584
Corzo	Superficie <sup>cc</sup>	1 218.0	5 561.0	1 888.4	16.9	230.6	8 914.9
Capitán Luis	Parcelas	255	1 024	0	0	23	1 302
Ángel Vidal	Superficie	435.0	1 848.0	0.0	0.0	43.3	2 326.2
Chicomuselo	Parcelas	1 203	2 321	155	2	55	3 736
	Superficie	1 839.7	2 559.3	87.1	3.0	30.2	4 519.1
La Concordia	Parcelas	329	2 190	117	2	43	2 681
	Superficie	1 328.2	7 119.7	196.1	3.7	44.3	8 692.0
Montecristo de Guerrero	Parcelas	365	1 394	10	5	62	1 836
	Superficie	679.6	3 022.6	30.0	12.0	76.0	3 820.2
Siltepec	Parcelas	631	3 378	147	0	380	4 536
	Superficie	561.7	3 009.1	110.4	0.0	291.4	3 972.5
Total	Parcelas	3 278	12 498	1 194	23	682	17 675
	Superficie	6 062.1	23 119.7	2 311.9	35.5	715.7	32 244.9

La superficie se reporta en hectáreas

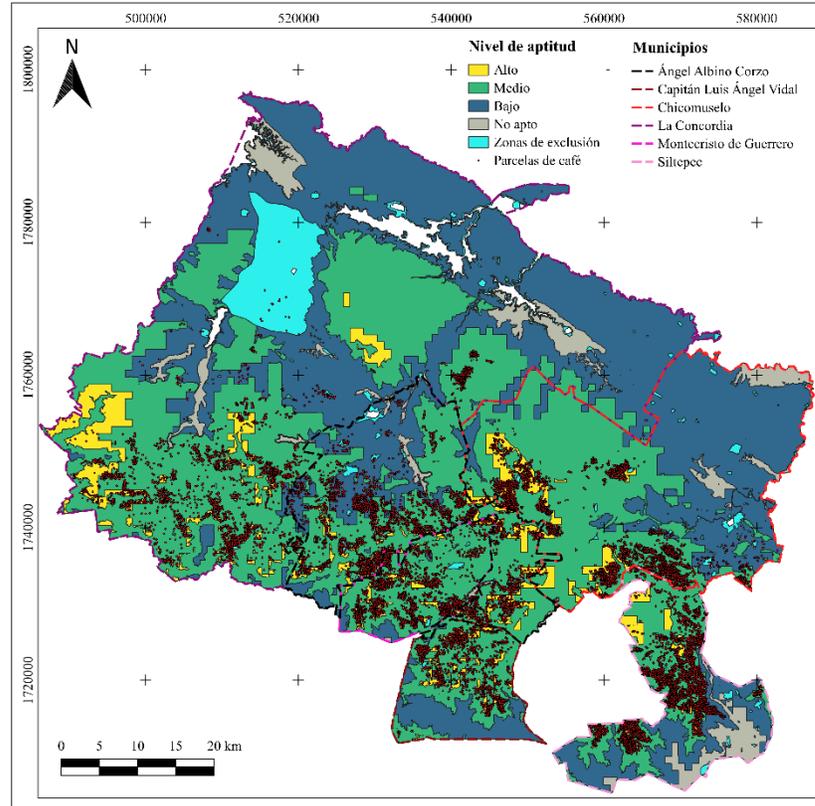


Figura 7. Mapa de aptitud para *C. arábica* en los municipios donde se desarrolla el proyecto “Resiliencia y estabilidad socioecológica de la cafecultura mexicana bajo sombra: hacia nuevos paradigmas”.

## CONCLUSIONES

La reclasificación de las variables temperatura, precipitación, textura del suelo y altitud, en función de los requerimientos del cultivo de *C. arábica*, con el método de suma ponderada, permitió definir los diferentes grados de aptitud de las tierras del estado de Chiapas para este cultivo. Se encontró que en la entidad existen 214 300 hectáreas con grado de aptitud alto, aunque solo se cultivan 25 045.6 ha (50 209 parcelas) de *C. arábica*. En consecuencia, se subutilizan estas tierras, y cerca del 90% de la superficie productora de café se encuentra en zonas con limitaciones para el máximo potencial del cultivo. De las variables analizadas la temperatura fue la más restrictiva, ya que con esta se encontró la menor superficie con un rango térmico óptimo para la producción de café (1 325 450 ha), por lo que limita en mayor medida la aptitud de las tierras en la zona de estudio.

## RECOMENDACIONES

En el presente estudio se utilizaron los requerimientos edafoclimáticos generales para la especie *C. arabica*, pero existen distintas variedades de ésta cuyos requerimientos pueden ser más específicos. Para superar este obstáculo, en futuros estudios se debe elaborar un mapa de aptitud en función de las variedades de interés.

## RECONOCIMIENTOS

El presente trabajo forma parte de un esfuerzo técnico y científico, realizado por el Colegio de Postgraduados, con el apoyo del CONACYT a través del FORDECYT-PRONACES mediante el financiamiento al proyecto 319069 “Resiliencia y estabilidad socioecológica de la cafecultura mexicana bajo sombra: hacia nuevos paradigmas”.

## LITERATURA CITADA

- Aceves-Navarro, L. A., B. Rivera-Hernández, A. Santillán-Fernández, A. Arrieta-Rivera, J. F. Juárez-López y R. Gutiérrez-Burón. 2020. Impacto del cambio climático en la adaptación del cultivo de café (*Coffea arabica* L.) en Tabasco, México. *Agroproductividad* 13:53-58.
- Avelino, J., M. Cristancho, S. Georgiou, P. Imbach, L. Aguilar, G. Bornemann, P. Länderach, F. Anzueto, A. J. Hruska and C. Morales. 2015. The coffee rust crises in Colombia and Central America (2008-2013): impacts, plausible causes and proposed solutions. *Food Security* 7:303-321. DOI: 10.1007/s12571-015-0446-9
- Bautista, C. E. A., E. V. Gutiérrez C., V. M. Ordaz C., M. C. Gutiérrez C. y L. Cajuste B. 2018. Sistemas agroforestales de café em Veracruz, México: identificación y cuantificación especial usando SIG, percepción remota y conocimiento local. *Terra Latinoamericana* 36: 261-273. DOI: <https://doi.org/10.28940/terra.v36i3.350>
- Benítez, G. E. 2014. Transmisión de los precios internacionales del café y su relación con los precios que reciben los productores de la Sierra Norte de Puebla. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Estado de México. 139 p.
- Bolaños-González, M.A., A. Libert-Amico, F. Paz-Pellat, V. Salas-Agular, G. Villalobos-Sánchez, E. Escamilla-Prado, A.S. Velázquez-Rodríguez y E.I. Morales-Reyes. 2021. Resiliencia y estabilidad socioecológica de la cafecultura Mexicana bajo sombra: hacia nuevos paradigmas. pp. 633-638. En: J.M. Hernández, M. Manzano, M. Bolaños y P. Ibarra (eds). *Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2021*. Texcoco, Estado de México, México.
- Bunn, C., P. Länderach, J. G. Pérez J., C. Montagnon and T. Schilling. 2015. Multiclass classification of agro-ecological zones for arabica coffee: an improved understanding of the impacts of climate change. *PLoS ONE* 10:e0140490. DOI: 10.1371/journal.pone.0140490

- Cerda, R., J. Avelino, C. A. Harvey, C.A., C. Gary, P. Tixier and C. Alline. 2020. Coffee agroforestry systems capable of reducing disease-induced yield and economic losses while providing multiple ecosystem services. *Crop Protection* 134:105149. DOI: 10.1016/j.cropro.2020.105149
- Chandrasekhar, A., Graham, F., & Viglione, G. 2023. Commodity Profile: Coffee. Carbon Brief Ltd. <https://interactive.carbonbrief.org/commodity-profile-coffee/>
- CONABIO. 2022. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México. <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/> (consulta octubre 10, 2022).
- Davis, A. P., J. Tosh, N. Ruch and M. F. Fay. 2011. Growing coffee: *Psilanthus* (Rubiaceae) subsumed on the basis of molecular and morphological data; implications for the size, morphology, distribution and evolutionary history of *Coffea*. *Botanical Journal of the Linnean Society* 167, 357–377. DOI: 10.1111/j.1095-8339.2011.01177.x
- Davis, A. P., H. Chadburn, J. Moat, R. O’Sullivan, S. Hargreaves and E. Nic L. 2019. High extinction risk for wild coffee species and implications for coffee sector sustainability. *Science Advances* 5(1), eaav3473. DOI:10.1126/sciadv.aav3473
- Fick, S. E. and R. J. Hijmans. 2017. WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 37: 4302-4315. DOI: 10.1002/joc.5086
- Geoweb Chiapas 3.0. 2022. Consulta de Información Geográfica y Estadística de Chiapas. <https://map.ceieg.chiapas.gob.mx/geoweb/> (Consulta: octubre 05, 2022)
- Gómez-Tosca, E. G., G. Alvarado-Castillo, G. Benítez, C. R. Cerdán-Cabrera y I. Estrada-Contreras. 2021. Distribución potencial actual y futura de *Coffea arabica* en la subcuenca Decozalapa, Veracruz, México. *Madera y Bosques* 27:e2722070. DOI: 10.21829/myb.2021.2722070
- González, G. H. A. y J. R. Hernández S. 2016. Zonificación agroecológica del *Coffea arabica* en el municipio Atoyac de Álvarez, Guerrero, México. *Investigaciones Geográficas* 90:105-118. DOI: dx.doi.org/10.14350/rig.49329
- Grüter, R., T. Trachsel, P. Laube and I. Jaisli. 2022. Expected global suitability of coffee, cashew and avocado due to climate change. *PLoS ONE* 17: e0261976. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0261976>
- INEGI. 2022. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México. <https://www.inegi.org.mx/app/geo2/elevacionesmex/> (Consulta: octubre 01, 2022).
- Jha, S., C. M. Bacon, S.M. Philpott, R. A. Rice, V. E. Méndez, P. Läderach. 2011. A Review of Ecosystem Services, Farmer Livelihoods, and Value Chains in Shade Coffee Agroecosystems. In: Campbell W., S. Lopez O. (eds) *Integrating Agriculture, Conservation and Ecotourism: Examples from the Field. Issues in Agroecology – Present Status and Future Prospectus*, vol 1. Springer, Dordrecht. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-94-007-1309-3\\_4](https://doi.org/10.1007/978-94-007-1309-3_4)
- Jonsson, M., I. A. Raphael, B. Ekbohm, S. Kyamanywa and J. Karungi. 2015. Contrasting effects of shade level and altitude on two important coffee pests. *Journal of Pest Science* 88: 281-287. DOI:10.1007/s10340-014-0615-1
- Kathurima, C., B. M. Gichimu, G. M. Kenji, S. Muhoho, and R. Boulanger. 2009. Evaluation of beverage quality and green vean physical characteristics of selected Arabica coffee genotypes in Kenya. *African Journal of Food Science* 3:365-371.

- Lamichhane, J.R. 2020. Editorial - Crop health in agroforestry systems: An introduction to the special issue. *Crop Protection* 134: 105187. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2020.105187>
- Länderach, P., T. Oberthür, S. Cook, M. Estrada I., J. A. Pohlen, M. Fisher and R. Rosales L. 2011. Systematic agronomic farm management for improved coffee quality. *Field Crops Research* 120: 321-329. DOI: 10.1016/j.fcr.2010.10.006
- López-Carmona, D., A. Gallegos, D. J. Palma-López, G. Martín-Morales, M. Barragán-Maravilla, G. Hernández-Vallecillo y F. Bautista. 2021. Selección de tierras para el cultivo de café en zonas con información escasa: análisis espacial del territorio y conocimiento local. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 8:e2419. DOI: 10.19136/era.a8n1.2419
- Manzano, S. L. R., N. B. Pineda J. y M. A. Gómez-Albores. 2019. Método de evaluación multicriterio. En: Buzai, G. D., Santana J., M. V., (eds.). *Métodos cuantitativos en geografía humana*. Impresiones Buenos Aires Editorial. Buenos Aires, Argentina. pp. 193-208.
- Medina-Meléndez, J. A., R. E. Ruiz-Nájera, J. C. Gómez-Castañeda, J. M. Sánchez-Yáñez, G. Gómez-Alfaro y O. Pinto-Molina. 2016. Estudio de producción de café (*Coffea arabica* L.) en la región Frailesca, Chiapas. *Ciencia Universidad Autónoma de Tamaulipas* 10: 33-43.
- Monterroso-Rivas, A. I., A. C. Conde-Álvarez, J. D. Gómez-Díaz y J. López-García. 2007. Vulnerabilidad y riesgo en agricultura por cambio climático en la Región Centro del Estado de Veracruz, México. *Zonas Áridas* 11: 47-60.
- Muchane, M. N., G. W. Sileshi, S. Gripenberg, M. Jonsson, L. Pumariño and E. Barrios. 2020. Agroforestry boosts soil health in the humid and sub-humid tropics: A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 295: 106899. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.106899>
- Oliva, V. A. y A. J. López. 2019. Crisis estructural: pobreza y migración en Chiapas. *Espacio I+D, Innovación más Desarrollo* VIII: 85-100. DOI: <https://doi.org/10.31644/IMASD.20.2019.a05>
- Parada-Molina, P. C., V. L. Barradas-Miranda, G. Ortiz C., J. Cervantes-Pérez, C. T. Cerdán C. 2022. Aptitud climática para *Coffea arabica* L. ante eventos climáticos extremos: Importancia de la cobertura arbórea. *Scientia Agropecuaria* 130:53-62. DOI: <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2022.005>
- Pérez, P. E., S. Bonilla C., J. A. M. Hernández S. y J. Partida S. 2011. Estrategia de mejoramiento de la producción cafetalera de la organización Campesinos Ecológicos de la Sierra Madre de Chiapas: caracterización de la bebida de café. *Revista de Geografía Agrícola* 46-47:7-18.
- Pérez-Portilla, E. y D. Geissert-Kientz. 2006. Zonificación agroecológica de sistemas agroforestales: el caso café (*Coffea arabica* L.) – palma camedor (*Chamaedorea elegans* Mart.). *Interciencia* 31:556-562.
- Pineda, S. L. D. y J. E. Suárez H. 2014. Elaboración de un SIG orientado a la zonificación agroecológica de los cultivos. *Revista Ingeniería Agrícola* 4:28-32.
- Quintana-Escobar, A. O., Iracheta-Donjuan, L., Méndez-López, I., & Alonso-Báez, M. 2016. Characterization of elite *Coffea canephora* genotypes for its tolerance to drought. *Agronomía Mesoamericana*, 28-1: 183–198. <https://doi.org/10.15517/am.v28i1.23874>

- Quiroz, A. U. G., A. I. Monterroso R., M. F. Calderón V. y A. G. Ramírez G. 2022. Aptitud de los cultivos de café (*Coffea arabica* L.) y cacao (*Theobroma cacao* L.) considerando escenarios de cambio climático. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida* 36:60-74. DOI: <http://doi.org/10.17163/lgr.n36.2022.05>
- Reyes, R. J., J. A. Rodríguez M., D. J. Pimienta T., M. A. Fuentes P., P. Marroquín M., A. Merino G. y J. F. Aguirre M. (2022). Diversidad y estructura de los árboles de sombra asociados a *Coffea arabica* L. en el Soconusco, Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 13:71. DOI: 10.29298/rmcf.v13i71.1191
- Rosas, A. J., E. Escamilla P. y O. Ruiz R. 2008. Relación de los nutrimentos del suelo con las características físicas y sensoriales del café orgánico. *Terra Latinoamericana* 26: 375-384.
- Ruiz-García, P., J. D. Gómez-Díaz, E. Valdés-Velarde y A. I. Monterroso-Rivas. 2020. Sistemas agroforestales de café como alternativa de producción sustentable para pequeños productores de México. *Ra Ximhai* 16:137-158. DOI: [doi.org/10.35197/rx.16.04.2020.07.pr](https://doi.org/10.35197/rx.16.04.2020.07.pr)
- SAGARPA. 2005. Plan Rector del Sistema Producto Café en México. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, México. <https://sursureste.org.mx/wp-content/uploads/2022/08/Plan-Rector-Nacional-del-Sistema-Producto-Cafe-2005.pdf> (Consulta: 15 noviembre, 2022).
- Schroth, G., P. Laderach, J. Dempewolf, S. Philpott, J. Hagggar, H. Eakin, T. Castillejos, J. García M., L. Soto P., R. Hernández, A. Eitzinger and A. Ramírez-Villegas. 2009. Towards a climate change adaptation strategy for coffee communities and ecosystems in the Sierra Madre de Chiapas, Mexico. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 14:605-625. DOI: 10.1007/s11027-009-9186-5
- SIAP. 2021. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Cierre de la producción agrícola por estado. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, México. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> (Consulta: septiembre 21, 2022).
- Soto, F., T. Tejada, A. Hernández y R. Florido. 2001a. Metodología para la zonificación agroecológica de (*Coffea arabica*, L) en Cuba. *Cultivos Tropicales* 22:51-53.
- Soto, F., A. Vantour, A. Hernández, A. Planas, A. Figueroa, P. O. Fuentes, T. Tejada, M. Morales, R. Vázquez, E. Zamora, H. M. Alfonso, L. Vázquez y P. Caro. 2001b. La zonificación agroecológica del *Coffea arabica* L. en Cuba. *Macizo montañoso Sagua-Nipe-Baracoa. Cultivos Tropicales* 22: 27-21.
- Suárez V., G. M., C. H. Avendaño A., M. A. Hernández R., L. A. Rodríguez L., P. Estrada S. y M. A. Salas M. 2021. Zonificación edafoclimática del cultivo de cacao en el estado de Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 12: 629-641.
- van Noordwijk, M. ed. 2019. Sustainable Development Through Trees on Farms: Agroforestry in its Fifth Decade. World Agroforestry (ICRAF). Bogor, Indonesia.
- van Rikxoort, H., G. Schroth, P. Läderach and Rodríguez-Sánchez, B. 2014. Carbon footprints and carbon stocks reveal climate-friendly coffee production. *Agronomy for Sustainable Development* 34: 887-897. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0223-8>
- Yilmaz, B., Acar-Tek, N., and Sözlü, S. 2017. Turkish cultural heritage: A cup of coffee. *Journal of Ethnic Foods* 4(4): 213-220. <https://doi.org/10.1016/j.jef.2017.11.003>