



Review [Revisión]

IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LA PRODUCCIÓN DE CAFÉ †

[IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON COFFEE PRODUCTION]

Jesús Guerrero-Carrera¹, José Luis Jaramillo-Villanueva^{1*},
Jorge Mora-Rivera², Ángel Bustamante-González¹, Samuel Vargas-López¹
and Néstor Chulim-Estrella¹

¹ *Colegio de Postgraduados, Campus Puebla. Km. 125.5 carretera federal México-Puebla (Boulevard Forjadores de Puebla), C.P. 72760, Puebla, Puebla, México. E-mail: jaramillo@colpos.mx*

² *Tecnológico de Monterrey. Campus Ciudad de México. Calle del Puente #222 Col. Ejidos de Huipulco, Tlalpan C.P. 14380, D.F. México.*

**Corresponding author*

SUMMARY

Background. Exist various studies of the impact of climate change on coffee agroecosystems, which are addressed under different approaches that suggest direct and indirect effects on coffee production. **Objective.** Analyze the main works that have been carried out on the impact of climate change on coffee production based on vulnerability, changes in aptitude and suitability for production, pests and diseases, perception of producers and adaptation measures that have been implemented or proposed to deal with this phenomenon. **Implications.** In general, the results of the investigations glimpse a highly negative panorama for the production of coffee, since the changing climate will impose a greater pressure on this production system with direct consequences on the livelihoods of the producer. **Conclusion.** Due to the socioeconomic importance that this activity represents for the coffee producing countries and the complexity of the factors that influence the problem, more applied research is needed, which contributes to a better understanding of the problem and helps in the identification of risks and threats to generate timely adaptation and mitigation strategies to the potential impacts of climate change.

Keywords: Coffee; Climate change; Vulnerability; Adaptation; Perception; Migration.

RESUMEN

Antecedentes. Existen diversos estudios del impacto del cambio climático sobre los agroecosistemas cafetaleros, los cuales se abordan bajo diferentes enfoques que sugieren afectaciones directas e indirectas sobre la producción de café. **Objetivo.** Analizar los principales trabajos de investigación que se han realizado sobre el impacto del cambio climático en la producción de café en función de la vulnerabilidad, cambios de aptitud e idoneidad para la producción, plagas y enfermedades, percepción de los productores y las medidas de adaptación que se han implementado o propuesto para enfrentar este fenómeno. **Implicaciones.** En general, los resultados de las investigaciones vislumbran un panorama altamente negativo para la producción de café, pues el clima cambiante impondrá una mayor presión sobre este sistema de producción con consecuencias directas en los medios de vida del productor. **Conclusión.** Por la importancia socioeconómica que representa esta actividad para los países productores de café y la complejidad de los factores que influyen en la problemática, es necesaria mayor investigación aplicada que contribuya a entenderla mejor y coadyuve en la identificación de riesgos y amenazas para generar estrategias oportunas de adaptación y mitigación a los impactos potenciales del cambio climático.

Palabras clave: Café; Cambio climático; Vulnerabilidad; Adaptación; Percepción; Migración.

† Submitted April 17, 2020 – Accepted May 28, 2020. This work is licensed under a CC-BY 4.0 International License.
ISSN: 1870-0462.

INTRODUCCIÓN

El café es el cultivo tropical de exportación más valioso del mundo (Craparo *et al.*, 2015), se produce en más de 50 países, los cuales se encuentran en vías de desarrollo (Lewin *et al.*, 2004). Aproximadamente 25 millones de familias producen y comercializan éste producto, en su gran mayoría caracterizados como pequeños agricultores (Lewin *et al.*, 2004; DaMatta *et al.*, 2007).

En México, los bajos ingresos que se perciben por la producción de café no permite mejorar las condiciones socioeconómicas de los productores (Ortega y Ramírez, 2013; Robles, 2011). La pérdida de fertilidad de los suelos, los bajos precios internacionales, la descapitalización del sector, la dificultad para acceder al crédito, los altos costos de los insumos y el encarecimiento de la mano de obra derivado de la emigración por consecuencia de los factores mencionados, han incrementado los costos de producción (Robles, 2011).

La producción de café se concentra principalmente en zonas aledañas a los trópicos (Jürgen y Janssens, 2010), estas regiones experimentarán cambios drásticos en sus climas, reflejados principalmente en la alteración de la temperatura (Mora *et al.*, 2013).

Los efectos probables del cambio climático sobre la producción de café son preocupantes, ya que las plantaciones de café son altamente sensibles al cambio de variables climáticas (Bunn *et al.*, 2014). Las inversiones que se realizan en el manejo de la producción de café son consideradas a largo plazo (Läderach *et al.*, 2017), pues la vida útil de los cafetos es de 30 años aproximadamente (Bunn *et al.*, 2015), por lo tanto, mientras dichas inversiones no consideren los efectos potenciales del cambio climático sobre la producción, existirá un alto riesgo de pérdidas irremediables para los pequeños productores del aromático (Läderach *et al.*, 2017).

El cambio climático ya tiene impactos negativos en los rendimientos de *Coffea arabica* (Craparo *et al.*, 2015). El aumento de la temperatura mundial resultará en una enorme pérdida para la producción de café (*arabica*) tanto en rendimiento como superficie cultivable (Alemu y Dufera, 2017) y de acuerdo con Iscaro (2014), *Coffea arabica*, variedad que predomina en las plantaciones de café, podría desaparecer para el año 2080.

El objetivo de la presente revisión fue analizar los principales trabajos que se han realizado sobre el impacto del cambio climático en la producción de café en función de la vulnerabilidad, cambios de aptitud e idoneidad para la producción, plagas y enfermedades, percepción de los productores y las

medidas de adaptación que se han implementado o propuesto para enfrentar este fenómeno.

La exploración de información se realizó entre enero de 2017 y julio de 2019. Las palabras; cambio climático, variabilidad climática, vulnerabilidad, riesgo, idoneidad, aptitud, fisiología, plagas, enfermedades, percepción, adaptación, migración y mitigación fueron investigadas con relación a la producción de café (*coffea arabica* y *coffea canephora*). Las bases consultadas fueron ScienceDirect, Springer, Google Académico, SciELO, One Plos, PNAS. Los artículos científicos apegados con los apartados de nuestro objetivo fueron integrados en el presente análisis.

VARIABLES CLIMÁTICAS EN EL CAFÉ

En éste apartado se mencionan las principales características bioclimáticas en que se desarrollan las dos variedades más importantes de café en el mundo, café arábico (*coffea arabica*) y café robusta (*coffea canephora*), (Figura 1).

Los climas con mayor idoneidad para el café *arábica* se encuentran actualmente entre 600 y 1900 msnm (Ovalle *et al.*, 2015). La variedad *robusta* se produce mejor entre el nivel del mar y 800 msnm, mientras que el café arábico crece mejor a mayores altitudes y se cultiva a menudo en zonas montañosas (Camargo, 2010).

Para el café *arábica* los rangos de temperatura media anual considerados como óptimos están entre 17 °C y 23 °C (Mora, 2008), temperaturas superiores a 23 °C aceleran el desarrollo y la maduración de las frutas y pueden provocar la pérdida en su calidad física (Jürgen y Janssens, 2010). La luz solar y la temperatura afectan sustancialmente la transpiración, mientras que la eficiencia del uso del agua disminuye fuertemente con un aumento de la luz y una temperatura superior a 24 °C (Nunes *et al.*, 1968). Temperaturas superiores a 30 °C asociada con una temporada seca prolongada durante la floración pueden provocar el aborto de las flores (Jürgen y Janssens, 2010).

Para los cafés de *C. canephora* (*robusta* y *conilon*) la temperatura media anual óptima varía de 22 a 30 °C (Jürgen y Janssens, 2010), tanto las hojas como los frutos no soportan temperaturas inferiores a 6 °C o períodos largos a 15 °C, por lo tanto, el cultivo se adapta mejor a temperaturas más altas que el café arábico (Camargo, 2010; Jürgen y Janssens, 2010). Estas variedades de café crecen con éxito bajo condiciones de alta humedad del aire que se acercan a la saturación, pero toleran sitios menos húmedos, siempre que la temporada seca sea corta (Jürgen y Janssens, 2010).

Los óptimos de precipitación anual para arábica se encuentran entre 1,600 y 1,800 mm, un mínimo absoluto de 1,000 mm y un máximo de 3,000 mm (Mora, 2008).

Cambios en las variables climáticas como la temperatura y precipitación aumentan las posibilidades de plagas y enfermedades (Temis-Perez *et al.*, 2011). Las condiciones de temperatura y lluvia se consideran factores importantes para definir el rendimiento potencial del café, pues ambos factores influyen en la fenología de los cultivos y, por consiguiente, en la productividad y calidad (Dufera-Bongase, 2017). La variedad *arábica* es más vulnerable a enfermedades y plagas que *robusta*, especialmente cuando la lluvia excede los 3,000 mm por año (Jürgen y Janssens, 2010).

Gay *et al.*, (2006), encontraron que la temperatura es el factor climático más relevante para la producción de café, ya que el rendimiento responde significativamente a los patrones estacionales de temperatura. El resultado de la comparación de la producción de café presente y futura sugiere que los cambios en las temperaturas y precipitaciones propiciados por el cambio climático podrían causar una reducción de hasta 34% en la producción de café en Veracruz para el año 2020.

De acuerdo con Alemu y Dufera (2017), las altas temperaturas alteran el metabolismo de las plantas de café. De igual forma la radiación solar y la humedad relativa influyen en muchos procesos fisiológicos del café, pero en general se cree que no desempeñan un papel tan importante como las condiciones térmicas y

de lluvia en la definición del rendimiento potencial o las limitaciones ecológicas para este cultivo. Por otro lado, en las regiones con una temperatura media anual del aire por debajo de 18° C, el crecimiento disminuye. La aparición de heladas, aunque sean esporádicas, puede limitar fuertemente el éxito productivo y por ende el desempeño económico del cultivo (Camargo, 2010).

Craparo *et al.* (2015), con base en el modelo ARIMA (*movimiento promedio autorregresivo integrado*) cuantificaron el impacto del cambio climático sobre la producción de café *arábica* en Tanzania, encontraron que el aumento de la *temperatura nocturna (Tmin)* fue la variable climática más significativa responsable de la disminución en los rendimientos de *C. arábica* entre 1961 y 2012. Las afectaciones de temperaturas bajas fueron reportadas por Descroix y Snoeck (2004), ya que temperaturas inferiores a 4 °C producen lesiones graves en hojas y frutos. Sin embargo, un aumento de 1 °C en la temperatura mínima resulta en pérdidas de rendimiento anual de $137 \pm 16,87 \text{ kg ha}^{-1}$.

Rivera-Silva *et al.* (2013), encontraron que para el año 2050 en la zona centro del estado de Veracruz se estima una pérdida media de la producción de café (*Coffea arabica L.*) de 7 a 10% debido principalmente a la disminución de la precipitación y con un menor grado al incremento de la temperatura del aire. Al cambio de la tasa de precipitación le corresponde alrededor de 65% en la pérdida esperada de cosecha, mientras que el papel del incremento en la temperatura está en el orden de 35%.

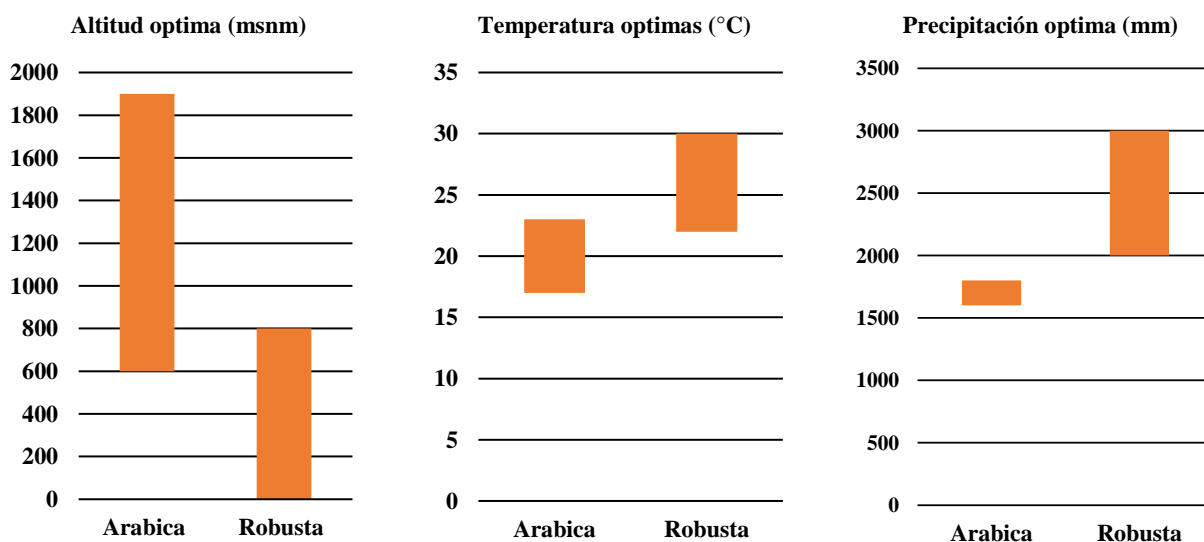


Figura 1. Condiciones óptimas de altitud, temperatura, y precipitación para las variedades arábica y robusta.

Fuente: elaboración propia.

Vulnerabilidad social de productores de café ante el cambio climático

Los productores de café en general han sido clasificados con alta vulnerabilidad por las características socioeconómicas, políticas, geográficas y ambientales en las que subsisten (Gay *et al.*, 2006; Robles, 2011). De acuerdo con el IPCC (2007), la vulnerabilidad se define como el grado de susceptibilidad o de incapacidad de un sistema para afrontar los efectos adversos del cambio climático, en particular, la variabilidad del clima y los fenómenos extremos.

La actividad productiva del café ha sido identificada con alto grado de vulnerabilidad ante el fenómeno del cambio climático (Baca *et al.*, 2014). Los factores que contribuyen a la vulnerabilidad en la caficultura son: a) la ubicación frágil y peligrosa de las zonas productoras, b) pobreza, c) marginación, d) falta de acceso a recursos y servicios, e) bajos niveles educativos, f) acceso limitado a tecnologías, g) alto costo de materias primas y h) escasez de mano obra. Aunado a ello, cuando los productores enfrentan desventaja social o carencia de voz política, su vulnerabilidad se agrava (Fischer *et al.*, 2002; Sobrino-Heredia, 2008; Gutiérrez y Espinosa, 2010).

En la caficultura, existe un complejo de factores que intervienen en la problemática de la vulnerabilidad social de los productores de café (Figura 2). De acuerdo con Robles (2011), los bajos ingresos que reciben los productores por la venta del café no permite mejorar sus condiciones socioeconómicas. La pérdida de fertilidad en los suelos, los bajos precios internacionales, la descapitalización del sector, la dificultad para acceder al crédito, los altos costos de los insumos y el encarecimiento de la mano de obra, derivado de la emigración, han impactado directamente en el incremento de los costos de producción (Robles, 2011).

Durante los últimos años ha habido un crecimiento constante de la producción mundial de café y existe un superávit con relación al consumo del mismo (ICAFFE, 2017). Con la ruptura del convenio internacional de control de precios del café ocurrida en 1989, las fluctuaciones en el precio internacional han impactado sobre la producción y los ingresos de los productores (Canet y Soto, 2016).

En 2014 los precios ascendieron debido a especulaciones generadas por el impacto potencial del clima sobre las cosechas de Brasil, lo cual generó que en 2014 y 2015 los precios del café en la Bolsa de Nueva York presentaran mucha volatilidad, provocando incertidumbre en el mercado cafetalero en general y posteriormente, una tendencia a la baja en los precios (ICAFFE, 2017).



Figura 2. Vulnerabilidad del productor de café; entorno técnico-socioeconómico, cambio climático y variabilidad climática. (Elaboración propia).

Es un hecho que la producción agrícola está afectada por factores asociados al cambio climático con consecuencias negativas en el valor final del producto, lo cual también está estrechamente relacionado con cambios negativos en la productividad del café por causa de enfermedades relacionadas con el clima, tal como la epidemia de la roya que se presentó en la cosecha del 2012 (Canet y Soto, 2016).

Existen pocos trabajos relacionados con el estudio de la vulnerabilidad de la producción de café ante el cambio climático. Baca *et al.* (2014), realizaron una investigación en la región de Mesoamérica, cuantificaron los niveles de vulnerabilidad combinando las variables de exposición al cambio climático, sensibilidad de la producción a sus efectos y capacidad de adaptación de los productores de café, encontraron que un alto grado de vulnerabilidad depende de la pérdida de idoneidad climática para la producción de café y de una alta sensibilidad al cambio climático la cual se refleja en la variabilidad de sus rendimientos de producción, además del efecto por la emigración de la fuerza de trabajo. Así mismo, la baja capacidad de adaptación, escasa infraestructura postcosecha, acceso deficiente al crédito y bajos niveles de organización social agravan la vulnerabilidad de los productores (Figura 2). Sin embargo, el grado de vulnerabilidad varió sensiblemente entre países, municipios y familias. También se encontró que algunas comunidades en México, Nicaragua y Guatemala tenían altas tasas de migración como una característica adicional de alta vulnerabilidad.

Idoneidad y cambio de zonas aptas para la producción de café

Muchas de las investigaciones dedicadas a la evaluación del impacto potencial del cambio climático sobre la producción de café se basan en enfoques de aptitud e idoneidad sobre áreas productoras de café bajo escenarios climáticos futuros. Este enfoque se fundamenta en que las zonas con condiciones bioclimáticas idóneas para la producción de café serán alteradas por nuevas condiciones que se predicen debido al cambio climático; donde las potenciales consecuencias en las zonas productoras de café se evalúan bajo escenarios climáticos futuros y los resultados reportados son altamente relevantes tanto para la escala global como para la regional.

Los trabajos que han evaluado el impacto potencial del cambio climático sobre la producción de café, sugieren pérdidas importantes en el rendimiento y calidad de la producción. A nivel global se espera un impacto progresivo sobre la producción de café afectando desde un 30 hasta 90% del total de las áreas disponibles (Laderach *et al.*, 2011; Davis *et al.*, 2012; Magrach y Ghazoul, 2015; Bunn *et al.*, 2014; Bunn *et al.*, 2015; Schroth *et al.*, 2015; Laderach *et al.*, 2017; Imbach *et al.*, 2017).

Los estudios de idoneidad a escala global sugieren que el área climática adecuada para la producción de café sufrirá cambios negativos importantes. De acuerdo con estudios de Bunn *et al.* (2014) y Magrach y Ghazoul (2015), se espera que una mayor temperatura media afectara significativamente las zonas idóneas para la producción de *C. arabica*, mientras que para las zonas de *C. canephora* se espera que las afectaciones sean menos drásticas (Tabla 1). Lo anterior genera preocupación porque la variedad *C. arabica* es preferida por los consumidores

y actualmente representa el 70% de la producción mundial.

Los factores que determinan la idoneidad global en la producción de café son diversos. Al respecto, Magrach y Ghazoul (2015) sostienen que el cambio climático influye sobre la distribución de los insectos encargados de la polinización en los cafetos, también las plagas y enfermedades del cultivo del café dependen directamente de las condiciones climáticas y estiman que el cambio climático global, estaría favoreciendo su crecimiento y propagación.

Las afectaciones del cambio climático sobre la idoneidad de la producción de café, repercute en las decisiones de los productores, pues ante una disminución de las áreas adecuadas para la producción de café, se esperaría una migración ascendente en estas zonas (Bunn *et al.*, 2014). Por lo tanto, existen dos posibles escenarios: 1) la conversión de bosques naturales a cafetales, lo que representaría impactos ambientales negativos, 2) si la conversión fuera de tierras abiertas a plantaciones de café, en cuyo caso los impactos se tornarían positivos.

Respecto a los estudios a escala regional (Tabla 2), Ovalle *et al.* (2015), encontraron que para Mesoamérica, en el año 2050, la precipitación anual disminuiría ligeramente, sin embargo, la temperatura máxima y media aumentarían en 2 °C, por lo que los climas adecuados para el café arábica se moverían a mayores rangos altitudinales. Guatemala, México, Honduras y Costa Rica tendrían idoneidad en el rango de 1,500 y 2,500 msnm, lo que podría compensar en parte las pérdidas presentadas en altitudes más bajas, pues algunas áreas perderían idoneidad mientras que otras se beneficiarían del aumento en la temperatura media y quizá del incremento de la precipitación pluvial.

Tabla 1. Estudios de idoneidad a escala global.

Referencia	Contribuciones del estudio	Metodología	Principales hallazgos
Bunn <i>et al.</i> , 2014	Predecir a escala global la aptitud climática actual y futura para la producción de café (Arábica y Robusta).	Algoritmos de aprendizaje automático para derivar funciones de idoneidad climática.	Para 2050, se proyecta que arábica perderá 49% de aptitud y robusta 54%. Las zonas con climas adecuados para la variedad arábica, migrarán hacia unos 500 m de elevación.
Magrach y Ghazoul, 2015	Mapear áreas aptas para la producción de café bajo escenarios climáticos (2050) para determinar si hay suficiente tierra disponible para satisfacer la futura demandas de café.	Modelado de nichos ecológicos	Arábica podría perder 56% de las zonas actualmente aptas para su cultivo en 2050, con una ganancia de áreas adecuadas de 9%. Robusta podría perder el 55% ($\pm 6\%$) de las áreas actualmente adecuadas, pero se espera que el área futura adecuada incremente a más del doble. Se proyecta que la barrena del café afectará $77.8 \pm 1.7\%$ de Arábica y hasta $93.02 \pm 1.3\%$ de las plantaciones de Robusta.

Tabla 2. Estudios de idoneidad a escala regional.

Referencia	Zona	Contribución del estudio	Metodología	Principales hallazgos
Schroth <i>et al.</i> , 2009	Sierra Madre de Chiapas	Analizar las amenazas a los medios de vida y al medio ambiente debido al cambio climático en zonas productoras de café.	Modelos de adecuación para cultivos basados en escenarios climáticos con taller de expertos.	Se prevé una fuerte disminución en la idoneidad para el café Arábica a altitudes inferiores de 1,700 msnm. El área climáticamente apropiada dentro de las actuales zonas de cultivo disminuiría drásticamente de 360,000 ha existentes en la actualidad a poco más de 57,000 ha para 2050.
Landerach <i>et al.</i> , 2010	Nicaragua y Veracruz, México	Cuantificar el impacto del cambio climático en la idoneidad de la tierra para cultivar café en Nicaragua y el estado de Veracruz, México.	Mapeo de áreas cafetaleras en Nicaragua a partir de imágenes aéreas y satelitales. En Veracruz se realizó un estudio de caso.	Para el año 2050, en Nicaragua, las áreas adecuadas para la producción de café disminuirán 16% y para Veracruz las áreas adecuadas para café de alta acidez disminuirán en un 32%.
Davis <i>et al.</i> , 2012	Etiopia	Modelar la distribución indígena de arábica para el presente y para el futuro bajo la influencia del cambio climático hasta 2080.	Modelo Bioclimático	En un análisis de localidades bioclimáticamente adecuadas para arábica indígena la disminución va de 65% a 100% para 2080. En un análisis de área, la reducción esperada va del 38% al 90% para 2080. La inadecuación bioclimática pondría a las poblaciones de arábica indígena en peligro, llevando a estrés severo y un alto riesgo de extinción.
Schroth <i>et al.</i> , 2015	Indonesia	Modelar los impactos del cambio climático sobre el café Arábica en Indonesia.	Modelo de máxima entropía (Maxent)	El área climáticamente apropiada dentro de las actuales zonas de cultivo disminuiría drásticamente de unas 360,000 ha a poco más de 57,000 ha en 2050. Se proyecta que el cambio climático afectará al 84% de las actuales zonas productoras de café.
Ovalle <i>et al.</i> , 2015	Mesoamérica	Modelar la distribución global del café Arábica bajo los cambios en la idoneidad climática para 2050.	Modelo de distribución global con MaxEnt.	Temperaturas más altas moverían los climas adecuados para el café Arábica de los actuales 400-2,000 msnm a 800-2,500 msnm. Mesoamérica enfrentaría una disminución promedio en el área adecuada para el café Arábica hasta un 30%, con mayores pérdidas para México (29%) y menores pérdidas para Guatemala (19%).
Läderach <i>et al.</i> , 2017	Nicaragua	Cuantificar el impacto del cambio climático sobre el café de alta calidad en Nicaragua y desarrollar un marco de adaptación.	Modelos de adecuación de cultivos Maxent y CaNaSTA.	Para 2050, la idoneidad para el café Arábica en Nicaragua disminuirá en más del 90% de las áreas de cultivo. Elevaciones entre 500 msnm y 1,500 msnm sufrirán la mayor disminución en la aptitud para el cultivo de café.
Imbach <i>et al.</i> , 2017	América Latina	Modelar distribuciones de polinizadores de café en climas actuales y futuros en América Latina para comprender si las futuras áreas aptas para café también serán adecuadas para los polinizadores.	Enfoque de modelado de aprendizaje automático (algoritmo Maxent).	Las áreas aptas para café se reducirán en un 73-88% para el 2050. Alrededor del 16% de las áreas aptas para el café ganarán riqueza de abejas en relación con su estado actual.

De acuerdo con Laderach *et al.* (2011), Veracruz sufrirá una disminución en la idoneidad para la producción de café, pues para el año 2050, la temperatura incrementará en las principales zonas productoras, las cuales se encuentran localizadas por encima de los 1,100 msnm y las futuras zonas óptimas para la producción de café estarán por

encima de los 1,600 msnm. Para Nicaragua, aproximadamente 65% de la reducción prevista en la idoneidad se deberá a variables relacionadas con la precipitación, ya que las zonas productoras se encuentran en la actualidad entre 800 y 1,400 msnm y para 2050, la elevación óptima será de 1,200 y 1,600 msnm.

De igual forma Schroth *et al.* (2009), en su estudio realizado en México, encontraron que para 2050 el cambio climático afectará al 84% de las actuales zonas productoras de café, con repercusiones mayores a las sugeridas por Läderach *et al.* (2011) y Ovalle *et al.* (2015). Los resultados indican que ante un aumento de la demanda en el consumo de café arábica y la pérdida de áreas aptas para su producción, se impulsaría la conversión de los bosques, lo cual sugiere pérdidas forestales que afectarían adversamente a la flora y fauna de áreas prioritarias de conservación, lo que conlleva a mayores tasas de emisión de carbono (Magrath y Ghazoul, 2015). En otro escenario predicen la migración de los cafecultores, abandono en gran escala de las plantaciones de café para transformar las tierras en actividades productivas demandantes en recursos como la expansión de pastos para ganado u otros cultivos intensivos que afectarían los bosques que actualmente se conservan.

Ante tal panorama Läderach *et al.* (2017), vislumbran que principalmente los productores de café arábica, para 2050 en Nicaragua, se verán drásticamente afectados debido a la alta sensibilidad de esta especie a la temperatura, por lo tanto, se sugiere que las estrategias de adaptación deben enfocarse a cambios en las prácticas de cultivo y siembra de nuevas variedades adaptadas considerando el cuidado y mantenimiento de los recursos naturales disponibles.

Imbach *et al.* (2017), estimaron, para 2050 en América Latina un descenso alarmante en la aptitud para la producción de café, (entre 46 - 76% mayor al estimado por las evaluaciones globales). También, se prevé que la riqueza promedio de abejas disminuirá entre 8 y 18% en futuras áreas aptas para producción de café, lo que podría repercutir negativamente en la polinización de los cafetos, teniendo como resultado, una combinación en la disminución de idoneidad para la producción de café con disminuciones potenciales en la riqueza de abejas.

Por otro lado, en escenarios positivos, se espera que esta zona contendrá al menos 5 especies de abejas, mientras que 46 y 59% de las futuras áreas aptas para la producción de café contendrán 10 o más especies, es decir, en una fracción menor de las futuras áreas aptas para el café, la mayor riqueza de abejas podría compensar las pérdidas en la idoneidad de las zonas productoras de café, o cuando la idoneidad del café aumenta, los beneficios potenciales podrían compensar la reducción de los servicios de polinización.

En Etiopía, Davis *et al.* (2012), encontraron que la producción de café arábica seguirá siendo afectada por el cambio climático, por lo cual, los requerimientos óptimos del cultivo se volverán cada

vez más difíciles de lograr en muchas áreas pre-existentes, lo que conduciría en 2080 a una reducción en la productividad, así como a un aumento e intensificación de la gestión de recursos productivos, por ejemplo, integración de sistemas de riego en las plantaciones de café.

Schroth *et al.* (2015), mencionan que, debido al aumento de la temperatura, el cambio climático afectará para 2050 al 84% de las actuales zonas productoras de café en Indonesia. Esto no significa que el café no pueda ser cultivado en las áreas clasificadas como inadecuadas, sin embargo, el clima ya no sería el óptimo para cultivar café Arábica, por lo tanto, se esperarían impactos negativos significativos en la productividad y calidad final del cultivo. En general, algunas áreas perderían idoneidad, mientras que otras se beneficiarían del aumento en la temperatura y precipitación pluvial. Los impactos geográficamente diferenciados del cambio climático pueden alterar la importancia relativa del café de diferentes países en el mercado global (Ovalle *et al.*, 2015).

Los presentes resultados del enfoque de idoneidad sugieren que los cambios en las condiciones de temperatura y precipitación serán principalmente negativos para los requerimientos agronómicos de la variedad arábica y como consecuencia se tendrá una reducción drástica en la aptitud e idoneidad de las actuales zonas productoras de café.

Otro aspecto relevante en los agroecosistemas cafetaleros, es el cambio generacional de los cafecultores, es muy probable que los nuevos productores decidan el cambio de actividades productivas o migrar antes que seguir con una actividad productiva menos rentable y que se encuentra en constante riesgo por las condiciones del mercado y del cambio climático.

Por otro lado, si en las investigaciones de idoneidad y aptitud climática para la producción de café se incorpora un eje de investigación social sobre la opinión de los productores respecto a la variabilidad climática y el cambio climático ayudaría a entender de mejor manera la problemática que se aproxima en el mediano y largo plazo en la cafecultura.

Finalmente, en los trabajos expuestos no se analizan los efectos de la variabilidad climática sobre la producción de café, por lo tanto, Läderach *et al.* (2017) sugieren que en estos estudios se requiere incorporar la variabilidad climática para un mejor análisis y comprensión de los impactos sobre la producción de café, así como los cambios en las propiedades del suelo bajo escenarios de cambio climático.

Tabla 3. Estudios relacionados con la influencia del cambio climático sobre plagas y enfermedades que afectan la producción de café.

Referencia	Región o País	Tema	Contribuciones del estudio	Metodología	Principales hallazgos
Jaramillo <i>et al.</i> , 2009	África y América del Sur	Tolerancia térmica de la broca	Determinar la tolerancia térmica de <i>H. hampei</i> .	Regresión lineal y un modelo de Logan modificado.	Por el aumento de temperaturas <i>H. hampei</i> completará de una a dos generaciones por año El modelo indicó que por cada aumento de 1 °C en térmico óptimo, la tasa intrínseca máxima de incremento (rmax), aumentará en un promedio de 8.5%.
Jaramillo <i>et al.</i> , 2011	Este de África	Distribución de <i>H. hampei</i> (broca)	Llenar las brechas de conocimiento existentes en la industria del café y elaborar un paquete de estrategias de adaptación para el cambio climático en la producción de café.	Modelo de distribución de especies CLIMEX.	<i>H. hampei</i> aumentará en todas las áreas productoras de <i>C. arabica</i> de cinco a diez veces más. Lo cual tendría serias implicaciones para la producción de <i>C. arabica</i> y los medios de subsistencia.
Kutywayo <i>et al.</i> , 2013	Zimbabwe.	Distribución de <i>Monochamus leuconotus</i>	Evaluar la distribución potencial de la plaga agrícola barrenadora blanca del tallo de café africano <i>Monochamus leuconotus</i> (CWB), bajo los escenarios de cambio climático.	Enfoque de modelación de distribución de especie, Árboles de Regresión Boostada (BRT) y Modelos Lineales Generalizados (GLM).	El área adecuada para la CWB aumentará significativamente debido al cambio climático y será necesario desarrollar mecanismos de adaptación.
Ghini <i>et al.</i> , 2008	Brasil	Distribución de nematodos	Evaluar el impacto potencial del cambio climático en la distribución espacial de nematodos de café (razas de <i>Meloidogyne incognita</i>) y de minador de hojas (<i>Leucoptera coffeella</i>).	Idrisi 32, software GIS.	Bajo los escenarios de cambio climático (A2 pesimista y B2 optimista) se prevé una mayor infestación del nematodo y de la plaga, debido al mayor número de generaciones por mes, que lo que ocurrió bajo la climatología normal de 1961 a 1990.

Plagas y enfermedades

Existe evidencia científica de que el cambio climático altera la distribución de las plagas y patógenos en las plantas. Los cambios en la temperatura, la humedad y las concentraciones de gas en la atmósfera pueden modificar el crecimiento de las plantas, hongos, insectos, así como alterar sus tasas de renovación, lo cual modifica las interacciones biológicas y químicas entre las plagas, sus enemigos naturales y los huéspedes (Cilas *et al.*, 2016).

En los estudios de plagas y enfermedades (Tabla, 3), Jaramillo *et al.* (2009), exponen que *Hypothenemus hampei* puede sobrevivir y reproducirse dentro de un rango amplio de temperatura y se espera que su distribución aumente en todas las áreas productoras de café *arábica*. En este sentido, el cambio climático hará más difícil la producción de café y será necesario desarrollar estrategias de adaptación que incluya el

manejo y control de plagas de insectos como el barrenador o broca del café (Jaramillo *et al.*, 2011).

En Zimbabwe, Kutywayo *et al.* (2013) encontraron que la precipitación es el predictor más relevante en la distribución de CWB. Si bien existen discrepancias entre el grado en que estos modelos predicen si la CWB aumentará o disminuirá en diferentes distritos, estos modelos constituyen un punto de partida para planificar programas de mitigación y estrategias para responder a los impactos del cambio climático futuro.

En el caso de Brasil, Ghini *et al.* (2008), encontraron que se prevé una mayor infestación de nematodos de café (*Meloidogyne incognita*) y del minador de hojas (*Leucoptera coffeella*), debido al cambio climático, de igual forma, Jaramillo *et al.* (2011), sugieren que los efectos del cambio climático incrementarán la prevalencia de plagas como *H. hampei*, disminuyendo las áreas adecuadas para la producción de café, por lo

que, para hacer frente a las plagas que afectan la producción de café, una estrategia oportuna sería el mejoramiento en el manejo del sombreado para los cafetos (Jaramillo *et al.*, 2013).

Los estudios existentes relacionados a la influencia del cambio climático sobre las plagas y enfermedades que afectan la producción de café aún son pocos, a pesar de la problemática que significa en los medios de vida de los productores. Existen vacíos de conocimiento a nivel global y regional sobre el comportamiento de las plagas y enfermedades ante el fenómeno del cambio climático, falta abordar de forma más especializada las afectaciones relacionadas con la roya del café, ya que en la actualidad implica grandes pérdidas económicas en la producción mundial del aromático.

Percepción de productores de café

La percepción ante el cambio climático como característica substancial, previa a la toma de decisiones y a la adaptación, ha sido abordada en diversas investigaciones. En el presente apartado (Tabla, 4) se mencionan los principales trabajos realizados acerca de la percepción del impacto del cambio climático en la producción de café.

Los estudios sobre la percepción de productores de café ante el cambio climático son esenciales para dimensionar este fenómeno en la compleja problemática actual de la cafecultura. Frank *et al.*, (2011), reportan que la percepción más recurrente del cambio climático entre los productores es el incremento en la frecuencia de diversos eventos climáticos peligrosos para los medios de vida, además existe una preocupación generalizada por las implicaciones negativas que el cambio climático traería sobre la producción de café. También reportaron pérdidas de frutos del café y del follaje en las plantaciones, causadas por las fuertes lluvias y una humedad excesiva. Además, comentaron sobre el aumento de plagas y enfermedades debido al exceso de humedad y mencionaron disminución de la producción por floración y fructificación no lograda, debido a temperaturas extremas o lluvias excesivas.

El trabajo de Eakin *et al.* (2005) sugiere que la principal problemática percibida en la cafecultura es la reducción en las inversiones que merma la producción de café y disminuye los ingresos de los hogares, lo que lleva a la conclusión de que los productores no han logrado ser conscientes de las consecuencias que implica el fenómeno del cambio climático sobre el cultivo de café.

Tucker *et al.* (2010) y Eakin *et al.* (2005) sugieren que la variabilidad del clima se percibe como una amenaza a la producción, pero no es la más significativa de las problemáticas, pues aspectos relacionados a los precios del producto son evidentemente percibidos como preocupantes para los productores de café.

Por otro lado, Baca *et al.* (2014) reportan que los productores de café han percibido cambios en la estacionalidad y previsibilidad del clima, incluyendo temporadas secas más calientes y largas, temporadas húmedas más cortas y secas, aumentos en las temperaturas extremas, sequías y vientos, así como cambios en la intensidad y distribución de la precipitación. También destacaron un aumento en eventos climáticos extremos, tales como periodos de frío, granizo, sequía y huracanes.

Quiroga *et al.* (2015) consideran que la experiencia y la capacidad técnica son relevantes para la capacidad de adaptación, sin embargo, los pequeños productores no siempre muestran preocupación ante el cambio climático y sus expectativas con respecto al apoyo externo son muy bajas. Ante tal panorama, Zuluaga *et al.* (2015), proponen reforzar los programas educativos, desde la educación formal y la capacitación o asistencia técnica a los productores de café, pues desestimar los riesgos generados por el cambio climático podría traer consecuencias más drásticas y costosas para los cafecultores.

Para Eakin *et al.* (2005), es evidente que los productores de café están percibiendo riesgos derivados de la variabilidad climática y del cambio climático, sin embargo, en muchos casos resultan ser irrelevantes comparados con los riesgos relacionados a los bajos precios del producto y los problemas de mercado. La crisis que resiste el productor en la producción de café ofrece una oportunidad para entender los desafíos que enfrentan los pequeños agricultores al adaptar sus estrategias de producción al estrés exógeno, con posibles lecciones para la adaptación al cambio climático.

En las investigaciones revisadas (Tabla 4) se identifica que para los cafecultores el cambio climático ocupa un segundo plano en importancia ante la compleja problemática que encierra la producción de café. Sin embargo, los productores logran identificar algunos sucesos climáticos que anteriormente no consideraban relevantes, además que en los últimos años han visto alteraciones en los ciclos de producción como posible consecuencia del cambio climático.

Tabla 4. Principales estudios sobre la percepción de los productores de café ante el cambio climático.

Referencia	Región o País	Contribuciones del estudio	Metodología	Principales hallazgos
Eakin <i>et al.</i> , 2005	Guatemala, México y Honduras	Explorar las experiencias y respuestas de los productores de café a las reformas institucionales, el riesgo de mercado y la variabilidad climática, en Guatemala, México y Honduras.	Encuesta	Los agricultores saben de impactos importantes sobre el rendimiento del café, debido a sequías y otras tensiones climáticas, pero consideran que su mayor preocupación son los bajos precios del café.
Tucker <i>et al.</i> , 2010	Centroamérica y México	Respuesta de productores a choques climáticos y de mercado.	Encuesta	Las respuestas adaptativas estaban más claramente asociadas con el acceso a la tierra que la percepción del riesgo, lo que sugiere que la adaptación es más una función de restricciones exógenas en la toma de decisiones que en la percepción.
Frank <i>et al.</i> , 2011	Chiapas México	Comprender la influencia de la identidad y las relaciones interpersonales e intergrupales sobre la evaluación de la información y las percepciones del riesgo y la capacidad de adaptación.	Modelo de Adaptación Proactiva Privada al Cambio Climático	Se reportaron pérdidas en la producción y aumento de las plagas del café y las enfermedades por exceso de humedad. Se sugiere que la identidad es la lente de la percepción que por ende influencia la adaptación.
Baca <i>et al.</i> , 2014	Mesoamérica (El Salvador, Guatemala y Nicaragua)	Evaluar la vulnerabilidad de las comunidades cafetaleras en Mesoamérica, para identificar estrategias de adaptación al cambio climático.	Grupos focales, talleres participativos y Modelos de Circulación General	La alta vulnerabilidad resultó de la pérdida de la idoneidad climática para la producción de café y de una alta sensibilidad a través de la variabilidad de los rendimientos y la emigración de la fuerza de trabajo.
Ruiz, 2014	Soconusco de Chiapas, México	Identificar las condiciones de vulnerabilidad social y riesgo de desastres relacionados con el clima y analizar la capacidad de los productores de café para adaptarse.	Entrevistas y talleres participativos.	Los residentes señalaron las fuertes lluvias, vientos intensos y sequía prolongada como graves impactos en sus medios de subsistencia. La tendencia de los pequeños productores es cambiar el café arábica por Robusta, como estrategias para afrontar los riesgos climáticos y de mercado. La migración temporal y definitiva y el empleo en actividades no agrícolas también son fuentes importantes de subsistencia.
Zuluaga <i>et al.</i> , 2015	Nicaragua	Estudiar las percepciones de los productores nicaragüenses sobre el cambio climático, las estrategias de adaptación y sus determinantes.	Modelos probabilísticos	El 95% percibió cambios en el clima en los últimos 10 años. El 57% reportó haber implementado al menos una estrategia de adaptación. La educación, la asistencia técnica, el nivel de riqueza y la percepción se asocian positiva y significativamente con la adaptación.
Quiroga <i>et al.</i> , 2015	Nicaragua	Analizar la dependencia de los productores con respecto a los recursos hídricos, la percepción del riesgo y sus expectativas con respecto al apoyo público y privado para abordar la adaptación.	Encuesta	30,84% de los productores muestra una alta capacidad de percepción a la adaptación. Casi el 53% coincidió en que la necesidad actual de riego es alta. Las capacidades técnicas son relevantes para la adaptación y las expectativas con respecto al apoyo externo son muy bajas.
Mulinde <i>et al.</i> , 2019.	Uganda	Identificar los riesgos climáticos percibidos, las prácticas de adaptación a nivel de paisaje y determinar los impulsores socioeconómicos que impactaron en la adopción de prácticas de adaptación.	Encuesta	Las familias campesinas percibieron diversos riesgos climáticos por temporadas de lluvias prolongadas, sequías, inundaciones y deslizamientos de tierra. El conocimiento de la variabilidad climática, las redes sociales y la participación en el proceso de formulación de políticas, influyó en la adopción de prácticas de adaptación generalizadas.

Por otro lado, en la mayoría de los trabajos expuestos se intenta identificar la relevancia del papel que juega el nivel socioeconómico del productor ante la percepción y los sucesos climáticos que logra identificar, dado que en algunos casos los resultados estadísticos reflejan una alta asociación con el nivel de percepción. De lo anterior, Wolf y Moser (2011), sugieren que la posición que adoptan los productores (según el sexo, la edad, el nivel socioeconómico y otras variables sociales) puede jugar un papel importante en los juicios diferenciados sobre el cambio climático, sin embargo, el entendimiento de la percepción de los campesinos y agricultores ante dicho fenómeno, no logra entenderse y explicarse objetivamente a través de variables sociales y económicas de los productores, por lo anterior, enfoques que consideran la complejidad de la realidad son preferibles para abordar la percepción ante el fenómeno del cambio climático.

Adaptación

La adaptación al cambio climático tiene como objetivo principal moderar sus efectos adversos a través de una amplia gama de acciones dirigidas al sistema vulnerable, incluyendo medidas para aprovechar oportunidades provocadas por el cambio climático (Füssel y Klein, 2006). Sobre este aspecto se han realizado algunos trabajos para entender y dirigir la adaptación de productores ante los efectos del cambio climático en la producción de café.

Ante los impactos adversos que se han reportado del cambio climático sobre las actividades agrícolas en general, Läderach *et al.* (2017) sugieren que las estrategias de adaptación en la producción de café deben considerar prácticas relacionadas al cultivo de variedades que sean idóneas para mantener o incrementar la calidad y la producción de café, al mismo tiempo que sean resistentes a plagas y enfermedades.

Sin embargo, ante el aumento de la temperatura ambiental, los productores de café de altitudes medias y bajas tendrán mayores dificultades para cultivar café de calidad (Läderach *et al.*, 2017). Por lo tanto, persiste la preocupación de que el cambio climático reducirá significativamente la superficie terrestre para la producción de café en condiciones idóneas (Bunn *et al.*, 2015). Considerando que se plantea continuar con la cafecultura, ante la reducción de áreas idóneas para la producción de café habría que migrar a zonas más altas (Magrach y Ghazoul 2015). No obstante, el área espacial disponible para el cultivo está inversamente correlacionada con la altitud (Killen y Harper, 2016), por ello, el desplazamiento de campos de cultivo de café a mayores altitudes puede aumentar la presión sobre bosques y recursos naturales asociados, dando lugar a nuevas emisiones

derivadas del cambio en el uso de la tierra (Bunn *et al.*, 2015; Läderach *et al.*, 2017). Además, esta restricción espacial se verá incrementada por la resistencia de la sociedad a permitir la deforestación en bosques montañosos remanentes que proporcionan servicios ecosistémicos a través de la protección de las cuencas hidrográficas (Killen y Harper, 2016).

Por lo tanto, se sugiere la posibilidad de que los pequeños productores puedan substituir el café *arábica* por *robusta*, como estrategia para afrontar los riesgos climáticos y de mercado (Ruiz, 2014; Läderach *et al.*, 2017). Debido a que *C. arabica* es altamente sensible a elevadas temperaturas, ante un escenario de cambio climático, en la mayoría de las áreas cultivadas habrá un cambio hacia la variedad *robusta*, la cual es más tolerante a la humedad, requiere poca sombra, soporta más la roya y requiere menos trabajo de mantenimiento que *arábica*, por lo que los miembros del hogar tendrían más tiempo para otras actividades generadoras de ingresos (Bunn *et al.*, 2015; Magrach y Ghazoul 2015; Ruiz, 2014). Sin embargo, la sustitución de *Arábica* por *Robusta*, implicará desarrollar nuevas alternativas para evitar la deforestación debido a los requerimientos de luz solar que dicha variedad necesita. Además, esta estrategia no cubre el interés socioeconómico de los productores por mantener la producción del café de calidad que suele ser más rentable para ellos.

Una estrategia de adaptación importante ante el aumento de las temperaturas en las plantaciones de café *arábica* sería mejorar el manejo de sombra en las plantaciones (Jaramillo *et al.*, 2011), ya que el sombreado puede aumentar la resiliencia de los ecosistemas agrícolas ante plagas y enfermedades, proporcionando a los agricultores en pequeña escala, una herramienta fácil de implementar para salvaguardar sus medios de subsistencia en un clima cambiante (Jaramillo *et al.*, 2013). Magrach y Ghazoul (2015), sugieren que los mayores productores del mundo (por ejemplo, Brasil) tendrán que adoptar la gestión de la sombra y el riego para mitigar las tensiones climáticas.

Un aspecto importante a considerar es que los agricultores de baja capacidad adaptativa se caracterizan por una alta dependencia del café y poca diversificación de los ingresos (Rahn *et al.*, 2013). Por lo tanto, la diversificación es una estrategia importante para la gestión del riesgo productivo en sistemas agrícolas pequeños (Baca *et al.*, 2014).

Con una perspectiva de mayores implicaciones, Imbach *et al.* (2017) recomiendan que las estrategias de adaptación deben enfocarse en ayudar a los agricultores a cambiar a otros cultivos apropiados a las condiciones climáticas futuras o medios de vida alternativos y no precisamente agrícolas, en lugar de

tratar de mantener los sistemas de cultivo de café en condiciones climáticas que no favorecen la producción. Lo anterior implicaría la intervención de especialistas, instituciones gubernamentales y no gubernamentales para promover estrategias alternas en las que los productores seguramente tendrán dificultad para adoptar nuevas prácticas y tecnologías, además, emprender adaptaciones de acuerdo a las nuevas condiciones, considerando los costos que implicaría el cambio a dichas actividades productivas.

Otro aspecto relevante a considerar es que los insectos polinizadores juegan un papel primordial en el rendimiento de la producción de café, sin embargo, debido a las nuevas condiciones climáticas, también se han visto amenazados y de igual forma sus poblaciones han disminuido. Considerando que los polinizadores pueden reducir el impacto del cambio climático sobre la producción de café, las estrategias de adaptación deberían priorizar la gestión de la plantación para mejorar el hábitat de los polinizadores y con ello garantizar el mantenimiento continuo de las abejas nativas que conlleve a un equilibrio biológico con beneficios en la producción de café (Imbach *et al.*, 2017).

Migración como opción de adaptación

Regularmente los productores de café suelen emprender diversas estrategias de vida para complementar el sustento, ya que la cafecultura por sí sola no proporciona un ingreso sustancial, por ello la migración temporal o definitiva de uno o varios miembros del hogar y el empleo en actividades no agrícolas son fuentes importantes de subsistencia. Además, existe una dependencia significativa de las transferencias gubernamentales de los programas de política social, es decir, los agricultores se enfrentan a una mayor vulnerabilidad económica, ya que su principal herencia y medios de producción pueden perderse, esto explica la búsqueda de nuevas oportunidades en un contexto de aguda presión de mercado y graves riesgos de desastres relacionados al cambio climático (Ruiz, 2014).

Ante la problemática compleja que afecta la producción de café y las condiciones desfavorables del fenómeno del cambio climático, Schroth *et al.* (2009) consideran que aumentará la tasa de emigración de pequeños productores de café, los cuales buscarán nuevas oportunidades para generar ingresos. Por ello, resultan urgentes alternativas que sean menos drásticas que la migración; sin embargo, las regiones cafetaleras tienen como característica escasas opciones productivas para el mantenimiento de la vida, lo que dificulta buscar otras actividades económicas para mejorar los ingresos y lograr una mejor calidad de vida (Robles, 2011).

El panorama indica que los hogares reconocen la migración como una estrategia potencialmente adaptativa, y podrían ser obligados a emigrar como una respuesta permanente, si las condiciones productivas empeoran (Tucker *et al.*, 2010).

Las oportunidades para los productores de café dependen en gran medida del desarrollo de estrategias de mercadeo apropiadas, así como del diseño e implementación de políticas que apoyen el crecimiento de la producción (Loreto *et al.*, 2017). En el trabajo realizado por Frank *et al.* (2011) reportaron que algunos productores de café incorporaron en sus productos, valor agregado para mejorar sus ingresos, particularmente la venta del aromático como café orgánico. La incorporación de los productores al mercado del café orgánico es una estrategia viable para hacer frente a las nuevas condiciones ambientales y de mercado, pues es a través de ella se lograría contribuir con las medidas de mitigación al cambio climático o medidas amigables con el medio ambiente. Por lo tanto, la incorporación de incentivos económicos en las cadenas de valor de la producción de café sustentable ayudaría a suavizar la crisis migratoria y ambiental que atraviesa este sector.

Intervención Gubernamental

En el caso de México, la situación económica y la capacidad técnica de los cafecultores se encuentran estancadas y en la mayoría de los casos, la situación ha empeorado en los últimos años debido a la liberalización del mercado internacional del café y a la desaparición de las instituciones de apoyo técnico y comercial del gobierno (Benítez *et al.*, 2015; Robles, 2011), ahora las autoridades gubernamentales en la materia se limitan a otorgar algunos subsidios de poco impacto (Robles, 2011). Todo esto se traduce en una capacidad de adaptación limitada, con efectos socioeconómicos negativos (Eakin *et al.*, 2004). En México se han creado instituciones con el fin de aportar herramientas en la lucha contra el cambio climático, sin embargo, sus resultados, hasta el momento, son limitados.

Ruiz (2014), sugiere que las acciones implementadas por los productores de café para hacer frente al cambio climático son extremadamente limitadas e implementadas a corto plazo, con posibilidades de agravar su vulnerabilidad en el largo plazo. Por lo tanto, los proyectos destinados a enfrentar los desafíos ambientales y sociales, deben considerar la identificación, el análisis y la administración de los riesgos climáticos, basados en la incorporación de las fortalezas y habilidades de las poblaciones locales, pero también haciéndolos partícipes de su propio desarrollo.

Ante el panorama poco alentador para el futuro de la producción de café, se debe invertir en investigación, proponiendo estrategias de adaptación que consideren cultivos y opciones productivas aptas a las condiciones climáticas futuras. Además, si se mejoraran los apoyos destinados a los productores de café y estos fueran enfocados al precio y mercado del café, se estaría resolviendo problemas torales en lugar de otorgar subsidios de poco o nulo alcance. El problema planteado requiere cambios graduales pero urgentes, con políticas y líneas de acción estratégicas dirigidas por el gobierno, pero con activa participación de los productores (Eakin *et al.*, 2004.).

Las soluciones de adaptación deben ir encaminadas al desarrollo de nuevas infraestructuras, políticas e instituciones de apoyo que faciliten, coordinen y aprovechen al máximo los beneficios de los nuevos sistemas de gestión y uso de la tierra. Esto se puede lograr mejorando la gobernanza, asegurando que los programas de desarrollo tengan en cuenta el cambio climático; incrementar el grado de inversión en infraestructura y tecnologías de riego que mejore la eficiencia del uso del agua; creando infraestructura apropiada para transporte y almacenamiento; revisando el régimen de propiedad agraria y estableciendo mercados accesibles y eficientes para productos, activos y servicios financieros, incluidos los seguros (Baca *et al.*, 2014).

Recomendaciones

Para un análisis más comprensivo de los impactos del cambio climático sobre la producción de café, los estudios deberán considerar la complejidad de factores que intervienen en este tipo de agroecosistemas. Un abordaje inter y multidisciplinario impulsaría un mejor entendimiento de la problemática actual al integrar en sus estudios las dimensiones económico, social y ambiental. Investigación con estas características, acompañada de mecanismos institucionales apropiados, podría generar estrategias de mitigación y de mejoramiento de los medios de vida y resiliencia de los pequeños productores de café, reforzando los vínculos con el cuidado del medio ambiente.

CONCLUSIONES

Los principales impactos del cambio climático sobre la cafecultura se identifican en sus aspectos técnicos, socio-económicos, y ambientales. Los estudios realizados sobre la influencia del cambio climático en plagas y enfermedades que afectan el café, reportan que dicho fenómeno potenciará la propagación de estos sobre el cultivo de café, por lo cual, se espera un aumento sustancial en pérdidas económicas de la producción. Los trabajos sobre este tema aún son pocos por lo que se requiere mayor investigación

sobre la relación cambio climático, plagas, enfermedades y producción de café. De igual forma hacen falta más estudios sobre vulnerabilidad, riesgos climáticos y de impacto económico del cambio climático sobre la producción de café.

Las alteraciones en las principales variables climáticas (temperatura y precipitación) debido al cambio climático ponen en grave riesgo la producción de café, especialmente en la variedad arábica. El estrés en la planta se refleja en su limitado crecimiento, interrupción de floración, poco desarrollo del fruto y por consecuencia, bajo rendimiento productivo. Además, las futuras condiciones de temperatura, precipitación y humedad, serán benéficas para las plagas y enfermedades que atacan a la planta de café.

El impacto negativo de los factores antes mencionados en los ingresos netos de los productores de café ha tenido como consecuencia menos capacidad para cubrir costos de mano de obra, fertilizantes, variedades genéticamente mejoradas de planta y tecnologías que demanda esta actividad. Además, menores ingresos también significa aumento de la vulnerabilidad social; insuficiencia para cubrir alimentación, salud, vestido y educación. La emigración de los productores de café se ha colocado como una de las problemáticas más graves que está afectando a las comunidades cafetaleras.

Por otro lado, las metodologías que predominan en los trabajos de evaluación del impacto potencial del cambio climático sobre la producción de café, son los enfoques de idoneidad o de aptitud para zonas productoras del café que se evalúan bajo diferentes escenarios climáticos. En estos trabajos los resultados sugieren que el cambio climático colocará demandas sin precedentes sobre los agroecosistemas de café y los requerimientos óptimos para la producción serán cada vez más complicados de lograr.

De igual forma, los trabajos sobre percepción de productores ante el fenómeno del cambio climático es una de las temáticas más utilizadas para tratar de conocer la visión de este problema en la cafecultura. En estos trabajos se ha identificado que los cafecultores reconocen con mayor relevancia y preocupación la situación de los bajos precios del café en el mercado, por encima de la amenaza que significa el fenómeno del cambio climático.

Agradecimientos

Se agradece a los revisores por sus comentarios y observaciones, los cuales mejoraron substancialmente este trabajo.

Financiamiento. Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca de

financiamiento para los estudios de doctorado del primer autor.

Conflicto de interés. Los autores declaran que no existe conflicto de intereses relacionados con esta publicación.

Cumplimientos de normas éticas. La presente revisión se desarrolló bajo el código de ética del Colegio de Postgraduados Campus.

Disponibilidad de datos. Los datos están disponibles con el autor de correspondencia (jaramillo@colpos.mx), con previa solicitud por correo electrónico.

BIBLIOGRAFÍA

- Alemu, A., and Dufera, E. 2017. Climate Smart Coffee (*coffea arabica*) Production. *American Journal of Data Mining and Knowledge Discovery* 2(2): 62-68. DOI: 10.11648/j.ajdmkd.20170202.14.
- Alves, M. C., Moreira da Silva, F., Sánchez, L., Gonsaga de Carvalho, L., Araújo, G., and Ferraz, S. 2013. Geospatial analysis of ecological vulnerability of coffee agroecosystems in Brazil. *Applied Geomatics* 5: 87-97. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12518-013-0101-0>
- Baca, M., Läderach, P., Hagggar, J., Schroth, G., and Ovalle, O. 2014. An Integrated Framework for Assessing Vulnerability to Climate Change and Developing Adaptation Strategies for Coffee Growing Families in Mesoamerica. *Open One* 9(2): 1-11. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0088463>
- Benítez García, E., Jaramillo Villanueva, J., Escobedo Garrido, S., y Mora Flores, S. (2015). Caracterización de la producción y del comercio de café en el Municipio de Cuetzalan, Puebla. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*. 12(2): 181-198. DOI: <https://doi.org/10.22231/asyd.v12i2.147>
- Bunn, C., Läderach, P., Pérez-Jimenez, J., Montagnon, C., and Schilling, T. 2015. Multiclass Classification of Agro-Ecological. *Plos One* 10(10): 1-16. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0140490>
- Bunn, C., Läderach, P., Ovalle-Rivera, O., and Kirschke, D. 2014. A bitter cup: climate change profile of global production of Arabica and Robusta coffee. *Climatic Change* 129: 89-101. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10584-014-1306-x>
- Camargo, M. 2010. The impact of climatic variability and climate change on arabic coffee crop in Brazil. *Agrometeorologia* 69(1): 239-247. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052010000100030>
- Canet, G., & Soto, C. 2016. Capítulo I. Panorama general de la caficultura en Latinoamérica. En: Canet B. G., Soto V. C., Ocampo T. P., Rivera R. J., Navarro H. A., Guatemala M. G., and Villanueva R. S. Edits. La situación y tendencias de la producción de café en América Latina y el Caribe. IICA/CIATEJ. San José, Costa Rica. pp. 1-20.
- Cilas, C., Goebel, F.-R., Babin, R., and Avelino, J. 2016. Tropical Crop Pests and Diseases in a Climate Change Setting; A Few Examples. En: Torquebiau E. Ed. Climate Change and Agriculture Worldwide. *Springer*. Bersailles, Francia: 73-82. DOI: https://doi.org/10.1007/978-94-017-7462-8_6
- Craparo, A., Van Asten, P., Läderach, P., Jassogne, L., and Grab, S. 2015. Coffea arabica yields decline in Tanzania due to climate change: Global implications. *Agricultural and Forest Meteorology* 207: 1-10. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2015.03.005>
- DaMatta, F., Ronchi, C., Maestri, M., and Barros, R. 2007. Ecophysiology of coffee growth and production. *Braz. J. Plant Physiol* 19(4): 485-510. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1677-04202007000400014>
- Davis, A., Woldemariam-Gole, T., Baena, S., and Moat, J. 2012. The Impact of Climate Change on Indigenous Arabica Coffee (*Coffea arabica*): Preding Future Trends and Identifying Priorities. *Plos One* 7(11): 1-13. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0047981>
- Descroix, F., and Snoeck, J. 2004. Environmental Factors Suitable for Coffee Cultivation. En Coffee: Crowing, Processing, Sustainable Production Weinheim. Germany: *WILEY-VCH Verlag GmbH y Co* 164-177. DOI: <https://doi.org/10.1002/9783527619627.ch6>
- Duferá-Bongase, E. 2017. Impacts of climate change on global coffee production industry: Review. *African Journal of Agricultural Research* 12(19): 1607-1611. DOI: <https://doi.org/10.5897/AJAR2017.12147>
- Eakin, H., Gay, C., Estrada, F., & Conde Álvarez, A. 2004. Impactos potenciales del cambio climático en la agricultura: El clima, entre el mar y la montaña. IV Congreso de la

- Asociación Española de Climatología. En: Liñao C., García C. J., Rasilla Á. D., Fernández P., and Garmendia P. Edits. Santander, 2-5 de noviembre de 2004. Santander, España. Universidad Cantabria. pp. 651-660.
- Eakin, H., Tucker, C., and Castellanos, E. 2005. Market Shocks and Climate Variability: The Coffee Crisis in Mexico, Guatemala, and Honduras. *BioOne* 25(4): 304-309. DOI: [https://doi.org/10.1659/0276-4741\(2005\)025\[0304:MSACVT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1659/0276-4741(2005)025[0304:MSACVT]2.0.CO;2)
- Fischer, G., Shah, M., & Velthuizen, H. 2002. Climate Change and Agricultural Vulnerability. (A special report, prepared by the International Institute for Applied Systems Analysis under United Nations Institutional Contract Agreement. No. 1113). Johannesburg: IIASA.
- Frank, E., Eakin, H., and López, D. 2011. Social identity, perception and motivation in adaptation to climate risk in the coffee sector of Chiapas, Mexico. *Global Environmental Change* 21: 66-76. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2010.11.001>
- Füssel, H.-M., & Klein, R. 2006. Climate change vulnerability assessments: An evolution of conceptual thinking. *Climate Change*, 75, 301-329. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10584-006-0329-3>
- Gay, C., Estrada, F., Conde, C., Eakin, H., and Villers, L. 2006. Potential impacts of climate change on agriculture: A case of study of coffee production in Veracruz, Mexico. *Climate Change* 79: 259-288. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10584-006-9066-x>
- Ghini, R., Hamada, E., Pedro-Júnior, M., Marengo, J., and Valle-Goncalves, R. 2008. Risk analysis of climate change on coffee nematodes and leaf miner in Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 43(2): 187-194. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2008000200005>
- Gutiérrez, M. E., and Espinosa, T. 2010. Vulnerabilidad y adaptación al cambio climático. *Banco Interamericano de Desarrollo, Notas Técnicas*. IDB-TN-144. Washington, D.C. Estados Unidos. DOI: http://awsassets.panda.org/downloads/documento_bid.pdf. Consulta: 01 diciembre de 2018.
- ICAFFE. 2017. Informe sobre la actividad cafetalera de Costa Rica. XLVI Congreso Nacional Cafetalero Ordinario. Heredia, Costa Rica. Instituto del café de Costa Rica. http://www.icafe.cr/wp-content/uploads/informacion_mercado/informes_actividad/anteriores/2017.pdf. Consulta: 24 de Marzo de 2019.
- Imbach, P., Fung, E., Hannah, L., Navarro-Racines, C., Roubik, D., Ricketts, T., Harvey C., Donattic C., Läderach P., Locatelli B., and Roehrdanz P. 2017. Coupling of pollination services and coffee suitability under climate change. *PNAS* 114(39): 10438-10442. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1617940114>
- IPCC. 2007: Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Ginebra, Suiza. IPCC.
- Iscaro, J. 2014. The Impact of Climate Change on Coffee Production in Colombia and Ethiopia. *Global Majority E-Journal* 5(1): 33-43. http://www.bangladeshstudies.org/files/Global_Majority_e_Journal_5_1_Iscaro.pdf Consulta: 12 de abril de 2019.
- Jaramillo, J., Chabi-Olaye, A., Kamonjo, C., Jaramillo, A., Vega, F., Poehling, H.-M., and Borgemeister, C. 2009. Thermal Tolerance of the Coffee Berry Borer *Hypothenemus hampei*: Predictions of Climate Change Impact on a Tropical Insect Pest. *Plos One* 4(11): 1-11. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0006487>
- Jaramillo, J., Muchugu, E., Vega, F., Davis, A., Borgemeister, C., and Chabi-Olaye, A. 2011. Some Like It Hot: The Influence and Implications of Climate Change on Coffee Berry Borer (*Hypothenemus hampei*) and Coffee Production in East Africa. *Plos One* 6(9): 1-14. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0024528>
- Jaramillo, J., Setamou, M., Muchugu, E., Chabi-Olaye, A., Jaramillo, A., Mukabana, J., Maina J., Gathara S., and Borgemeister, C. 2013. Climate Change or Urbanization? Impacts on a Traditional Coffee Production System in East Africa over the Last 80 Years. *Plos One* 8(1): 1-10. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0051815>
- Jürgen Pöhl, H., & Janssens, M. 2010. Growth and Production Of Coffee. En: Verhey W. Ed. Soils, Plant Growth and Crop Production - Volume III. United Kingdom. Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS). pp. 102-134.

- Killen, T., and Harper, G. 2016. Coffee in the 21ST Century. Will Climate Change and Increased Demand Lead to New Deforestation. New York: Conservation International. <https://www.conservation.org/docs/default-source/publication-pdfs/ci-coffee-report.pdf>. Consulta: 17 de mayo de 2017.
- Kutywayo, D., Chemura, A., Kusena, W., Chidoko, P., and Mahoya, C. 2013. The Impact of Climate Change on the Potential Distribution of Agricultural Pests: The Case of the Coffee White Stem Borer (*Monochamus leuconotus* P.) in Zimbabwe. *Plos One* 8(8): 1-11. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0073432>
- Laderach, P., Lundy, M., Jarvis, A., Ramirez, J., Perez-Portilla, E., Schepp, K., and Eitzinger, A. 2011. Predicted Impact of Climate Change on Coffee Supply Chains. The Economic, Social and Political Elements of Climate Change. *Climate Change Management*, 703-723. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-642-14776-0_42
- Läderach, P., Ramirez-Villegas, J., Navarro-Racines, C., Zelaya, C., Martínez-Valle, A., and Jarvis, A. 2017. Climate change adaptation of coffee production in space and time. *Climate Change* 141: 47-62. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10584-016-1788-9>
- Lewin, B., Gioveannucci, D., and Varangis, P. 2004. *Coffee Markets. New Paradigms in Global Supply and Demand*. Agriculture and Rural Development Discussion Paper 3. Washington, DC: The World Bank. <http://documents.worldbank.org/curated/en/899311468167958765/Coffee-markets-New-paradigms-in-global-supply-and-demand>. Consulta: 12 de enero de 2019
- Loreto, D., Esperón, M., and Barradas, V. 2017. The climatic-environmental significance, status and socioeconomic perspective of the grown-shade coffee agroecosystems in the central mountain region of Veracruz, Mexico. *Investigaciones Geográficas* 92: 1-14. DOI: <http://dx.doi.org/10.14350/rig.51876>
- Magrath, A., and Ghazoul, J. 2015. Climate and Pest-Driven Geographic Shifts in Global Coffee Production: Implications for Forest Cover, Biodiversity and Carbon Storage. *Plos One* 10(7): 1-15. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0133071>
- Mora, N. 2008. Agrocadena de Café. Ministerio de Agricultura y Ganadería. *Dirección Regional Huécar Norte*. <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/E70-9314.pdf>. Consulta: 14 de octubre de 2018.
- Mora, C., Frazier, A., Longman, R., Dacks, R., Walton, M., Tong, E., Tong E., Sanchez J., Kaiser Stender Y., Anderson J., Ambrosino C., Fernandez-Silva I., Giuseffi L., and Giambelluca, T. 2013. The projected timing of climate departure from recent variability. *Nature* 502: 183-196. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature12540>
- Mulinde, C., Majaliwa, J., Twinomuhangi, R., Mfitumukiza, D., Komutunga, E., Ampaire, E., Asiimwe J., Van Asten P., and Jassogne, L. 2019. Perceived climate risks and adaptation drivers in diverse coffee landscapes of Uganda. *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences* 88: 31-44. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.njas.2018.12.002>
- Nunes, M., Bierhuizen, J., and Ploegman, C. 1968. Effect of light, temperature and CO2 concentration on photosynthesis of *Coffea arabica*. *Acta Botanica Neerlandica* 17(2): 93-102. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1438-8677.1968.tb00109.x>
- Ortega Hernandez, A., and Ramírez Valverde, B. (2013). Crisis de la cafecultura y migración en el contexto de marginación. El caso de los productores indígenas de Huehuetla, Puebla. *Ra Ximhai* 9(1), 173-186. DOI: [10.35197/tx.09.01.e.2013.14.a0](https://doi.org/10.35197/tx.09.01.e.2013.14.a0)
- Ovalle, O., Läderach, P., Bunn, C., Obersteiner, M., and Schroth, G. 2015. Projected Shifts in *Coffea arabica* Suitability among Major Global Producing Regions Due to Climate Change. *Plos One* 10(4): 1-13. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0124155>
- Quiroga, S., Suárez, C., and Solís, J. D. 2015. Exploring coffee farmers' awareness about climate change and water needs: Smallholders' perceptions of adaptive capacity. *Environmental Science and Policy* 45: 53-66. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2014.09.007>
- Rahn, E., Läderach, P., Baca, M., Cressy, C., Schroth, G., Malin, D., Rikxoort H., and Shriver, J. 2013. Climate change adaptation, mitigation and livelihood benefits in coffee production: where are the synergies? *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 19: 1119-1137. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11027-013-9467-x>
- Rikxoort, H., Schroth, G., Läderach, P., and Rodríguez, 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>

- Rivera-Silva, M. D., Nikolskii Gavrilo, I., Castillo-Álvarez, M., Ordaz-Chaparro, V. M., Díaz-Padilla, G., and Guajardo-Panes, R. 2013. Vulnerabilidad de la Producción del Café (*Coffea arabica* L.) al Cambio Climático Global. *Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C.* 31(4): 305-313. <https://www.terralatinoamericana.org.mx/index.php/terra/article/view/272/217>.
- Robles Berlanga, H. 2011. Los Productores de Café en México: Problemática y Ejercicio del Presupuesto. *Mexican Rural Development Research Reports, Reporte 14*. Woodrow Wilson International Center for Scholars. https://www.wilsoncenter.org/sites/default/files/media/documents/publication/Hector_Robles_Cafe_Monografia_14.pdf. Consulta: 14 de enero de 2017.
- Ruiz Meza, L. E. 2014. Adaptive capacity of small-scale coffee farmers to climate change impacts in the Soconusco region of Chiapas, Mexico. *Climate and Development* 7(2): 100-109. DOI: <https://doi.org/10.1080/17565529.2014.900472>
- Schroth, G., Länderach, P., Blackburn Cuero, D. S., Neilson, J., and Bunn, C. 2015. Winner or loser of climate change? A modeling study of current and future climatic suitability of Arabica coffee in Indonesia. *Regional Environmental Change* 15: 1473-1482. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10113-014-0713-x>
- Schroth, G., Landerach, P., Dempewolf, J., Philpott, S., Hagggar, J., Eakin, H., Castillejos T., Garcia J., Soto L., Hernandez R., Eitzinge A., and Ramirez-Villegas, J. 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: <https://doi.org/10.1007/s11027-009-9186-5>
- Sobrino-Heredia, J. M. 2008. Desarrollo Sostenible, Calentamiento Global y Recursos Vitales para la Humanidad. *AFDUDC* 12: 883-904. DOI: <http://hdl.handle.net/2183/7451>
- Temis-Perez, A., López-Malo, A., and Sosa-Morales, M. 2011. Producción de café (*Coffea arabica* L.): Cultivo, beneficio, plagas y enfermedades. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos* 5(2), 54-74. [https://www.udlap.mx/WP/tsia/files/No5-Vol-2/TSIA-5\(2\)-Temis-Perez-et-al-2011.pdf](https://www.udlap.mx/WP/tsia/files/No5-Vol-2/TSIA-5(2)-Temis-Perez-et-al-2011.pdf)
- Tucker, C., Eakin, H., and Castellanos, E. 2010. Perceptions of risk and adaptation: Coffee producers, market shocks, and extreme weather in Central America and Mexico. *Global Environmental Change* 20: 23-32. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2009.07.006>
- Wolf, J., and Moser, S. 2011. Individual understandings, perceptions, and engagement with climate change: insights from in-depth studies across the world. *WIREs Climate Change* 2(4): 547-569. DOI: <https://doi.org/10.1002/wcc.120>
- Zuluaga, V., Labarta, R., and Läderach, P. 2015. Adaptation to Climate Change: The case of Nicaraguan Coffee Sector. Selected Paper prepared for presentation at the 2015 Agricultural & Applied Economics Association and Western Agricultural Economics Association Annual Meeting, San Francisco, CA, July 26-28 International Center of Tropical Agriculture (CIAT). Pp 1-39.

APÉNDICE

Tabla 5. Otros estudios de cambio climático y producción de café.

Referencia	Año	Región o País	Tema	Contribuciones del estudio	Metodología	Principales hallazgos
Gay et al., 2006	2006	Veracruz, México.	Variabes climáticas y rendimiento	Construir una función para generar información sobre la respuesta de la producción de café a los cambios en las variables económicas y climáticas.	Regresión General (Función de la producción)	La temperatura promedio del verano que maximiza la producción de café en Veracruz es 24.79 °C. Para temperaturas medias mayores o iguales a 28.29 °C, la producción se convierte en cero. Cambios en las temperaturas y precipitaciones podrían causar una reducción de hasta 34% en la producción de café de Veracruz para 2020.
Jaramillo et al., 2013	2013	Este de África	Cambios ambientales sobre el café	Conocer los efectos de los Cambios ambientales globales (GEC) sobre el café a nivel local en Nairobi, Kenia.	Mapas topográficos, datos espaciales y demográficos.	Las interacciones entre cambio climático, migración y urbanización, con sus modificaciones paisajísticas afectan el café. El café sombreado bio-diversificado resulta mucho más resistente y productivo que el café cultivado en monocultivo y fue significativamente menos perjudicado por plagas de insectos.
Rivera-Silva et al., 2013	2013	Veracruz, México.	Vulnerabilidad y productividad	Evaluar la vulnerabilidad de la producción del cultivo de café (<i>Coffea arabica</i> L.) en la zona centro del estado de Veracruz a mediados del siglo XXI.	Modelo teórico de la FAO-IIASA (2000).	Para el año 2050 en la zona centro del estado de Veracruz se estima una pérdida media de la producción de café (<i>Coffea arabica</i> L.) de 7 a 10% debido principalmente a la disminución de la precipitación.
Alves et al., 2013	2013	Brasil	Idoneidad	Caracterizar las áreas climáticas vulnerables de la producción de café en Brasil.	Sistemas de información geográfica y estadística.	Considerando el escenario de cambio climático A2 2080, las áreas adecuadas para el cultivo del café, se encontraran en estados del sur y sureste de Brasil.
Rahn et al., 2013	2013	Norte de Nicaragua	Adaptación y mitigación	Evaluar sinergias entre la mitigación del cambio climático y la adaptación en los sistemas de producción de café.	Talleres, entrevistas, visitas a fincas y el software Cool Farm Tool.	Los agricultores de baja capacidad adaptativa se caracterizaron por una alta dependencia del café y poca diversificación de los ingresos. El sistema de producción orgánico y la reforestación generan altas sinergias.
Rikxoort et al., 2014	2014	América Latina; México, Guatemala, Nicaragua, El Salvador y Colombia.	Huella de carbono y almacenamiento	Evaluar cómo diferentes sistemas de producción de café contribuyen o mitigan el cambio climático en cinco países latinoamericanos.	Encuesta Ecuaciones alométricas de Pearson et al. (2005) y Schroth et al. (2002) y Cool Farm Tool (CFT).	El 35% de la huella de carbono del café se debió a la producción y aplicación de fertilizantes, el 7% a emisiones de podas y residuos y el 57% emisiones de fermentación y aguas residuales. Los policultivos tradicionales tienen reservas de carbono de 42,5 Mg por ha y monocultivos sin sombra, de 10,5 Mg.
Craparo et al., 2015	2015	Tanzania e Implicaciones globales	Variabes climáticas y rendimiento	Cuantificar el impacto del cambio climático en la producción de café arábica de Tanzania.	Modelo ARIMA (AutoRegresive Integrated Moving Average)	El aumento de la temperatura nocturna (Tmin) es la variable climática más importante responsable de disminuir los rendimientos de <i>C. arabica</i> entre 1961 y 2012. Proyectando este avance, cada 1 °C aumento en Tmin resultará en pérdidas de rendimiento anual de 137 ± 16,87 kg ha ⁻¹ .
Dufèra-Bongase, 2017	2017		Review	Revisión de literatura de los impactos del cambio climático en la industria global de producción de café.	Review	La fluctuación del clima en el área cafetera resultó en una reducción en el rendimiento y la calidad, aumentando el brote de plagas, aumentando el costo de producción y reduciendo el área de producción. La consecuencia del problema puede hacer que el sector cafetero tenga un impacto negativo en los productores y consumidores.