

## 8. Dinámica espacial entre *Coffea arabica* Linneo y *Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner bajo el cambio climático



ISMAEL QUIROZ GUERRERO  
JUAN GUILLERMO CRUZ CASTILLO

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.296.08>

### Resumen

El agroecosistema café es sensible a la variación climática debido a la dependencia del cafeto respecto a las precipitaciones. La producción de café se distribuye principalmente en zonas geográficamente expuestas al aumento de la temperatura. Existen estudios que indican que el área actual de cultivo de *C. arabica* será afectada severamente debido a la reducción de las condiciones ambientales favorables para su cultivo. En el presente estudio, se llevó a cabo una modelación del impacto del cambio climático y su efecto en la distribución de *C. arabica* y *C. canephora*. Se modeló con base en proyecciones climáticas del periodo 2021-2041 para el modelo climático global Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6). Para *C. arabica*, se muestra un aumento en la superficie con condiciones poco favorables para su producción. En el Municipio de Tezonapa, Veracruz, para el caso de *C. canephora* durante el periodo 2021-2041, el cambio climático generará una disminución del área propicia para este plantío y lo repliega con dirección a las laderas montañosas.

**Palabras clave:** *producción de café, cambio climático, Veracruz.*

---

\* Doctorado en Ciencias, especialista en Agroecosistemas Tropicales. Profesor, Universidad Veracruzana. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4687-3221>

\*\* Doctor en Ciencias Hortícolas. Profesor, Universidad Autónoma Chapingo (CRUO). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8687-6235>

## Introducción

El cambio climático es definido como la variación del estado del clima identificable en las variaciones del valor medio o en la variabilidad de sus propiedades que persiste durante largos periodos, generalmente decenios o periodos más largos (Grupo Intergubernamental de Expertos Sobre Cambio Climático [IPCC, por sus siglas en inglés], 2013). El cambio climático puede deberse a procesos internos naturales o a forzamientos externos tales como modulaciones de los ciclos solares, erupciones volcánicas o cambios antropógenos persistentes por la composición de la atmósfera o del uso del suelo (IPCC, 2013).

El cambio climático también implica un conjunto de riesgos relacionados con el clima y su aumento significativo en un contexto de medios de subsistencia y de inseguridad alimentaria. Los grupos sociales históricamente desfavorecidos como pueblos indígenas o comunidades dependientes de la agricultura de subsistencia son altamente vulnerables a los efectos del cambio climático. En el contexto de los agroecosistemas, el aumento de 2°C remite a una reducción de la productividad de alimentos de mayor consumo como el maíz, el trigo y el arroz, cuya disminución será significativa en países de África, el sureste asiático, América Central y América del Sur (IPCC, 2013).

Entre la diversidad de agroecosistemas de México, el del café sobresale por la relación que guarda con pueblos originarios y zonas de alta riqueza biocultural. Las principales especies de café cultivadas son *C. arabica* (arábiga) y *C. canephora* (robusta); la primera sobresale por sus características organolépticas en taza, y la segunda es aprovechada principalmente en la industria del café soluble. En el periodo 2017-2021, México produjo 899 000 toneladas de café cereza; del total, Chiapas, con 41 % de la producción, es el principal estado productor ; seguido por el estado de Veracruz, con 24 %, y el estado de Puebla, con 15.3 % (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural [Sader], 2023). En el estado de Veracruz, el municipio de Tezonapa es el principal productor de café y, a nivel nacional, es de los municipios con mayor rendimiento con 32 000 toneladas (Servicio de Información Agropecuaria y Pesquera [SIAP], 2021). Cabe destacar que el municipio de

Tezonapa, por sus condiciones geográficas, permite el cultivo de las dos especies principales de café de México (Sader, 2023).

El agroecosistema café es sensible a la variación climática debido a la dependencia del cafeto respecto a las precipitaciones. La producción de café se distribuye principalmente en zonas geográficamente expuestas al aumento de la temperatura, por lo que existe el riesgo de que esas áreas ya no sean adecuadas para su cultivo en la medida en que aumente esta variable climática. Se estima que en los próximos 30 años 75 % de la superficie cultivada con café arábigo y 63 % de la superficie cultivada con robusta se pierda como consecuencia del cambio climático (Sachs et al., 2019). En el caso de Latinoamérica, se considera una reducción de 55 a 62 % de la superficie con café arábigo, principalmente, en áreas con altitud de entre 400 y 700 msnm; sin embargo, existe la posibilidad de que las tierras altas (mayores a 1800 msnm) puedan compensar las pérdidas entre 9 y 13 % de la superficie perdida en áreas con altitud más baja (Sousa et al., 2019).

Otros estudios, como el realizado por Schroth et al. (2015), coinciden en que el área actual de cultivo de *C. arabica* (la especie de café considerada de mayor calidad en taza) será afectada severamente de las reducidas condiciones ambientales favorables para su cultivo. A nivel mundial, países como Indonesia podrían aumentar la producción de café debido a la aparición de nuevas áreas propicias (Schroth et al., 2015).

Ante los escenarios del cambio climático, el agroecosistema café deberá adaptarse a través de ajustes y cambios en los procesos, prácticas y estructuras para moderar los daños potenciales, o para beneficiarse de ellos, con la participación de las instituciones de gobierno y las organizaciones de productores (United Nations Framework Convention on Climate Change [UNFCCC], 2023). Alcanzar la adaptación del agroecosistema permitirá la aparición de la resiliencia que, ante un escenario de cambio, permita al agroecosistema café permanecer dentro de un dominio de estabilidad limitado por umbrales críticos, los cuales podrían estar integrados, principalmente, por variables como la temperatura y la precipitación (Folke, 2006).

Para abordar la dinámica de cambio de un sistema es necesario conceptualizar al agroecosistema con una estructura que pueda ser operacionalizado de la siguiente manera (Walker et al., 2004):

- **Latitud.** Es la cantidad máxima que se puede cambiar al sistema antes de perder su capacidad de recuperación. Básicamente, es el ancho de la cuenca de atracción. Una cuenca ancha significa que el sistema puede experimentar un mayor número de estados sin alcanzar la transformación.
- **Resistencia.** Es la facilidad o dificultad para cambiar el sistema. Está relacionada con la topología de la cuenca. Las cuencas profundas de atracción indican que se requieren mayores fuerzas o perturbaciones para cambiar el estado actual a otro.
- **Precariedad.** Es la trayectoria actual del sistema, la cual lo ubica respecto a un límite o “umbral” que, de ser rebasado, dificulta o imposibilita la recuperación (PR).
- **Panarquía.** Proceso de influencia sobre el sistema causado por los estados y la dinámica de los (sub) sistemas, en escalas por encima y por debajo de la escala de interés (PA) (Walker et al., 2004).

Actualmente, el agroecosistema café permanece en un estado de equilibrio promovido por el productor, quien busca la homeostasis del sistema a través del control de plagas, enfermedades, arvenses o la nutrición vegetal, por mencionar a algunos (Dekkers, 2015). Sin embargo, en el exterior de ese estado existen una cantidad determinada de conductores potenciales que podrían desplazar la condición actual del agroecosistema a una nueva (Gunderson, 2008; Walker et al., 2004). El cambio climático actúa como conductor a través de la alteración de la temperatura y la precipitación, lo que ejerce una presión a nivel ambiental con el resultado de dirigir al agroecosistema café ante un escenario de cambio en donde se transformaría, de no presentarse la resiliencia, en un nuevo sistema de producción basado en otro cultivo que, a su vez, deberá estar adaptado a las nuevas condiciones ambientales (Gunderson, 2008; Walker et al., 2004).

En el contexto anterior se origina una dinámica de desplazamiento tanto del área ocupada por *C. arabica* como la de *C. canephora*, lo que ocasiona que se modifiquen las áreas de distribución actual de las especies de café. Es por esto que el objetivo del presente trabajo fue analizar la dinámica entre *C. arabica* y *C. canephora* bajo el modelo climático global Centro Euromediterráneo sobre Cambio Climático-Earth System Model 2

(CMCC-ESM2) para el periodo 2021-2041, en la trayectoria socioeconómica compartida 585.

## Metodología

Para el tema de la modelación del impacto del cambio climático y su efecto en la distribución de *C. arabica* y *C. canephora* no se consideró colocar una ecuación o fórmula, sobre todo en virtud de que en el caso de Maxent, éste es un *software* para computadora que modela nichos y distribución de especies que aplica técnicas de *machine learning* también llamado modelado de máxima entropía y que es ampliamente utilizado en literatura científica. En este sentido, el principio del modelado estuvo enfocado en detectar los cambios de distribución basados en las condiciones climáticas existentes, incluidas las áreas de distribución potencial y las preferencias climáticas actuales de la especie bajo condiciones climáticas futuras. Se modeló el impacto del cambio climático con base en proyecciones climáticas del periodo 2021-2041 para el modelo climático global CMIP6 (Worldclim, 2022). Se verificó que los datos de condiciones actuales y futuras presentaran los mismos parámetros de propiedades ráster, resolución y vértices. Los datos climáticos fueron extraídos de la base de datos futura de clima mundial e incluyen 19 variables bioclimáticas diarias, mensuales y anuales que corresponden a la trayectoria socioeconómica compartida 585 (ssp, por sus siglas en inglés) la cual describe una tendencia basada en el uso de combustibles fósiles con altos desafíos para la mitigación y bajos desafíos para la adaptación), así como datos combinados entre variables y de estacionalidad. Cada ráster analizado presenta una resolución de 30 s que equivale a 1 km<sup>2</sup> (Scheldeman y Zonneveld, 2011; Worldclim, 2022).

Aunado a lo anterior, se estableció una línea base para caracterizar la distribución actual con 19 variables climáticas que fueron archivadas en formato *\*asc*. Cada variable analizada contiene registros hechos en estaciones meteorológicas durante los 30 años comprendidos en el periodo 1970-2000 (Fick y Hijmans et al., 2017). Para determinar la distribución actual y potencial futura de *C. arabica* y *C. canephora*, los datos meteorológicos fueron modelados mediante el software Maxent y su algoritmo de máxima entropía (Schroth et al., 2015; Scheldeman y Zonneveld, 2011).

Dicha modelación fue realizada con base en la identificación de ambientes similares a aquellos donde se cultiva *C. arabica* y *C. canephora*, como áreas de posible incidencia. Los datos de ocurrencia de *C. arabica* y *C. canephora* fueron obtenidos de 34 bases de datos pertenecientes a herbarios, colecciones botánicas y estudios florísticos. También fueron utilizados 52 registros de *C. arabica* y 75 registros para *C. canephora*, ambos del área de estudio. Con los datos de ocurrencia de *C. arabica* y *C. canephora* se realizó un análisis de presencia y ausencia potencial basado en la interacción con las 19 variables ambientales. En el área de estudio se calcularon las similitudes entre los valores ambientales, en cada celda específica, y los valores del nicho de *C. arabica* (Scheldeman y Zonneveld, 2011).

Los resultados fueron proyectados en Q-gis, versión 3.28, y se determinaron isóneas de la distribución de los valores de ocurrencia con valores de 0 a 1, donde los valores cercanos a cero (0) son negativos o de baja probabilidad de ocurrencia ambiental de las especies de café, mientras que los valores cercanos a uno (1) son áreas con alta probabilidad de ocurrencia ambiental para las especies de café (Scheldeman y Zonneveld, 2011).

## **Análisis estadístico**

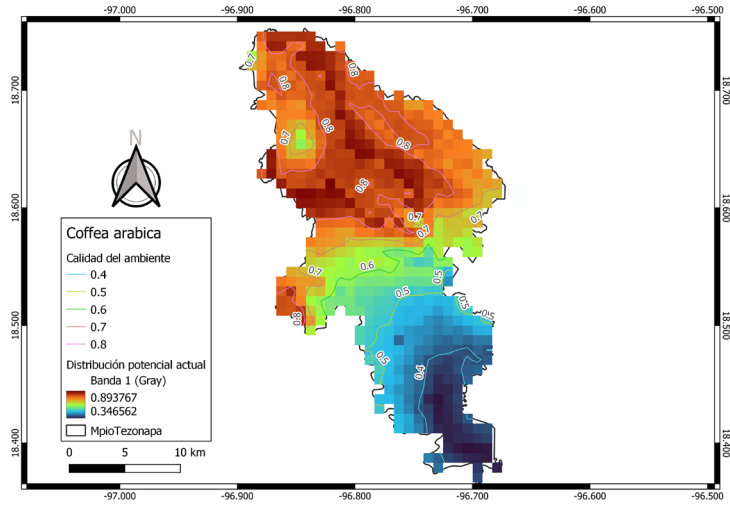
Se utilizaron los valores numéricos distribuidos entre 0-1 de cada pixel proyectado en la cartografía y mediante el empalme de la capa correspondiente al escenario considerado como línea base de clima (1970-2000) y el escenario ssp 585 para el periodo 2021-2041 se obtuvieron las diferencias entre los dos escenarios, las cuales fueron representadas en kilómetros cuadrados.

## **Resultados y discusiones**

### **Distribución actual y potencial futuro de *Coffea arabica***

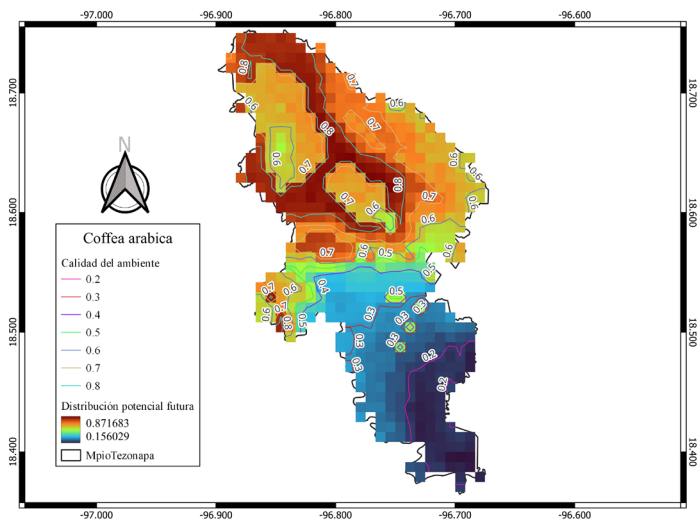
Las condiciones ambientales para la distribución actual de *C. arabica* se encuentran, principalmente, en la zona montañosa del municipio de Te-

Figura 8.1. Distribución actual de *C. arabica* en el municipio de Tezonapa con datos meteorológicos entre los años 1950-2000



Fuente: Elaboración propia.

Figura 8.2. Condiciones ambientales para el cultivo de *C. arabica* bajo el escenario de cambio climático SPP585 para el periodo 2021-2041



Fuente: Elaboración propia.

zonapa, Veracruz, entre los 400 y hasta los 1 580 msnm. Las condiciones que la altitud confiere respecto a la temperatura y la humedad favorecen un ambiente adecuado para el desarrollo de esta especie de café. La frecuencia de condiciones con valores positivos ambientales, en un rango de 0.5 a 0.8 para *C. arabica*, fue de 489 km<sup>2</sup>, y negativo en una superficie de 155 km<sup>2</sup> (figura 8.1).

En relación con las condiciones futuras (2021-2040), en el municipio se refleja una disminución del área propicia para el cultivo de *C. arabica*. Bajo el escenario 585, las condiciones de precipitación y temperatura cambian; esto tiene como resultado un movimiento en el área, principalmente bajo condiciones ambientales propicias, con valores de 0.8, en una superficie de 101 km<sup>2</sup>; de 0.7, en una superficie de 80 km<sup>2</sup>; de 0.6, en 161 km<sup>2</sup>, y de 0.5, en 70 km<sup>2</sup>. Para el área de estudio se estima una disminución de 12 % de la superficie con valores positivos, de 0.5 a 0.8, para el periodo 2021-2041 (figura 8.2).

Los resultados obtenidos sobre los cambios observados en el periodo 2021-2041 remitirán a otros efectos del cambio climático; puesto que, en principio, el café arábigo requiere de sombra, la cual es imprescindible para una buena cosecha. Con frecuencia, el cultivo de arábigo se traslapa con el bosque mesófilo de montaña; las especies arbóreas que integran la estructura de este bioma reducen su distribución actual a causa del cambio climático, principalmente, por la reducción de la humedad (Estrada-Contreras et al., 2015). La superficie de cobertura de bosque mesófilo de montaña perdida se estima en 49 % para el año 2050 (Estrada-Contreras et al., 2015). La sombra en los cafetales es proporcionada principalmente por árboles nativos (Estrada-Contreras et al., 2015), por lo que el cambio climático, al ejercer presión sobre la estructura arbórea, afectará también la distribución de árboles de sombra que actualmente se utilizan en los cafetales y que al no estar presentes exponen a los cafetos a una mayor cantidad de radiación, con la consecuente disminución de calidad de los atributos sensoriales del café (Ahmed et al., 2021). Los árboles de sombra confieren al cultivo de café una estructura que aprovechan otras plantas y animales; lo cual explica una biodiversidad alta asociada al cafetal y una protección a eventos meteorológicos extremos como sequías, ventiscas y lluvias torrenciales. La estructura arbórea también permite evitar problemas de erosión de suelo y de

disminución de fertilidad, mientras que aumenta la tasa de infiltración y retención de agua en el suelo, lo que beneficia directamente a los cafetos establecidos (Acosta-Alba et al., 2019; Muñoz-Villers et al., 2020).

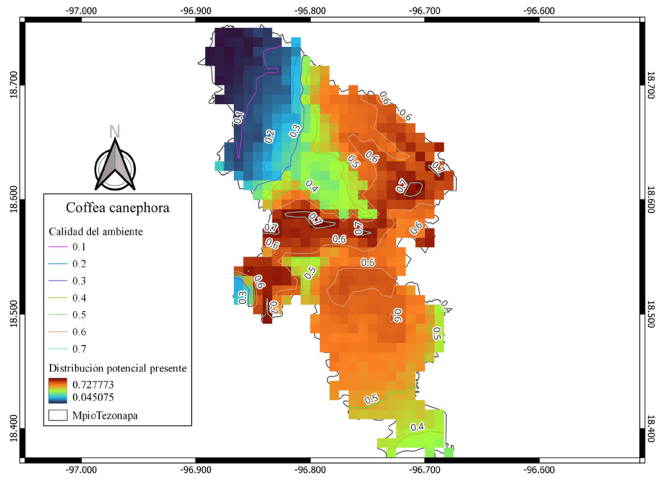
El cambio climático pone en riesgo la calidad de las propiedades organolépticas del café debido a que esta característica aumenta cuando los cafetos se cultivan en altitudes iguales o superiores a los 1 200 msnm en donde se pueden obtener puntajes de catación iguales o mayores a 88 de calidad en taza; sin embargo, dicha calidad está asociada al proceso de maduración lenta del fruto de café, por lo que los cambios en los patrones de temperatura pueden alterar esta característica (Figueira et al., 2015; Guevara-Sánchez et al., 2019).

### **Distribución actual y potencial futura de *Coffea canephora***

La distribución actual de *C. canephora* se realiza principalmente en la zona del valle y, de manera parcial, en el área montañosa del municipio de Tezonapa, entre los 100 y hasta los 700 msnm. Las condiciones del relieve confieren recursos suficientes que favorecen un ambiente positivo para el desarrollo del café robusta. El área con condiciones y valores ambientales positivos para *C. canephora*, en el rango de 0.8 a 0.5, fue de 385 km<sup>2</sup>. El área con baja probabilidad de condiciones ambientales favorables, con un rango de 0.0 a 0.04, para el café robusta fue de 259 km<sup>2</sup> (figura 8.3).

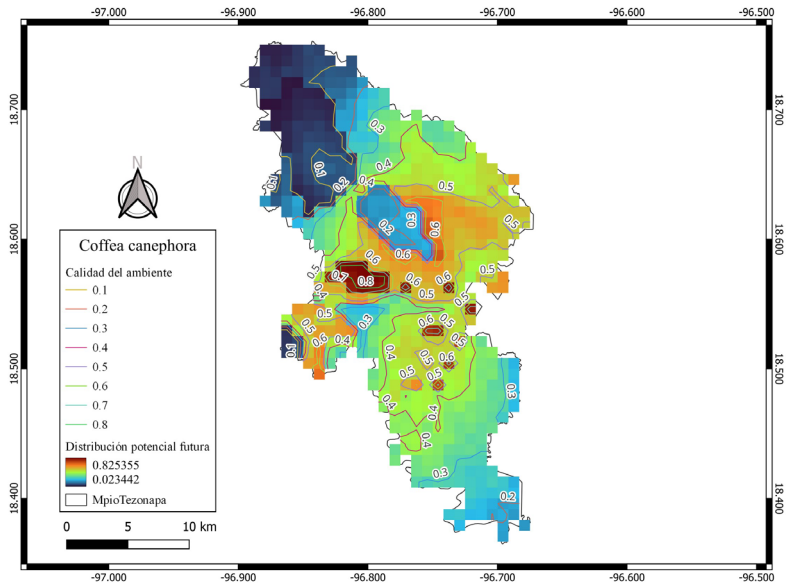
En el periodo 2021-2041, la frecuencia de valores positivos para el desarrollo de *C. canephora* fue de 138 km<sup>2</sup>, mientras que los valores negativos fueron de 506 km<sup>2</sup>, por lo que se tuvo un aumento de la superficie con una baja probabilidad de condiciones favorables para la especie (figura 8.4). El modelado de los efectos del cambio climático en la región mostró una disminución de 38 % de la superficie en condiciones favorables para el crecimiento de *C. canephora*. La disminución del área ambientalmente adecuada para el café robusta pone en riesgo el modo de vida de productores que dependen de este cultivo y de sus recursos naturales, como el suelo, en virtud de que esta especie de café no utiliza árboles de sombra y presenta una tendencia de manejo agronómico de monocultivo, lo que la hace vulnerable ante sequías o precipitaciones extremas, que afectan negativamente

Figura 8.3. Distribución potencial de *C. canephora* en el municipio de Tezonapa con datos meteorológicos entre los años 1950-2000



Fuente: Elaboración propia.

Figura 8.4. Distribución potencial de *C. canephora* para el periodo 2021-2041 bajo el escenario de cambio climático SSP585



Fuente: Elaboración propia.

la fisiología, la floración y la fructificación del café, aunado a la disminución de la productividad (DaMatta y Ramalho, 2006; Silva et al., 2013).

Actualmente, el café robusta es aprovechado para la obtención de café soluble, cuya calidad es menor a la alcanzada por *C. arabica*, por lo que el rendimiento por hectárea es la principal meta de los productores. Existe la posibilidad en el futuro que en zonas aptas para el cultivo de *C. canephora* se logre obtener un buen desempeño debido a que esa especie es resistente a enfermedades, sequías y calor. Sin embargo, los cambios observados en las condiciones ambientales que permiten la ocurrencia de *C. robusta* ocasionarán que los productores establezcan una serie de estrategias de adaptación ante las nuevas condiciones del clima.

En el área en donde se presentaron condiciones ambientales modificadas por el cambio climático para *C. arabica* y *C. canephora* existe el riesgo de que los productores no tengan la capacidad de adaptarse a las nuevas condiciones climáticas; lo que representa una desventaja ante la situación normal de falta de oportunidades. El cambio climático también aumenta el riesgo de la presencia de enfermedades emergentes que amenazan la salud de los productores (Pradhan y Narayanan, 2020) y la de los cafetos, así como un incremento en la incidencia de plagas (Grageda et al., 2014). Las diferentes aristas tocadas por el cambio climático presentan la característica de promover la migración forzada o migración climática que, a un ritmo constante, generará áreas extensas con refugiados climáticos (Pradhan y Narayanan, 2020; Trummer et al., 2023). Sin embargo, existen estrategias de adaptación que los productores pueden gestionar como: el desplazamiento de las fechas de siembra de variedades resistentes a la sequía, aplicar técnicas de conservación de agua y suelo, establecer riego, fomentar el policultivo, incrementar la densidad de árboles nativos de sombra e incrementar la aplicación de técnicas basadas en la agroecología, lo que permitirá maximizar el aprovechamiento de los recursos que el medio les provee (Macheke et al., 2022). Aunado a lo anterior, es posible contribuir a la resiliencia del sistema de producción de café mediante el desarrollo de nuevas capacidades en los productores como: la autoorganización social, una mayor comunicación de experiencias entre productores, el aprendizaje reflexivo, la preservación y fomento de la memoria histórica reciente, la integración del

valor agregado en la cosecha, una mayor interdependencia local y buscar menor dependencia externa (Cabell y Oelofse, 2012).

## Conclusiones

El modelado del cambio climático hace posible conocer la dinámica que se genera como resultado del cambio en las condiciones ambientales. En el área de estudio, la distribución potencial futura de *C. arabica* se modifica respecto a la distribución actual, presentándose un aumento en la superficie con condiciones poco favorables para el crecimiento de este tipo de café. Cabe destacar que en el periodo 2021-2041, en el área con condiciones favorables para el crecimiento del *C. arabica*, también se pueden alterar algunas características sensoriales asociadas a la calidad del café.

En cuanto a la especie *C. canephora*, los estados ambientales favorables en la actualidad permiten que existan las condiciones para su cultivo, pero durante el periodo 2021-2041, el cambio climático generaría una disminución del área propicia para este plantío, replegando su cultivo con dirección a las laderas montañosas del municipio; una desventaja asociada a este cultivo es que en la actualidad se establece sin la protección de árboles de sombra debido a que requiere de sol directo para aumentar su producción; esto aumenta significativamente el nivel de exposición y de sensibilidad ante eventos meteorológicos extremos derivados del cambio climático. El área del municipio afectada por el cambio climático tanto para *C. arabica* como para *C. canephora* podría promover, ante la falta de oportunidades, decida la migración de los productores en búsqueda de mejores oportunidades.

## Referencias

- Acosta-Alba, I., Boissy, J., Chia, E., y Andrieu, N. (2019). Integrating diversity of smallholder coffee cropping system in environmental analysis. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 25, 252-262.
- Ahmed, S., Brinkley, S., Smith, E., Warne, T., Anderson, E., Dusen, N. V., Giuliano, P., Lo-nescu, K. E., y Cash, S. (2021). Climate change and coffee quality: systematic review on the effects on environmental and management variation on secondary meta-

- bolites and sensory attributes of *Coffea arabica* and *Coffea canephora*. *Frontiers in Plant Science*, 12, 1-20.
- Cabell, J. F., y Oelofse, M. (2012). An indicator framework for assessing agroecosystem resilience. *Ecology and Society*, 17(1), 18. <http://dx.doi.org/10.5751/ES-04666-170118>
- DaMatta, F., y Ramalh, J. (2006). Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 18, 55-81.
- Dekkers, R. (2015). *Applied system theory*. Springer.
- Estrada-Contreras, I., Equihua, M., Catillo-Campos, G., y Rojas, S. (2015). Cambio climático y sus efectos en la vegetación de Veracruz, México: una aproximación mediante modelado de nicho ecológico. *Acta Botánica Mexicana*, 112, 73-93.
- Fick, S., y Hijmans, R. (2017). WorldClim 2: New 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 37(12), 4302-4315.
- Figueira, R., Ribeiro, D., Cirilo A., y Meira, B. (2015). Discrimination of the sensory quality of the *Coffea arabica* L. (cv. Yellow Bourbon) produced in different altitudes using decision trees obtained by the CHAID method. *Journal of Science*, 96(10), 3543-3551.
- Folke, C. (2006). Resilience: the emergence of a perspective for social-ecological systems analyses. *Global Environmental Change*, 16(3), 253-267.
- Guevara-Sánchez, A., Águila, B. D., Saavedra, R., López, O., y Jackson, J. (2019). Efecto de la altitud en la calidad del café (*Coffea arabica* L.): comparación entre secado mecánico y tradicional. *Scientia Agropecuaria*, 10, 505-510.
- Gunderson, L. (2008). Panarchy. En *Encyclopedia of Ecology* (Vol. 1, pp. 612-616).
- Intergovernmental Pannel on Climate Change (2013). Anexo I: Glosario. En J. B. R. Matthews (Ed.), *Calentamiento global de 1,5 °C*. IPCC.
- Macheka, L., Mudiwa, T., Chopera, P., Nyamwanza, A., y Jacobs, P. (2022). Linking climate change adaptation strategies and nutrition outcomes: A conceptual framework. *Food and Nutrition Bulletin*, 43(2), 201-212. <https://doi.org/10.1177/03795721221078362>
- Muñoz-Villers, L., Geris, J., Alvarado, B., Holwerda, F., y Dawson, T. (2020). Coffee and shade trees show complementary use of soil water in a traditional agroforestry ecosystem. *Hydrology and Earth Systems Sciences*, 24(4), 1649-1668.
- Pradhan, K., y Narayanan, K. (2020). Does climatic risk induce labor migration? Evidence from semi-arid tropics region of India. *Journal of Public Affairs*, 22(1), 1-15.
- Sachs, J., Cordes, K., Rising, J., Toledano, P., y Mailing, N. (2019). Ensuring economic viability and sustainability coffee production. *Columbia Center on Sustainable Investment*. [https://scholarship.law.columbia.edu/sustainable\\_investment\\_staffpubs/53](https://scholarship.law.columbia.edu/sustainable_investment_staffpubs/53)
- Scheldeman, X., y Zonneveld, M. van (2011). *Manual de capacitación en análisis espacial de diversidad y distribución de plantas*. Bioversity International.
- Schroth G., Landerach, D., Blackburn C., Neilson, J., y Bunn, C. (2015). Winner or loser of climate change? A modeling study of current and future climatic suitability of Arabica coffee in Indonesia. *Regional Environment Change*, 15, 1473-1482.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2023). *Cultivo de café en México*. Sader. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/cultivo-de-cafe-en-mexico>

- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2021). *Avances de siembras y cosechas*. SIAP. [https://nube.agricultura.gob.mx/avance\\_agricola/](https://nube.agricultura.gob.mx/avance_agricola/)
- Silva, E., Cavatte, P., Morais, L., Medina, E., y DaMatta, F. (2013). The functional divergence of biomass partitioning, carbon gain and water use in *Coffea canephora* in response to the water supply: implications for breeding aimed at improving drought tolerance. *Environmental and Experimental Botany*, 87, 49-57.
- Sousa, K. de, Zonneveld, M. van, Holmgren, M., Kindt, R., y Ordoñez, J. (2019). The future of coffee and cocoa agroforestry in a warmer Mesoamerica. *Scientific Reports*, 9, 1-9. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-45491-7>
- Trummer, U., Ali, T., Mosca, D., Mukuruva, B., Mwenyango, H., y Novak-Zezula, S. (2023). Climate change aggravating migration and health issues in African context: the views and direct experiences of a community of interest in the field. *Journal of Migration and Health*, 7, 1-6.
- United Nations Framework Convention on Climate Change (2023). *Introduction: Adaptation and resilience*. UNFCCC. <https://unfccc.int/topics/adaptation-and-resilience/the-big-picture/introduction>
- Walker B., C. S. Holling, S. R. Carpenter, y Kinzig, A. (2004). Resilience, Adaptability and Transformability in Social-ecological Systems. *Ecology and Society*, 9(2).
- WorldClim (s.f.). *Global climate and weather data*. <https://www.worldclim.org/data/index.html>