



**COLEGIO DE POSTGRADUADOS**  
INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

**CAMPUS PUEBLA**

**POSTGRADO EN ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO AGRÍCOLA  
REGIONAL**

**IMPACTO POTENCIAL DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LA  
PRODUCCIÓN DE CAFÉ EN LA REGIÓN MAZATECA DE OAXACA Y  
REGIÓN DE CUETZALAN, PUEBLA**

**JESÚS GUERRERO CARRERA**

**TESIS**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE**

**DOCTOR EN CIENCIAS**

**PUEBLA, PUEBLA**

**2020**

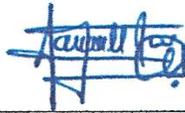
La presente tesis, titulada: **Impacto potencial del cambio climático sobre la producción de café en la región Mazateca de Oaxaca y región de Cuetzalan, Puebla**, realizada por el alumno: **Jesús Guerrero Carrera**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS

ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO AGRÍCOLA REGIONAL

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:



DR. JOSÉ LUIS JARAMILLO VILLANUEVA

DIRECTOR DE TESIS:



DR. JOSÉ JORGE MORA RIVERA

ASESOR:



DR. ANGEL BUSTAMANTE GONZÁLEZ

ASESOR:



DR. NÉSTOR GABRIEL ESTRELLA CHULIM

ASESOR:



DR. SAMUEL VARGAS LÓPEZ

PUEBLA, PUEBLA, 28 DE JULIO DE 2020.

**Impacto potencial del cambio climático sobre la producción de café en la región Mazateca de Oaxaca y región de Cuetzalan, Puebla**

**Jesús Guerrero Carrera, Dr.**

**Colegio de Postgraduados, 2020**

El cambio climático (CC) pone mayores presiones sobre la vulnerabilidad de la producción de café, este fenómeno contribuirá con mayores pérdidas en el rendimiento y calidad de la producción con efectos directos en el ingreso del productor y sobre su calidad de vida. El objetivo de la presente tesis fue analizar el impacto potencial del CC sobre el valor de las tierras dedicadas a la producción de café, así como la percepción del riesgo del productor y las medidas de adaptación que ante dicho fenómeno se han implementado en la región Mazateca de Oaxaca y la región de Cuetzalan Puebla. La presente investigación se realizó bajo el enfoque Ricardiano y un estudio sobre percepción del riesgo. Se encontró que el CC impactará drásticamente sobre el valor de las tierras dedicadas a la producción de café. Las estimaciones del impacto del CC sobre el valor de las tierras para la región Mazateca irían de 25% a 168% y para la región Cuetzalan de 37% a 177%. Los productores identificaron que el CC afectará el rendimiento y la calidad del producto, contribuyendo en la disminución de sus ingresos agrícolas. La percepción del riesgo no está siendo suficiente para que los productores implementen estrategias adaptativas en sus agroecosistemas. En cambio, la migración sigue siendo una ruta de escape ante la crisis cafetalera. 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 CC.

**Palabras clave:** Adaptación, café, cambio climático, enfoque Ricardiano, migración, percepción, vulnerabilidad.

**Potential impact of climate change on coffee production in the Mazateca region of Oaxaca  
and the Cuetzalan region, Puebla**

**Jesús Guerrero Carrera, Dr.**

**Colegio de Postgraduados, 2020**

Climate change (CC) puts greater pressure on the vulnerability of coffee production, this phenomenon will contribute to greater losses in the yield and quality of production with direct effects on the income of the producer and on his quality of life. The objective of this thesis was to analyze the potential impact of the CC on the value of the land dedicated to coffee production, as well as the perception of the producer's risk and the adaptation measures that have been implemented in the Mazateca region in light of this phenomenon. from Oaxaca and the Cuetzalan Puebla region. The present investigation was carried out under the Ricardian approach and a study on risk perception. It was found that the CC will dramatically impact the value of the land dedicated to coffee production. Estimates of the impact of the CC on the value of land for the Mazateca region would range from 25% to 168% and for the Cuetzalan region from 37% to 177%. The producers identified that the CC will affect the yield and the quality of the product, contributing to the decrease of their agricultural income. The perception of risk is not being sufficient for producers to implement adaptive strategies in their agroecosystems. Instead, migration continues to be an escape route from the coffee crisis. Due to the socio-economic importance that this activity represents for coffee-producing countries and the complexity of the factors that influence the problem, it is necessary to carry out more applied research that contributes to a better understanding of it and helps to identify risks and threats to generate timely strategies for adaptation and mitigation to the potential impacts of CC.

**Key words:** Adaptation, climate change, coffee, Ricardian approach, migration, perception, vulnerability.

## AGRADECIMIENTOS

Mis agradecimientos son principalmente al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) y al Colegio de Postgraduados (Campus Puebla), sin la beca hubiera sido imposible realizar el presente trabajo de tesis y lograr el grado de Doctor.

Agradezco infinitamente al Dr. José Luis Jaramillo Villanueva, profesor consejero, por su guía, consejos y respaldo en la toma de decisiones. Al Dr. José Jorge Mora Rivera, director de tesis, por el conocimiento y la rigurosidad transmitida en mi proceso de formación. Al Dr. Samuel Vargas López por su apoyo, su guía y recomendaciones para alcanzar los objetivos planteados. Al Dr. Ángel Bustamante González y Dr. Néstor Estrella Chulim por sus consejos y recomendaciones.

De la región Mazateca agradezco de manera especial al profesor Lic. Jesús Carrera García del municipio de Santa María Chilchotla, por facilitar el contacto y su guía con los productores de café de su municipio, así como el contacto con los productores del municipio de San Juan Coatzospam, Santa Cruz Acatepec, Santa Cruz de Juárez y San Mateo Yoloxochitlán.

Agradezco ampliamente al profesor Bernardo Cayetano Porras, del municipio de San Juan Coatzospam, por facilitar las entrevistas con los productores de su municipio.

Agradezco al dirigente Francisco Valdivia y a su esposa Yesica Cayetano de Coatzospam por su amistad y guía como informantes clave.

Agradezco al profesor Lic. Jesús Martínez Ignacio del municipio de Tenango por facilitar las entrevistas con los productores de la comunidad de Cerro Central y Cerro Quemado.

Al Ing. Efrén Gracia García, presidente municipal de Huautepac, por facilitarnos entrevistas con productores de su municipio.

Agradezco también de manera especial al Ing. Misael Carrera Martínez, amigo mío, por facilitarnos entrevistas con productores del Camarón Huautepac y por su guía como informante clave de la región Mazateca.

A mi amigo el Dr. Sergio Escobedo Garrido. por su gestión para lograr el contacto con la cooperativa Tosepan Titataniske.

A la Cooperativa Tosepan Titataniske, en especial al Ing. Álvaro Aguilar Ayón, asesor general de la cooperativa y al Ing. Leonardo Durán Olguín, asesor de la cooperativa; por facilitar el trabajo de campo en la región de Cuetzalan.

A los técnicos de la cooperativa, por su acompañamiento a campo; Rosalinda Heredia Hernández, Gilberto Mateo Rivera, Amancio López Pérez, Florencio Francisco Martín y Martha Hernández Julián.

## **DEDICATORIA**

El trabajo, la dedicación, el esfuerzo y las desveladas que ocasionaron la presente tesis se superaron gracias al apoyo incondicional, el respaldo y la fortaleza brindada por mi familia. Por tal motivo este logro es dedicado a ellos:

A mi compañera de vida, mi amiga, mi esposa; Sarahí Ríos Casas.

A mis ejemplos de vida, mis incondicionales, mis papas; Imelda Carrera García y Severo Catarino Guerrero González.

A mis hermanas, hermanos, y sobrinos mis potenciadores de superación personal;

Susana G. C.; Magnolia G. C.;

Arturo G. C.; Luis Manuel G. C.; Cesar G.C.; Javier G. C.;

Karla Linette C. G.; Sahily Hennelle M. G. y especialmente a Josué C. G.

## CONTENIDO

	Página
RESUMEN .....	iii
ABSTRACT .....	iv
AGRADECIMIENTOS .....	v
DEDICATORIA .....	vii
CONTENIDO .....	viii
LISTA DE FIGURAS .....	x
LISTA DE TABLAS .....	x
INTRODUCCIÓN GENERAL .....	1
JUSTIFICACIÓN .....	2
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	3
PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN .....	5
HIPÓTESIS GENERAL .....	5
OBJETIVO GENERAL .....	5
BIBLIOGRAFÍA .....	6
CAPITULO I. IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LA PRODUCCIÓN DE CAFÉ <sup>1</sup> .....	9
SUMMARY .....	9
RESUMEN .....	10
INTRODUCCIÓN .....	10
VARIABLES CLIMÁTICAS EN EL CAFÉ .....	11
VULNERABILIDAD SOCIAL DE PRODUCTORES DE CAFÉ ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO .....	14
IDONEIDAD Y CAMBIO DE ZONAS APTAS PARA LA PRODUCCIÓN DE CAFÉ .....	16
PLAGAS Y ENFERMEDADES .....	21
PERCEPCIÓN DE PRODUCTORES DE CAFÉ .....	23
ADAPTACIÓN .....	26
INTERVENCIÓN GUBERNAMENTAL .....	29
RECOMENDACIONES .....	31
CONCLUSIONES .....	31
BIBLIOGRAFÍA .....	32
CAPITULO II. IMPACTO POTENCIAL DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LA PRODUCCIÓN DE CAFÉ BAJO UN ENFOQUE RICARDIANO .....	37
RESUMEN .....	37
SUMMARY .....	37
INTRODUCCIÓN .....	38
MATERIALES Y MÉTODOS .....	39

RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	45
PROYECCIONES CON ESCENARIOS .....	51
CONCLUSIONES .....	52
ANEXOS .....	55
BIBLIOGRAFÍA .....	59
CAPITULO III. PERCEPCIÓN DE PRODUCTORES DE CAFÉ AL CAMBIO CLIMÁTICO: IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS PARA LA ADAPTACIÓN.....	
RESUMEN .....	63
ABSTRACT .....	63
INTRODUCCIÓN .....	64
MATERIALES Y MÉTODOS.....	66
RESULTADOS .....	67
DISCUSIÓN .....	76
CONCLUSIONES .....	79
BIBLIOGRAFÍA .....	80
CONCLUSIONES GENERALES.....	84

## LISTA DE FIGURAS

	Página
<b>Figura 0.1.</b> Producción en toneladas de café cereza para la Región Mazateca de Oaxaca y el Municipio de Cuetzalan Puebla. Datos tomados del (SIAP, 2020). .....	4
<b>Figura I.1.</b> Condiciones óptimas de altitud, temperatura, y precipitación para las variedades arábica y robusta. ....	13
<b>Figura I.2.</b> Vulnerabilidad del productor de café; entorno técnico-socioeconómico, cambio climático y variabilidad climática. ....	15
<b>Figura III.1.</b> Años en que cambiaron las temperaturas, de acuerdo a la opinión de los productores de la región Mazateca. ....	69
<b>Figura III.2.</b> Años en que cambiaron las temperaturas, de acuerdo a la opinión de los productores de la región Cuetzalan.....	69
<b>Figura III.3.</b> Años en que cambiaron las precipitaciones, de acuerdo a la opinión de los productores de la región Mazateca. ....	70
<b>Figura III.4.</b> Años en que cambiaron las precipitaciones, de acuerdo a la opinión de los productores de la región Mazateca. ....	70
<b>Figura III.5.</b> Amenazas en la producción de café en las regiones Mazateca y Cuetzalan .....	72

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla I.1.</b> Estudios de idoneidad a escala global. ....	17
<b>Tabla I.2.</b> Estudios de idoneidad a escala regional. ....	18
<b>Tabla I.3.</b> Estudios relacionados con la influencia del CC sobre plagas y enfermedades que afectan la producción de café. ....	22
<b>Tabla I.4.</b> Principales estudios sobre la percepción de los productores de café ante el cambio climático. ....	23

<b>Tabla II.1.</b> Determinantes del valor de la tierra en la producción de café.....	46
<b>Tabla II.2.</b> Determinantes sobre el valor de la tierra en la producción de café.....	48
<b>Tabla II.3.</b> Impacto marginal del clima sobre el valor de la tierra.....	51
<b>Tabla II.4.</b> Proyecciones del impacto del CC sobre el valor de la tierra.....	52
<b>Tabla II.5.</b> Variables obtenidas de (Ajetomobi <i>et al.</i> , 2011; Waha <i>et al.</i> , 2016).....	55
<b>Tabla II.6.</b> Interpolaciones Kriging de precipitación en las regiones Mazateca y Cuetzalan.....	56
<b>Tabla II.7.</b> Interpolaciones IDW de temperatura para las regiones Mazateca y Cuetzalan.....	57
<b>Tabla II.8.</b> Escenarios de cambio climático e impactos sobre el valor de la tierra.....	58
<b>Tabla III.1.</b> Principales causas de mermas en la producción de café.....	68
<b>Tabla III.2.</b> Cambios observados por los cafecultores en cuanto a las precipitaciones. .....	69
<b>Tabla III.3.</b> Consecuencias por aumento de la temperatura.....	70
<b>Tabla III.4.</b> Efectos por alteraciones en la precipitación.....	71
<b>Tabla III.5.</b> Principales amenazas que afectan los ingresos del productor.....	72
<b>Tabla III.6.</b> Capacidad del hogar para hacer frente a estas amenazas.....	73
<b>Tabla III.7.</b> Cambios observados en las localidades debido al fenómeno del cambio climático.....	74
<b>Tabla III.8.</b> Riesgos debido al fenómeno del cambio climático.....	75

## INTRODUCCIÓN GENERAL

En México, la cafecultura ha sido una actividad productiva estratégica en los planos económico, social y ambiental para las comunidades rurales marginadas (Escamilla *et al.*, 2005; Robles 2011; Figueroa *et al.*, 2015). En el plano económico, la producción de café representa la principal fuente de ingresos para muchos productores por la venta del producto en sus diversas presentaciones (cereza, capulín, pergamino); además, es una actividad importante en la generación de empleos locales (Robles, 2011; Canet y Soto, 2016). En el plano social se ha integrado como una actividad cultural con la que se organiza la forma de vida de muchas comunidades cafetaleras en México (Ajea, 2009; Robles, 2011). En el plano ambiental, las plantaciones de café se hallan intercaladas con sombra diversificada, contribuyen a la conservación de suelos y tienen una interacción ecológica esencial con la biodiversidad, por ejemplo, con aves e insectos polinizadores como las abejas (Moguel y Toledo, 1996; Escamilla *et al.*, 2005; Imbach *et al.*, 2017).

Los principales estados productores de café en México son Chiapas, Veracruz, Oaxaca y Puebla. En estas entidades se concentra el 90% de la producción nacional (Figueroa *et al.*, 2015; FIRA, 2015). Sin embargo, los productores de café enfrentan diversas problemáticas, como la baja rentabilidad del producto (Benítez, *et al.*, 2015; Gay *et al.*, 2006), causada por la inestabilidad de los precios que se generó a partir de 1989 (Vásquez, 2014; Portillo, 1993), también padecen de un bajo nivel tecnológico y falta de apoyo gubernamental (Robles, 2011). Además, la entrada de la roya del café (*Hemileia vastatrix*) a México en 2012 afectó significativamente las plantaciones cafetaleras (FIRA, 2015).

Aunado a lo anterior, el cambio climático (CC) ya ha tenido impactos negativos en los rendimientos y la calidad de la producción de café (Craparo *et al.*, 2015). A nivel global la temperatura está aumentando, lo que resulta en una enorme pérdida en los rendimientos de la producción de café *arabica* (Alemu y Dufera, 2017). De igual forma se espera un impacto negativo y progresivo del CC que iría de un 30% hasta 90% sobre las áreas disponibles para la producción de café a nivel global (Laderach *et al.*, 2011; Davis *et al.*, 2012; Magrath y Ghazoul, 2015; Bunn *et al.*, 2015; Schroth *et al.*, 2015; Läderach *et al.*, 2017; Imbach *et al.*, 2017).

El estudio de los impactos potenciales del CC sobre la producción de café se ha realizado con el apoyo de diversas metodologías que han generado resultados y aportaciones relevantes, por ejemplo, están los métodos de modelado utilizados para estimar los cambios de idoneidad y aptitud de las zonas productoras de café considerando escenarios climáticos futuros (Bunn *et al.*, 2015; Craparo *et al.* 2015; Laderach *et al.*, 2011; Schroth, *et al.*, 2015; Laderach *et al.*, 2017; Imbach *et al.*, 2017). Por otro lado, también se han utilizado enfoques agronómicos y de función de producción (Rivera *et al.*, 2013; Gay *et al.*, 2006); sin embargo, estos enfoques han presentado importantes desventajas para evaluar el impacto económico y la adaptación al CC (Mendelsohn *et al.*, 1994; Schkenker *et al.*, 2006). Por lo tanto, se planteó realizar ésta investigación bajo el enfoque Ricardiano. Este método estima la *productividad neta de las tierras agrícolas* en función de variables climáticas, características de los suelos y diversas variables económicas y sociodemográficas de control (Mendelsohn & Dinar, 2009).

Por otro lado, las medidas de adaptación juegan un papel esencial para reducir y mitigar muchos de los impactos potencialmente negativos del CC (IPCC, 2007). La percepción del riesgo ante el CC es un prerequisite necesario para entender la adaptación de los productores; además, ayuda a dimensionar el efecto del CC sobre la producción de café, para posteriormente generar y recomendar estrategias de adaptación que sean económica y socialmente viables (Maddison, 2007; Whitmarsh y Capstick, 2018).

El objetivo de la presente tesis es conocer el impacto potencial del CC sobre el valor de las tierras dedicadas a la producción de café, la percepción de riesgo del productor y los factores que determinan sus potenciales medidas de adaptación ante este fenómeno en la región Mazateca de Oaxaca y en la región de Cuetzalan en Puebla. Las regiones seleccionadas son relevantes por su alta dependencia de la producción de café y destacan como dos de las principales regiones cafetaleras del País (Moguel y Toledo, 1999)

## **JUSTIFICACIÓN**

La producción de café en México ocupa 3.3% del área total agrícola y el 90% de la superficie dedicada a esta actividad se localiza en zonas con muy alta marginación (FIRA, 2015). En las regiones cafetaleras del País existe poca diversificación productiva (Robles, 2011), por lo que la cafecultura se posiciona como la principal actividad generadora de empleos y autoempleos por

concepto de limpia, poda, control de plagas, corte del café y en algunos casos fertilización del cultivo (Robles, 2011; Flores *et al.*, 2002; Figueroa *et al.*, 2015).

Las problemáticas que enfrentan estos productores son diversas; van desde altos costos por renovación, mano de obra escasa, desgaste de suelos, plagas, enfermedades, precios bajos en el mercado y escaso apoyo gubernamental (Robles, 2011). Aunado a lo anterior, el CC es una de las principales causas que han mermado la producción de café a nivel regional y global (Gay *et al.*, 2006; Laderach *et al.*, 2011; Rivera *et al.*, 2013, Imbach *et al.*, 2017; Bunn *et al.*, 2015).

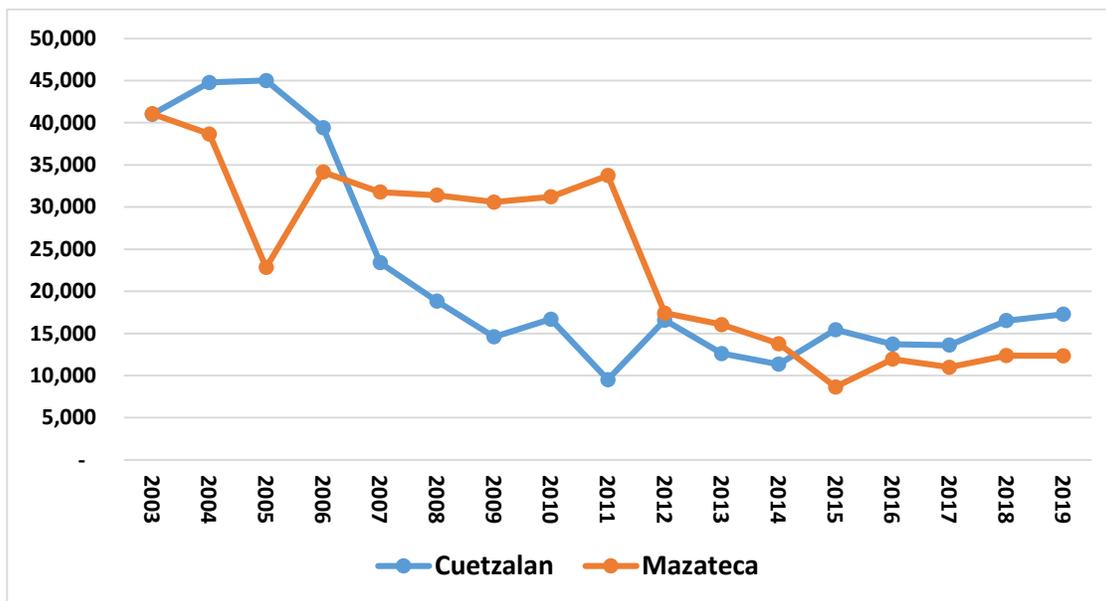
La producción de café es una actividad importante en la región de Cuetzalan Puebla, región que involucra para este estudio al municipio de Cuetzalan del Progreso y los municipios vecinos circundantes (Rivadeneira y Ramírez, 2006; Moguel y Toledo, 1999). De igual forma, en los municipios de la región Mazateca la cafecultura es la principal actividad productiva (Flores, 1974; CDI, 2008). Estas regiones se encuentran en zonas altamente vulnerables al fenómeno del CC (Monterroso *et al.*, 2014). Aunado a ello, en las últimas dos décadas, la producción y los ingresos derivados de la cafecultura han venido disminuyendo en estas dos regiones (SIAP, 2020).

Ante el panorama mencionado, es oportuno un análisis interdisciplinario que integre los planos económico y social del impacto potencial del CC sobre la cafecultura, con el fin de identificar causas y consecuencias de los elementos que afectan esta actividad; así mismo, los resultados de esta investigación sustentan la oportunidad de generar recomendaciones sobre estrategias adaptativas y de desarrollo (Galindo y Caballero, 2010; Laderach *et al.*, 2011; Whitmarsh y Capstick, 2018).

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En México se ha reportado una constante disminución de la producción de café que se mantiene hasta la fecha (Canet y Soto, 2016). En el estado de Puebla, del periodo 2004 a 2011 la producción de café cereza paso de un rendimiento de 4.7 a 1.9 toneladas por hectárea, rendimiento que no ha logrado recuperarse (FIRA, 2015). Para el estado de Oaxaca, la mayor reducción de la producción de café cereza sucedió entre 2014 y 2015 con una disminución del 36% de la producción total para este estado (FIRA, 2015).

De igual forma, datos para el periodo 2003-2020 del SIAP (2020) muestran que la región Mazateca pasó de 41,000 a 12,345 toneladas de café cereza, lo que representa una disminución del 70% de la producción. Por su parte, la región de Cuetzalan pasó de una producción de 41,000 a 17,270 toneladas de café cereza, lo que representa una disminución del 58% (Figura 1).



**Figura 0.1.** Producción en toneladas de café cereza para la Región Mazateca de Oaxaca y el Municipio de Cuetzalan Puebla. Datos tomados del (SIAP, 2020).

La caída en los rendimientos e ingresos en la producción de café generan gran preocupación, pues se suman a otros problemas que padecen estas regiones, como la alta marginación y la vulnerabilidad al fenómeno del CC (Benítez, *et al.*, 2015; CDI, 2008; Monterroso *et al.*, 2014). Las principales investigaciones sobre los efectos del CC en la producción de café sugieren que la fluctuación del clima afecta dramáticamente el rendimiento y la calidad de la producción de café, beneficia el brote de plagas/enfermedades y disminuye las áreas idóneas para la cafecultura (Dufera, 2017; Bunn *et al.*, 2015; Craparo *et al.*, 2015; Jaramillo *et al.*, 2011; Gay *et al.*, 2006; Laderach *et al.*, 2011; Rivera *et al.*, 2014; Zuluaga *et al.*, 2015).

Los resultados mencionados muestran la relevancia de las investigaciones del impacto del CC sobre la producción de café (Laderach *et al.*, 2017). Por ello, la importancia de abordar esta investigación bajo el modelo Ricardiano y la percepción del riesgo. En conjunto, estos estudios permiten dar una perspectiva holística respecto al impacto del CC sobre la producción de café (Galindo y Caballero, 2010).

El enfoque Ricardiano examina cómo el clima afecta *la renta neta, el valor de las tierras o el ingreso agrícola*. Este enfoque es más bien comparativo entre diferentes regiones climáticas, por lo que se examinan los datos climáticos, características de suelos, factores geográficos, agrícolas, económicos y demográficos para determinar el valor intrínseco del clima en las diferentes tierras de cultivo. De esta manera se puede analizar el efecto de las variables climáticas y las variables no climáticas tanto en la *renta o valor de la tierra* como en los *ingresos netos* de las unidades de producción (Mendelsohn *et al.*, 1994). El análisis de la percepción del riesgo complementa al enfoque Ricardiano porque permite dimensionar el impacto del CC sobre la cafecultura desde la perspectiva del productor, ayuda a comprender las acciones adaptativas de los productores, argumenta la formulación de estrategias adaptativas y recomendaciones para hacer frente al fenómeno del CC (Maddison *et al.*, 2007; Whitmarsh y Capstick, 2018).

En el País y en especial en los estados de Oaxaca y Puebla no existen estudios relevantes sobre impacto potencial del CC en la producción de café. Por lo tanto, en esta investigación se abordó el impacto del CC sobre la producción de café en la región Mazateca de Oaxaca y la región de Cuetzalan Puebla. Lo anterior, bajo el enfoque Ricardiano y un estudio sobre la percepción del riesgo y medidas de adaptación de los productores de café ante el fenómeno del CC.

## **PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN**

¿Cuál es el impacto económico potencial del CC sobre la producción de café en la Región Mazateca de Oaxaca y de Cuetzalan en Puebla?

<b>HIPÓTESIS GENERAL</b>	<b>OBJETIVO GENERAL</b>
En la región Mazateca de Oaxaca y la región de Cuetzalan Puebla, el CC impactará significativamente sobre el valor de la tierra dedicada a la producción de café, además, este fenómeno se identifica como la principal amenaza de riesgo para la cafecultura forzando a los productores a implementar medidas adaptativas.	Analizar el impacto potencial del CC sobre el valor de las tierras dedicadas a la producción de café, así como la percepción del riesgo del productor y las medidas de adaptación que ante dicho fenómeno se han implementado en la región Mazateca de Oaxaca y la región de Cuetzalan Puebla.

<b>HIPÓTESIS PARTICULARES</b>	<b>OBJETIVOS PARTICULARES</b>
1. El CC impactará negativamente sobre el valor de las tierras dedicadas a la producción de café en la región Mazateca de Oaxaca y la región de Cuetzalan Puebla.	1. Evaluar el impacto potencial del CC sobre el valor de las tierras dedicadas a la producción de café en la región Mazateca de Oaxaca y en la región de Cuetzalan Puebla.
2. Los productores de café de las regiones Mazateca y de Cuetzalan perciben en función de su nivel socioeconómico, las amenazas de riesgo generadas por el CC e implementan medidas de adaptación que son función de su nivel de percepción.	2. Determinar la relación del nivel socioeconómico del productor de café con su percepción de riesgos ante el CC y las medidas de adaptación que están implementando para contrarrestar los impactos negativos de este fenómeno.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Ajea Mendoza, M. T. (2009). Café y cultura productiva en una región de Veracruz. *Nueva Antropología*, 22(70), 33-56.
- Alemu, A., & Dufera, E. (2017). Climate smart coffee (coffea arabica) production. *American Journal of Data Mining and Knowledge Discovery*, 2(2), 62-68.
- Benítez García, E., Jaramillo Villanueva, J., Escobedo| Garrido, S., & 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.
- Bunn, C., Läderach, P., Ovalle Rivera, O., & Kirschke, D. (2015). A bitter cup: climate change profile of global production of Arabica and Robusta coffee. *Climatic Change*, 129, 89-101.
- Canet, G., & Soto, C. (2016). Capítulo I. Panorama general de la caficultura en Latinoamérica. En G. Canet Brenes, C. Soto Viquez, P. Ocampo Thomason, J. Rivera Ramírez, A. Navarro Hurtado, G. Guatemala Morales, & S. Villanueva Rodríguez, *La situación y tendencias de la producción de café en América Latina y el Caribe* (págs. 1-20). San José, Costa Rica: IICA/CIATEJ.
- CDI. (2008). *Condiciones Socioeconomicas y Demográficas de la Población Indígena* (CDI ed., Vol. 1). Oaxaca, Oaxaca, México: Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas.
- Craparo, A. C., Van Asten, P. J., Läderach, P., Jassogne, L. T., & Grab, S. W. (2015). Coffea arabica yields decline in Tanzania due to climate change: Global implications. *Agricultural and Forest Meteorology*, 207, 1-10.
- Davis, A., Woldemariam Gole, T., Baena, S., & Moat, J. (2012). The impact of climate change on indigenous arabica coffee (Coffee arabica): Preding future trends and identifying priorities. *Plos One*, 7(11), 1-13.
- Dufera Bongase, E. (2017). Impacts of climate change on global . *African Journal of Agricultural Research*, 12(19), 1607-1611.

- Escamilla, E., Ruiz, O., Díaz, G., Landeros, C., Platas, D., Zamarripa, A., & González, V. (2005). El agroecosistema café orgánico en México. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología*(76), 5-16.
- Figueroa Hernandez, E., Pérez Soto, F., & Godínez Montoya, L. (2015). *La producción y el consumo del café*. ECORFAN .
- FIRA. (2015. ). *Panorama Agroalimentario. Café 2015*. FIRA.
- Flores de la Vega, M. (1974). La Sierra Mazateca: Algunos de sus problemas socioeconómicos. *Banco Nacional de Comercio Exterior, S. A., XXIV*(6), 614-618.
- Flores, M., Bratescu, A., Martínez, J., Oviedo, J., & Acosta, A. (2002). Centroamérica: El impacto de la caída de los precios del café. *CEPAL, 9*, 1-77.
- Galindo, L. M., & Caballero, K. (2010). La economía del cambio climático en México: Algunas reflexiones. *Gaceta de Economía, I*(Número Especial), 85-113.
- Gay, C., Estrada, F., Conde, C., Eakin, H., & 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.
- Imbach, P., Fung, E., Hannah, L., Navarro-Racines, C., Roubik, D., Ricketts, T., . . . Roehrdanz, P. (2017). Coupling of pollination services and coffee suitability under climate change. *PNAS, 114*(39), 10438-10442.
- IPCC. (2007). *Cambio climático* (Informe de Síntesis ed.). Ginebra, Suiza: IPCC.
- Jaramillo, J., Muchugu, E., Vega, F., Davis, A., Borgemeister, C., & 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.
- Laderach, P., Lundy, M., Jarvis, A., Ramirez, J., Perez Portilla, E., Schepp, K., & Eitzinger, A. (2011). Predicted Impact of Climate Change on Coffe Supply Chains. *The Economic, Social and Political Elements of Climate Change. Climate Change Management, 703-723*.
- Läderach, P., Ramirez-Villegas, J., Navarro-Racines, C., Zelaya, C., Martinez-Valle, A., & Jarvis, A. (2017). Climate change adaptation of coffee production in space and time. *Climate Change, 141*, 47-62.
- Maddison, D., Manley, M., & Kurukulasuriya, P. (2007). *The Impact of Climate Change on African Agriculture*. South Africa: The World Bank.
- Magrath, A., & 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.
- Mendelsohn, R., & Dinar, A. (2009). *Climate Change and Agriculture. An economic analysis of global impacts, adaptation and distributional effects*. Massachusetts, USA: World Bank.

- Mendelsohn, R., Nordhaus, W., & Shaw, D. (1994). The Impact of Global Warming on Agriculture: A Ricardian Analysis. *The American Economic Review*, 84(4), 753-771.
- Moguel, P., & Toledo, V. (1996). El café en México, ecología, cultura indígena y sustentabilidad. *Ciencias*(43), 40-51.
- Moguel, P., & Toledo, V. (1999). Café, luchas indígenas y sostenibilidad; el caso de México. *Ecología Política*(18), 23-36.
- Monterroso Rivas, A., Fernández Eguiarte, A., Trejo Vázquez, R., Conde Álvarez, A., Escandon Calderon, J., Villers Ruiz, L., & Gay García, C. (2014). *Vulnerabilidad y adaptación a los efectos del cambio climático en México* (Primera Edición ed.). DCMX: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Portillo, L. (1993). El convenio internacional del café y la crisis del mercado. *Comercio exterior*, 43(4), 378-391.
- Rivadenerya Pasquel, J., & Ramírez Valverde, B. (2006). EL Comercio Local del Café a Raíz de su Crisis en la Sierra Norte de Puebla. *Revista Mexicana de Agronegocios*, X(18).
- Rivera Silva, M. D., Nikolskii Gavrilov, I., Castillo Álvarez, M., Ordaz Chaparro, V. M., Díaz Padilla, G., & 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.
- Robles Berlanga, H. (2011). Los Productores de Café en México: Problemática y Ejercicio del Presupuesto. *Mexican Rural Development Research Reports, Reporte 14*, 1-59.
- Schlenker, W., Hanemann, M., & Fisher, A. (2006). The impact of global warming on U.S. agriculture: An econometric analysis of optimal growing conditions. *The Review of Economics and Statistics*, 88(1), 113-125.
- Schroth, G., Läderach, P., Blackburn Cuero, D. S., Neilson, J., & Bunn, C. (2015). Winner or loser of climate change? A modeling study of current and future climatic suitability of Arabica coffee in Indonesia. *Reg Environ Change*, 15, 1473-1482.
- SIAP. (2020). *Datos Planos*. Ciudad de México: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Recuperado el 2017, de [http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos\\_a.php](http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos_a.php)
- Vásquez Pérez, J. (2014). crisis del cafpe y cultura del trabajo en el contexto de la acumulación flexible en el centro de Veracruz, México. *Entorno Geográfico* (10), 136-151.
- Whitmarsh, L., & Capstick, S. (2018). Perception of climate change. En S. Clayton, & C. Manning (Edits.), *Psychology and Climate Change* (págs. 14-33). Elsevier.
- Zuluaga, V., Labarta, R., & Läderach, P. (2015). Adaptation to Climate Change: The case of Nicaraguan Coffee Sector. *International Center of Tropical Agriculture (CIAT)*, 1-39.

# CAPITULO I. IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LA PRODUCCIÓN DE CAFÉ<sup>1</sup>

Jesús Guerrero-Carrera <sup>1</sup>, José Luis Jaramillo-Villanueva <sup>1\*</sup>, Jorge Mora-Rivera <sup>2</sup>, Ángel Bustamante-González<sup>1</sup>, Samuel Vargas-López <sup>1</sup>, Néstor Chulim-Estrella <sup>1</sup>

<sup>1</sup> *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](mailto:jaramillo@colpos.mx)*

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

\* *Autor de correspondencia*

## 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.

---

<sup>1</sup>*Artículo enviado y aceptado en la revista Tropical and Subtropical Agroecosystems. Incluida en Índice de Revistas Mexicanas de Investigación, Ciencia y Tecnología (CONACyT).*

## 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.

## INTRODUCCIÓN

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

En México, los bajos ingresos que los productores de café perciben no les permiten mejorar sus condiciones socioeconómicas (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 antes 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 y desajustes en los periodos de precipitación (Mora *et al.*, 2013; IPCC, 2007).

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 las 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 aproximadamente 30 años (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). De acuerdo con Iscaro (2014), el *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, Plos One, PNAS. Los artículos científicos apegados con los apartados de nuestro objetivo fueron integrados en el presente análisis.

## **VARIABLES CLIMÁTICAS EN EL CAFÉ**

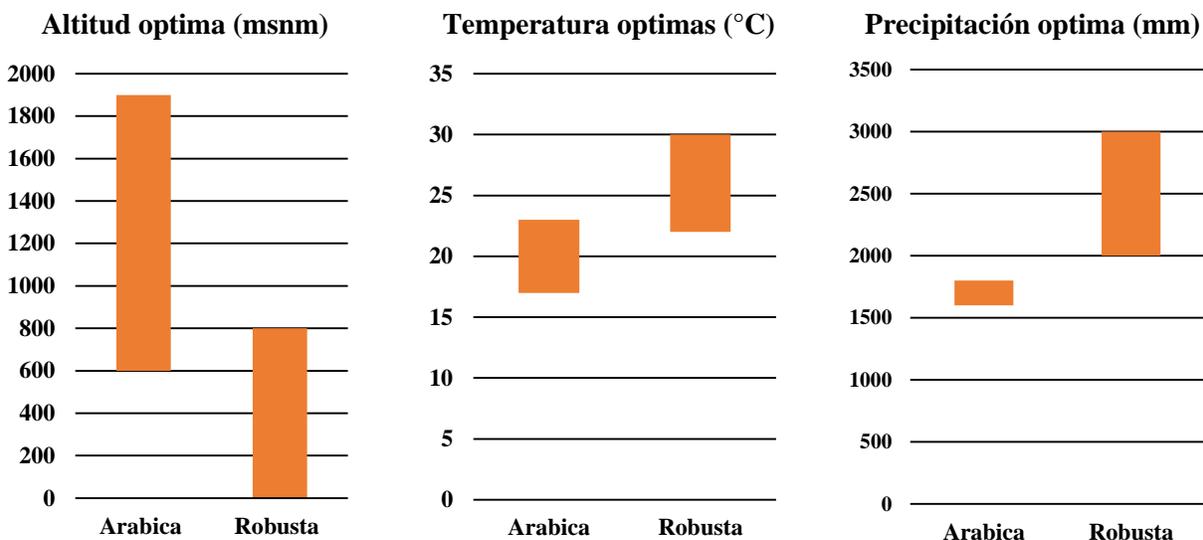
En éste apartado se mencionan las principales características bioclimáticas en que se desarrollan las dos variedades más importantes de café en el mundo, café arábico (*coffea arabica*) y café

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 *arábica* 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 *arábica* (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).



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

Fuente: Elaboración propia.

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. Como también la radiación solar y la humedad relativa juegan un papel importante en los procesos fisiológicos del cafeto, sin embargo, las temperaturas y las lluvias son las principales determinantes en el rendimiento para este cultivo (Camargo, 2010). Por otro lado, en las regiones con una temperatura media anual del aire por debajo de 18 °C, el crecimiento disminuye y 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 un modelo ARIMA (*movimiento promedio autorregresivo integrado*) cuantificaron el impacto del cambio climático sobre la producción de café *arábica* en Tanzania, encontraron que la *temperatura mínima nocturna (Tmin)* es la variable climática que mayores repercusiones tiene sobre los rendimientos de *C. arábica*. 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  $137 \pm 16,87 \text{ kg ha}^{-1}$ .

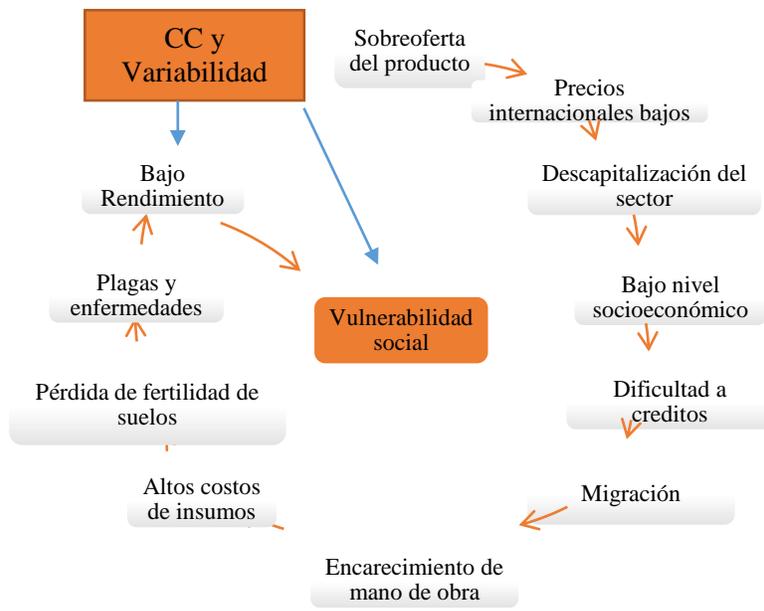
Rivera-Silva *et al.* (2013) encontraron que para mediados del siglo XXI en la zona centro del estado de Veracruz se espera una pérdida media de la producción de café (*Coffea arabica L.*) de 7 a 10% siendo la precipitación la principal causa. Las afectaciones por precipitación le corresponden alrededor de 65% en la pérdida esperada de cosecha de café, mientras que el incremento en la temperatura repercutiría negativamente en el 35% de la producción.

## **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 cafecultura 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 cafecultura existe un complejo de factores que intervienen en la problemática de la vulnerabilidad social de los productores de café (Figura 1). 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).



**Figura I.2.** Vulnerabilidad del productor de café; entorno técnico-socioeconómico, cambio climático y variabilidad climática.

Fuente: elaboración propia.

Durante los últimos años ha habido un crecimiento constante de la producción mundial de café y existe un superávit con relación a su consumo (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 se incrementaron 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 volatilidad, provocando inseguridad en el mercado cafetalero, posteriormente, los precios del aromático tuvieron una tendencia a la baja (ICAFFE, 2017).

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 de 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 climático 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 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 30 hasta 90% del total de las áreas disponibles (Laderach *et al.*, 2011; Davis *et al.*, 2012; Magrath 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 los estudios de Bunn *et al.* (2014) y Magrath y Ghazoul (2015) se espera que una mayor temperatura media afectará 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.

**Tabla I.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 demanda 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.

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 repercuten 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, y 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.

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.

**Tabla I.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 y áreas adecuadas para los polinizadores de café en climas actuales y futuros en América Latina.	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 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 Laderach *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 afectarán 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 cafeticultores, 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 (Imbach *et al.*, 2017).

En Etiopia, 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 conducirá 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 cafeticultores, 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 cafeticultura.

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.

## **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).

**Tabla I.3.** Estudios relacionados con la influencia del CC 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 de <i>Meloidogyne incognita</i> y <i>Leucoptera coffeella</i> .

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 se mencionan los principales trabajos realizados acerca de la percepción del impacto del cambio climático en la producción de café (Tabla, 4).

**Tabla I.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, México 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 región 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.

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 cafeticultura. 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 cafeticultura 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 cafeticultores.

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 cafeticultores 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.

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 (Länderach *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 cafeticultura, ante la reducción de áreas idóneas para la producción de café habría que migrar a zonas más altas (Magrath 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; Länderach *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; Laderach *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; Magrath 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) se reportó 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 cafeticultores 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 debilidades 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 totales 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; incrementando 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. Investigaciones con estas características, acompañadas 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 cafeticultura 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 al 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 significan 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.

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

## **BIBLIOGRAFÍA**

Alemu, A., & Dufera, E. (2017). Climate Smart Coffee (coffea arabica) Production. *American Journal of Data Mining and Knowledge Discovery*, 2(2), 62-68.

Alves, M. C., Moreira da Silva, F., Sanches, L., Gonsaga de Carvalho, L., Araújo, G., & Ferraz, S. (2013). Geospatial analysis of ecological vulnerability of coffee agroecosystems in Brazil. *Appl Geomat*, 5, 87-97.

Baca, M., Läderach, P., Hagggar, J., Schroth, G., & 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.

- Benítez-García, E., Jaramillo-Villanueva, J., Escobedo-Garrido, S., & Mora-Flores, S. (2015). Caracterización de la producción y del comercio de café en el municipio de Cuetzalan, Puebla. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 12, 181-198.
- Bunn, C., Läderach, P., Ovalle Rivera, O., & Kirschke, D. (2015). A bitter cup: climate change profile of global production of Arabica and Robusta coffee. *Climatic Change*, 129, 89-101.
- Bunn, C., Läderach, P., Pérez Jimenez, J., Montagnon, C., & Schilling, T. (2015b). Multiclass Classification of Agro-Ecological Zones for Arabica Coffee: An Improved Understanding of the Impacts of Climate Change. *PLOS ONE*, 1-16.
- Camargo, M. (2010). The impact of climatic variability and climate change on arabic coffee crop in Brazil. *Agrometeorologia*, 69(1), 239-247.
- Canet, G., & Soto, C. (2016). Capítulo I. Panorama general de la caficultura en Latinoamérica. En G. Canet Brenes, C. Soto Viquez, P. Ocampo Thomason, J. Rivera Ramírez, A. Navarro Hurtado, G. Guatemala Morales, & S. Villanueva Rodríguez, *La situación y tendencias de la producción de café en América Latina y el Caribe* (págs. 1-20). San José, Costa Rica: IICA/CIATEJ.
- Cilas, C., Goebel, F.-R., Babin, R., & Jacques, A. (2016). Tropical Crop Pests and Diseases in a Climate change Setting - A few examples. En E. Torquebiau (Ed.), *Chapter: 6. Climate change and agriculture worldwide* (págs. 73-82). New York, London: Éditions Quæ.
- Craparo, A. C., Van Asten, P. J., Läderach, P., Jassogne, L. T., & Grab, S. W. (2015). Coffea arabica yields decline in Tanzania due to climate change: Global implications. *Agricultural and Forest Meteorology*, 207, 1-10.
- Damatta, F., Ronchi, C., Maestri, M., & Barros, R. (2015). Ecophysiology of coffee growth and production. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 19(4), 485-510.
- Davis, A., Woldemariam Gole, T., Baena, S., & Moat, J. (2012). The Impact of Climate Change on Indigenous Arabica Coffee (*Coffea arabica*): Predicting Future Trends and Identifying Priorities. *Plos One*, 7(11), 1-13.
- Descroix, F., & Snoeck, J. (2004). Environmental Factors Suitable for Coffee Cultivation. En *Coffee: Growing, Processing, Sustainable Productivity* (págs. 164-177).
- Dufera Bongase, E. (2017). Impacts of climate change on global . *African Journal of Agricultural Research*, 12(19), 1607-1611.
- Eakin, H., Gay, C., Estrada, F., & Conde Álvarez, A. (2004). Impactos potenciales del cambio climático en la agricultura. En C. Liñao, J. García Codrón, D. Rasilla Álvarez, P. Fernández, & C. Garmendia Pedraja (Edits.), *El clima, entre el mar y la montaña : [aportaciones presentadas al IV Congreso de la Asociación Española de Climatología, Santander, 2-5 de noviembre de 2004]* (págs. 651-660). Santander, España: Universidad Cantabria.
- Eakin, H., Tucker, C., & Castellanos, E. (2005). Market Shocks and Climate Variability: The Coffee Crisis in Mexico, Guatemala, and Honduras. *BioOne*, 25(4), 304-309.

- Fischer, G., Shah, M., & Velthuis, 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 ed.). Johannesburg. : IIASA.
- Frank, E., Eakin, H., & 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.
- Füssel, H., & Klein, R. (2006). Climate change vulnerability assessments: An evolution of conceptual thinking. *Climatic Change*, 75, 301-329.
- Gay, C., Estrada, F., Conde, C., Eakin, H., & 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.
- Ghini, R., Hamada, E., Pedro Júnior, M., Marengo, J., & Valle Goncalves, R. (2008). Risk analysis of climate change on coffee nematodes and leaf miner in Brasil. *Pesq. agropec. bras., Brasília*, 43(2), 187-194.
- Gutiérrez, M. E., & Espinosa, T. (2010). Vulnerabilidad y adaptación al cambio climático. *Banco Interamericano de Desarrollo, Notas Técnicas*(IDB-TN-144), 1-82.
- ICAFFE. (2017). *Informe sobre la actividad cafetalera de Costa Rica*. Heredia, Costa Rica: Instituto del café de Costa Rica.
- Imbach, P., Fung, E., Hannah, L., Navarro-Racines, C., Roubik, D., Ricketts, T., . . . Roehrdanz, P. (2017). Coupling of pollination services and coffee suitability under climate change. *PNAS*, 114(39), 10438–10442.
- IPCC. (2007). *Cambio climático* (Informe de Síntesis ed.). 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.
- Jaramillo, J., Chabi-Olaye, A., Kamonjo, C., Jaramillo, A., Vega, F., Poehling, H.-M., & Borgemeister, C. (2009). Thermal Tolerance of the Coffee Berry Borer *Hypothenemus hampei*: Predictions of Climate Change Impact on a Tropical Insect Pest. *PlosOne*, 4(11), 1-11.
- Jaramillo, J., Muchugu, E., Vega, F., Davis, A., Borgemeister, C., & 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.
- Jaramillo, J., Setamou, M., Machugu, E., Chabi-Olaye, A., Jaramillo, A., Mukabana, J., . . . 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.

- Jürgen Pohlen , H., & Janssens, M. (2010). Growth and Production Of Coffee. En W. Verheye (Ed.), *Soils, Plant Growth and Crop Production - Volume III* (págs. 102-134). United Kingdom: Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS).
- Killen, T., & Harper, G. (2016). *Coffee in the 21ST Century. Will Climate Change and Increased Demand Lead to New Deforestation?* Conservation International.
- Kutywayo, D., Chemura, A., Kusena, W., Chidoko, P., & 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.
- Laderach, P., Lundy, M., Jarvis, A., Ramirez, J., Perez Portilla, E., Schepp, K., & Eitzinger, A. (2011). Predicted Impact of Climate Change on Coffe Supply Chains. *The Economic, Social and Political Elements of Climate Change. Climate Change Management*, 703-723.
- Läderach, P., Ramirez-Villegas, J., Navarro-Valle, A., Zelaya, C., Mertinez-Valle, A., & Jarvis, A. (2017). Climate change adaptation of coffee production in space and time. *Climatic Change*, 141, 47-62.
- Loreto, D., Esperón Rodríguez, M., & 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.
- Magrach, A., & 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.
- Mora, C., Frazier, A., Longman, R., Dacks, R., Walton, M., Tong, E., . . . Giambelluca, T. (2013). The projected timing of climate departure from recent variability. *Nature*, 502, 183- 196.
- Mora, N. (2008). *Agrocadena de Café*. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Dirección Regional Huetar Norte.
- Mulinde, C., Majaliwa, J., Twinomuhangi, R., Mfitumukiza, D., Komutunga, E., Ampaire, E., . . . Jassogne, L. (2019). Perceived climate risks and adaptation drivers in diverse coffee landscapes of Uganda. *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences*, 88, 31-44.
- Nunes, M., Bierhuizen, J., & Ploegman, C. (1968). Effect of light, temperature and CO2 concentration on photosynthesis of coffea arabica. *Acta Botanica Neerlandica*, 17(2), 93-102.
- Orozco, J., Ayala, C., & Tatis, A. (2012). Efecto del cambio climático sobre la fisiología de las plantas cultivadas: una revisión. *Fisiología plantas y cambio climático*, 15(1), 63-76.
- Ovalle Rivera, O., Läderach, P., Bunn, C., Obersteiner, M., & Schroth, G. (2015). Projected Shifts in Coffea arabica Suitability among Major Global Producing Regions Due to Climate Change. *Plos One*, 10(4), 1-13.

- Quiroga, S., Suárez, C., & Solís, J. D. (2015). Exploring coffee farmers' awareness about climate change and water needs: Smallholders' perceptions of adaptive capacity. *Enviromentals Science & Policy*, *45*, 53-66.
- Rahn, E., Läderach, P., Baca, M., Cressy, C., Schroth, G., Malin, D., . . . Shriver, J. (2013). Climate change adaptation, mitigation and livelihood benefits in coffee production: where are the synergies? *Mitig Adapt Strateg Glob Change*.
- Rikxoort, H., Schroth, G., Läderach, P., & Rodríguez, B. (2014). Carbon footprints and carbon stocks reveal climate-friendly coffee production. *Agron. Sustain. Dev*, *34*, 887-897.
- Rivera Silva, M. D., Nikolskii Gavrillov, I., Castillo Álvarez, M., Ordaz Chaparro, V. M., Díaz Padilla, G., & 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.
- Robles Berlanga, H. (2011). Los Productores de Café en México: Problemática y Ejercicio del Presupuesto. *Mexican Rural Development Research Reports, Reporte 14*, 1-59.
- Ruiz Meza, L. E. (2015). 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.
- Schroth, G., Läderach, P., Blackburn Cuero, D. S., Neilson, J., & Bunn, C. (2015). Winner or loser of climate change? A modeling study of current and future climatic suitability of Arabica coffee in Indonesia. *Reg Environ Change*, *15*, 1473-1482.
- Schroth, G., Laderach, P., Dempewolf Jan, Philpott, S., Hagggar, J., Eakin, H., . . . Ramirez, 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.
- Sobrinho Heredia , J. M. (2008). Desarrollo Sostenible, Calentamiento Global y Recursos Vitales para la Humanidad. *AFDUDC*, *12*, 883-904.
- Tucker, C., Eakin, H., & 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.
- Wolf, J., & 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.
- Zuluaga, V., Labarta, R., & Läderach, P. (2015). Adaptation to Climate Change: The case of Nicaraguan Coffee Sector. *International Center of Tropical Agriculture (CIAT)*, 1-39.

## **CAPITULO II. IMPACTO POTENCIAL DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LA PRODUCCIÓN DE CAFÉ BAJO UN ENFOQUE RICARDIANO**

### **RESUMEN**

El cambio climático (CC) ha impactado drásticamente la producción de café y los ingresos de los productores. La región Mazateca y Cuetzalan se caracterizan por su alta dependencia económica de la cafecultura, además de que son regiones identificadas como de alta vulnerabilidad ante el fenómeno del CC. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el impacto potencial del CC sobre la producción de café en la región Mazateca y Cuetzalan. Los datos se colectaron en 2018 y 2019 mediante el levantamiento de una encuesta a una muestra de 180 unidades de producción de café y se analizaron usando el enfoque Ricardiano. Se encontró que el CC impactará significativamente sobre el valor de las tierras dedicadas a la producción de café. Las estimaciones del impacto del CC sobre el valor de las tierras para la región Mazateca irían de 25% a 168% y para la región Cuetzalan de 37% a 177%. Se concluyó que los impactos del CC sobre el valor de la tierra son drásticos y podrían ser irreversibles para la producción de café debido al CC. Con base en ello es viable abordar estrategias de diversificación productiva agrícola y no agrícola que suplan la alta dependencia de los productores a la actividad de café, que mejoren los ingresos del productor y que reduzcan su vulnerabilidad.

**Palabras clave;** Cambio climático (CC), producción de café, regiones, valor de la tierra, ingresos.

### **SUMMARY**

Climate change (CC) has dramatically impacted coffee production and producers' incomes. The Mazateca and Cuetzalan regions are characterized by their high economic dependence on coffee farming, in addition to being regions identified as highly vulnerable to the CC phenomenon. The objective of this study was to evaluate the potential impact of CC on coffee production in the Mazateca and Cuetzalan region. The data was collected in 2018 and 2019 by surveying a sample of 180 coffee production units and analyzed using the Ricardian approach. It was found that CC will have a significant impact on the value of land dedicated to coffee production. Estimates of the impact of the CC on the value of land for the Mazateca region would range from 25% to 168% and for the Cuetzalan region from 37% to 177%. It was concluded that the impacts of CC on land value are drastic and could be irreversible for coffee production due to CC. Based on this, it is

feasible to approach agricultural and non-agricultural productive diversification strategies that compensate for the high dependence of producers on the coffee activity, that improve the producer's income and reduce their vulnerability.

**Keywords;** Climate change, coffee production, regions, land value, income.

## INTRODUCCIÓN

La agricultura es una actividad productiva muy susceptible a la variabilidad climática (Jawid, 2020). Además, la agricultura es la principal fuente de ingresos y empleo en las zonas rurales de los países en desarrollo (Falco *et al.*, 2019). Esto tiene serias implicaciones sobre la productividad agrícola, los medios de vida rurales y la seguridad alimentaria (Falco *et al.*, 2019).

La producción de café es una de las actividades agrícolas más amenazadas por el (CC) (Craparo *et al.*, 2015; Ruiz 2015). Por ejemplo, el ciclo productivo del café es altamente susceptible al estrés por variaciones en la temperatura, lluvia y humedad (Alves *et al.*, 2013; Dufera, 2017). Además, los productores de café se caracterizan por su alta marginación y su alta vulnerabilidad al fenómeno del CC (Canet y Soto, 2016; Figueroa *et al.*, 2015).

México es uno de los diez principales países productores de café en el mundo y más de medio millón de cafecultores son dependientes de esta actividad en el País (FIRA, 2015; SAGARPA, 2017). Sin embargo, en las últimas décadas, los productores de café en México se han enfrentado a diversas problemáticas como bajos ingresos debido a la baja rentabilidad del producto ocasionada por la fluctuación internacional del precio del café (Canet y Soto, 2016; Vásquez, 2014; Portillo, 1993). Además, el ingreso de la roya en México en 2012 dañó extensas plantaciones de café obligando a la renovación del cultivo (Canet y Soto, 2016; FIRA, 2015).

A nivel global, los estudios sugieren un impacto progresivo del CC sobre la producción de café que afectará desde 30% hasta 90% del total de las áreas idóneas para la producción de café (Laderach *et al.*, 2011; Davis *et al.*, 2012; Magrach y Ghazoul, 2015; Bunn *et al.*, 2015; Schroth *et al.*, 2015; Laderach *et al.*, 2017; Imbach *et al.*, 2017). En México, también se han realizado estudios que reportan afectaciones en la producción de café relacionadas al aumento de las temperaturas y alteraciones de las precipitaciones (Gay *et al.*, 2006; Rivera *et al.*, 2013).

Este tipo de investigaciones son necesarias ante la vulnerabilidad de los productores de café, porque proporcionan información a los productores e instituciones para anticiparse a los efectos del CC, como también para la formulación de estrategias locales, programas y políticas de adaptación y mitigación al CC (Craparo *et al.*, 2015; IPCC, 2007). De igual forma, los estudios con enfoque económico (como el modelo Ricardiano) son particularmente relevantes para evaluar el impacto potencial del CC sobre la agricultura (Mora *et al.*, 2010; Jawid, 2020).

El modelo Ricardiano estima la productividad neta de las tierras agrícolas en función del clima, tipos de suelos y otras variables de control (Mendelsohn *et al.*, 1994). La técnica se basa en una muestra transversal de unidades de producción (UP) que abarca un rango de climas, para medir la sensibilidad del valor de la tierra o los ingresos netos por hectárea agrícola ante las variables climáticas (Mendelsohn *et al.*, 1994; Mendelsohn *et al.*, 2009). El enfoque Ricardiano capta automáticamente las respuestas de adaptación de los agricultores, asumiendo que las diferentes muestras transversales incluyen diferentes estados de equilibrio productivo (Mendelsohn y Dinar, 2009).

La obtención de la información se realizó usando una encuesta a UP de las diferentes zonas climáticas determinadas por país o región (Mendelsohn y Dinar, 2009). Los datos de las UP proporcionan información detallada sobre las actividades agrícolas y los ingresos resultantes de cada actividad (Mendelsohn y Dinar, 2009).

El objetivo del presente estudio consiste en evaluar el impacto potencial del CC en la región Mazateca de Oaxaca y la región de Cuetzalan Puebla bajo el enfoque Ricardiano. Estas regiones pertenecen a las principales zonas productoras de café en México (Moguel y Toledo, 1999). Además, en los últimos años estas regiones han presentado disminución importante en la producción de café (SIAP, 2020).

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

En este apartado se abordan las especificaciones del modelo Ricardiano, la región de estudio, datos sociodemográficos, variables climáticas y suelos. También se abordan los escenarios climáticos que se utilizaron y el análisis estadístico.

## Especificación del modelo

El método Ricardiano debe su nombre a David Ricardo, debido a que fue él quien hizo la observación original de que el *Valor de la Tierra* o el *Ingreso Neto Agrícola* ( $\pi$ ) reflejan la *productividad neta de la tierra* (Mendelsohn *et al.*, 1994). Con este enfoque se asumió que los productores agrícolas maximizan su ingreso neto ( $\pi$ ) dado por la siguiente ecuación:

$$\pi = \sum P_i Q_i (X, F, Z, G) - \sum W_x X \quad (1)$$

Donde:

- $P_i$  = es el precio de mercado del cultivo  $i$ ,
- $Q_i$  = es la producción del cultivo  $i$ ,
- $X$  = es un vector de insumos comprados,
- $F$  = es un vector de variables climáticas,
- $Z$  = es un vector de otras variables de control tales como suelo, distancia al mercado, y altitud.
- $G$  = es un vector de variables sociodemográficas,
- $W_x$  = es un vector de los precios de los insumos.

Se supuso que el productor eligió  $Q$  y  $X$  para *maximizar el valor de la tierra* por hectárea dadas las características de la UP (temperatura, precipitación, suelos) y los precios del mercado (Ajetomobi *et al.*, 2011; Mendelsohn y Dinnar, 2009). La función óptima quedó como en la ecuación (2):

$$\pi = f(P_i, F, Z, W_x) \quad (2)$$

Utilizando la especificación anterior, fue posible determinar cómo los cambios en variables exógenas contenidas en  $F$  y  $Z$  afectaron la productividad neta de la tierra. Así, el valor de la tierra (LV) representó el valor presente del flujo de ingresos netos, cuya notación es:

$$LV = \int_0^{\infty} \pi_t^* \cdot e^{-rt} dt \quad (3)$$

Describimos  $r$  como la tasa de interés del mercado. El modelo Ricardiano estándar es una formulación cuadrática del clima y una función lineal de todas las demás variables. Económicamente se puede representar como en la Ecuación (4):

$$LV = \beta_0 + \beta_1 \cdot T + \beta_2 \cdot T^2 + \beta_3 \cdot P + \beta_4 \cdot P^2 + \beta_5 T \cdot P + \sum_j \delta_j z_j + e \quad (4)$$

Dónde:  $LV$  es el *valor de las tierras agrícolas por hectárea*;  $T$  y  $P$  son la temperatura y precipitación, respectivamente. Con frecuencia es común distinguir las temperaturas y precipitaciones que se presentan a lo largo de las estaciones del año. Asimismo,  $Z$  representa el conjunto de variables socioeconómicas, características de la UP y suelos,  $\beta_k$  y  $\delta_j$  son parámetros a ser estimados y  $e$  es el término de error (Mora *et al.*, 2010).

En la ecuación (4) se incorporaron los términos lineales y cuadráticos para temperatura y precipitación con el propósito de capturar no linealidades en la respuesta de los cultivos al clima. Por ejemplo, los experimentos con cultivos en laboratorio sugieren que estos tienden a tener funciones de respuesta en forma de colina con relación a la temperatura (Mendelohn y Dinnar 2009). Por ejemplo, a niveles bajos de temperatura (temperaturas templadas), la decisión óptima del productor puede ser cultivar café arábico (*coffea arabica*); no obstante, conforme la temperatura aumenta la rentabilidad marginal de dicho producto es decreciente hasta alcanzar un punto en el que se vuelve negativa. Es entonces cuando el productor tomaría la decisión de optimizar sus ganancias a través de un cultivo adaptable a temperaturas mayores (temperaturas cálidas). Ante dicho escenario este cultivo podría ser la producción de café robusta (*coffea canephora*). Un razonamiento similar es aplicable a cultivos sensibles a la precipitación pluvial. Al seguir esta lógica, el modelo Ricardiano asume un comportamiento adaptativo de los productores a lo largo del ciclo productivo intertemporal (Mendelsohn *et al.*, 1994; Ordaz *et al.*, 2010).

El impacto marginal de una sola variable climática en el valor de las tierras se obtuvo usando la Ecuación (5). La misma lógica fue empleada para las variables de precipitación.

$$\frac{\partial LV_i}{\partial T} = \beta_1 + 2 \cdot \beta_2 \cdot T + \beta_5 \cdot P \quad (5)$$

De esta manera fue posible determinar diferentes niveles de sensibilidad al CC de las UP a partir de una caracterización de sus distintos perfiles. El efecto anual de un cambio marginal de la variable climática en cuestión se hizo a través de la suma de los efectos marginales de dicha variable (Mora *et al.*, 2010).

Teóricamente, la formulación cuadrática no solo puede cambiar la magnitud del efecto marginal, sino también el signo (Mendelsohn *et al.*, 2009). Cuando el término cuadrático es positivo, la función tiene forma de U y cuando el término cuadrático es negativo, la función tiene forma de

colina (Mendelsohn *et al.*, 2009). Para cada cultivo, hay una temperatura conocida a la cual ese cultivo crece mejor a través de las estaciones. En muchos cultivos, existe una relación más amplia y más plana en forma de colina. Sin embargo, la relación de las variables climáticas estacionales es más compleja y puede incluir una mezcla de coeficientes cuadráticos positivos y negativos entre estaciones (Mendelsohn *et al.*, 2009).

El cambio en el valor de la tierra dado un escenario climático de  $C_0$  a  $C_1$  está dado por:

$$\Delta W = V(C_1) - V(C_0). \quad (6)$$

Los cambios que aumentan el valor de la tierra son beneficiosos y los cambios que disminuyen el valor de la tierra son perjudiciales. Por lo tanto, este es un análisis estático comparativo. No es un modelo dinámico. El modelo Ricardiano no mide los efectos de los cambios anuales en el clima sino más bien los cambios a largo plazo (Mendelsohn *et al.*, 2009).

Para calcular los óptimos de las variables climáticas significativas (temperatura y precipitación) se utilizó la Ecuación 7 (Mendelsohn y Dinar, 2009).

$$\text{Punto de inflexión} = \frac{\beta \text{ Temperatura}}{2 \times \beta \text{ Temperatura}^{\text{Cuadrada}}} \quad (7)$$

### **Región de estudio**

La presente investigación se llevó a cabo en la región Mazateca de Oaxaca y en la región de Cuetzalan Puebla (Figura 1). Estas regiones se caracterizan por su alta dependencia de la cafecultura, pues son dos de las principales regiones productoras en el país (Moguel y Toledo, 1999), además tienen la característica de ser altamente vulnerables al fenómeno del CC (Monterroso *et al.*, 2014).

### **Datos**

Los datos de valor de la tierra, ingresos y características sociodemográficas del hogar se obtuvieron de una encuesta realizada a productores de café y fueron verificados por informantes clave de la región Mazateca de Oaxaca y la región de Cuetzalan Puebla durante los años 2018 y 2019. Se entrevistó a 180 UP productores de café distribuidas en 16 municipios cafetaleros. Para la operacionalización de hipótesis nos apoyamos de las variables del estudio de Ajetomobi *et al.* (2011) y Waha *et al.* (2016) (Anexos Tabla 5).

## **Variables climáticas**

Los datos de clima se obtuvieron del Servicio Meteorológico Nacional de la Comisión Nacional del Agua ubicados en la página de CONAGUA (Servicio Metereológico Nacional, 2019). Estos datos fueron extraídos de 25 estaciones meteorológicas ubicadas en las regiones de estudio. Las normales climatológicas utilizadas pertenecen al periodo de 1951 a 2010. Para asignar las condiciones climáticas correspondientes a nivel localidad y UP se utilizaron metodologías de interpolación *kriging* para la obtención de precipitación (Anexos Tabla 6) e *IDW* para la obtención de temperatura. El procesamiento de las interpolaciones se realizó en el software ArcGIS (Anexos Tabla 7) (Mendelsohn *et al.*, 2009; Fries *et al.*, 2012). Para ello, se georreferenciaron las comunidades y las UP usando información de latitud, longitud y altitud.

Las variables climáticas de precipitación y temperatura que se utilizaron en los modelos econométricos fueron por estaciones del año. Los periodos de las estaciones se clasificaron en: primavera (marzo, abril, mayo), verano (junio, julio, agosto), otoño (septiembre, octubre, noviembre) e invierno (diciembre, enero, febrero). Se utilizaron los periodos de las estaciones del año porque representan los contrastes climáticos durante un ciclo anual y desempeñan un papel importante en los periodos de desarrollo fenológico de las plantas de café (Gay *et al.*, 2004; Villers *et al.*, 2009). Por ejemplo, las condiciones meteorológicas como lluvias, humedad, radiación solar y temperaturas son esenciales en la regulación del proceso de floración y el desarrollo del fruto (Craparo *et al.*, 2015; Descroix y Snoeck, 2004). Asimismo, las prácticas de manejo agrícola y la cosecha del café están estrechamente asociados con el comportamiento del clima y tiempo atmosférico (Villers *et al.*, 2009).

La opinión de los productores coincide en que primavera, verano e invierno son las estaciones más importantes en la producción de café. El periodo de primavera coincide con el periodo de floración, el cual es el más importante para la producción de café (Villers *et al.*, 2009; Arcila, 2007). La temperatura máxima durante la época de floración se relaciona con el volumen de cosecha; cuando las temperaturas son muy elevadas afectan negativamente los rendimientos, mientras que cuando la temperatura máxima es moderada, la cosecha es satisfactoria (Fournier y Di Stefano, 2004). De igual forma, las lluvias extremas durante este periodo afectan drásticamente la floración (Villers *et al.*, 2009; Arcila, 2007). El verano coincide con el periodo de crecimiento foliar y el periodo de desarrollo del fruto (Villers *et al.*, 2009). Por su parte, en invierno las condiciones climáticas

repercuten directamente sobre el proceso de maduración del fruto y la cosecha (Villers *et al.*, 2009).

Por otro lado, en un estudio económico sobre impacto del CC en la producción de café, Gay *et al.* (2006) utilizaron estas mismas estaciones. El número de estaciones del año se utiliza según el objetivo de la investigación. En otros estudios del enfoque Ricardiano se han utilizado dos y tres estaciones del año (Gbetibouo y Hassan, 2005; Kabubo y Karanja, 2006).

### **Variables de control**

**Suelos:** Así como el clima es determinante para el rendimiento de los cultivos agrícolas, los suelos también son esenciales en la determinación del rendimiento de la producción y del valor de la tierra (Kabubo y Karanja, 2006). La información de tipos de suelos se obtuvo del mapa de suelos dominantes de la República Mexicana, los metadatos se encuentran disponibles en la página oficial de la Comisión Nacional para la Biodiversidad (CONABIO). Para asignar el tipo de suelos correspondientes a cada localidad y UP se realizaron interpolaciones a través del software ArcGIS. En la región Mazateca se encontraron los tipos de suelos alisol y leptosol, en la región de Cuetzalan los vertisol eutricto y cambisol eutricto.

**Características de la UP:** Distancia a la Ciudad (minutos); Superficie de café (Ha); Superficie de café<sup>2</sup> (Cuadrado); Actividades no agrícolas (Sí, No); Superficie otros cultivos (Ha); Altitud (Msnm); Altitud<sup>2</sup> (Cuadrado); Pendiente del Terreno (3 = muy empinado, 2 = moderado, 1 = plano) (Ajetomobi *et al.*, 2011; Mendelsohn *et al.*, 2009; Kurukulasuriya y Mendelsohn, 2008).

**Socioeconómicas:** Sexo del Jefe de Hogar (Hombre, Mujer); Edad del jefe de Hogar (Años); Experiencia en café (Años); Escolaridad del Jefe de Hogar (años); Escolaridad Promedio del Hogar (Años); Computadora en Hogar (Sí, No); Integrantes del Hogar (Número); Organización del Jefe de Hogar (Sí, No); Tamaño del hogar (3, 2, 1) (Ordaz *et al.*, 2010; Mora *et al.*, 2010; Mendelsohn, 2009; Mendelsohn *et al.*, 2009; Ater y Aye, 2012).

### **Escenarios climáticos**

Se utilizaron los modelos CNRMCM5 (Centre National de Recherches Météorologiques) del repositorio institucional de datos científicos Geoespaciales, CCA, UNAM (Fernández *et al.*, 2015). Los escenarios de CC fueron los siguientes: RCP 4.5 (emisiones bajas) y RCP 8.5 (emisiones

altas). Los horizontes son: Futuro cercano (2015-2039), Futuro medio (2045-2069), Futuro lejano (2075-2099) (Anexos Tabla 10).

### **Análisis econométrico**

Para ajustar los modelos se utilizaron procedimientos de estimación de mínimos cuadrados ordinarios (regresiones lineales) con apoyo del software STATA 15.1. En las modelaciones no se incluyeron todas las variables explicativas al mismo tiempo, por lo que se construyeron diferentes modelos utilizando el mismo enfoque de modelado para diferentes combinaciones de variables. Posteriormente, se aplicaron pruebas diagnósticas para evaluar su calidad estadística. Estas pruebas incluyeron pruebas de variables omitidas para evaluar si las variables no incluidas en un modelo específico no eran relevantes. Para superar los problemas de heterocedasticidad y multicolinealidad, se realizó una estimación robusta del error estándar y se identificaron *variables correlacionadas en el modelo*. Hay variables que fueron eliminadas del modelo sobre la base de un bajo nivel de significancia y bajo ajuste del modelo (Ajetomobi *et al.*, 2011). Al final se estimó el impacto marginal de las variables climáticas estacionales para el modelo.

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Los cafeticultores entrevistados tenían un rango de 21 a 88 años de edad con un promedio de 57 años de edad. El promedio de escolaridad para los productores fue de 5 años (Anexos; Tabla 8). Los hogares estuvieron integrados, en promedio, por 4 miembros. Los productores de café en la región Mazateca se encontraban entre una altitud de 88 a 1,963 msnm, en la región Cuetzalan se encontraban entre 311 y 1,165 msnm. La superficie promedio sembrada con café para ambas regiones fue de 1.25 ha. La superficie dedicada a otros cultivos fue de 0.6 ha. Entre las principales actividades agrícolas a las que se dedicaron los productores de café en ambas zonas se encontraron la producción de maíz y frijol. La región Mazateca se destacó por la siembra de caña para la producción de aguardiente y panela, sin embargo, recientemente muchos agricultores iniciaron con el cultivo de aguacate a pequeña escala. En la región Cuetzalan, las actividades alternativas al café son la producción de pimienta y miel de abeja.

En cuanto al valor por hectárea de café, los precios oscilaron entre \$25,000 a \$125,000. El valor por hectárea agrícola osciló entre \$15,889 a \$427,500. Un aspecto relevante es que el valor promedio de la tierra en la región Mazateca fue de \$42,557, es mucho menor que el valor por ha de café de la región Cuetzalan, el cual es de \$83,874.

En la Tabla 1 se presentan dos modelos que representan a las regiones de estudio (región Mazateca de Oaxaca y Región de Cuetzalan Puebla). En estos modelos se integran tres estaciones del año y las principales variables de control que caracterizan a las UP. En este modelo no se integran las variables sociodemográficas. Los resultados arrojan pocas variables significativas en ambos modelos. Sin embargo, en ambas regiones las variables climáticas afectaron el valor de la tierra (*valor por hectárea de café*).

**Tabla II.1.** Determinantes del valor de la tierra en la producción de café.

Variables	Mazateca		Cuetzalan	
	Coef.	t	Coef.	t
Temperatura primavera (°C)	195,372.3	1.02	-1,357,052	-0.78
Temperatura primavera <sup>2</sup> (Cuadrado)	-4,347.097	-0.98	31,622.43	0.81
Temperatura verano (°C)	-468,167.8	<b>-2.12</b>	308,337.8	0.33
Temperatura verano <sup>2</sup> (Cuadrado)	12,094.25	<b>2.11</b>	-5,873.169	-0.29
Temperatura invierno (°C)	578,790.9	<b>2.52</b>	1,228,435	0.95
Temperatura invierno <sup>2</sup> (Cuadrado)	-19,316.35	<b>-2.67</b>	-39,895.15	-1.01
Precipitación primavera (mm)	-7.924162	0.00	105.3845	0.16
Precipitación primavera <sup>2</sup> (Cuadrado)	-0.3066111	-0.08	-0.393269	-0.40
Precipitación verano (mm)	31.46434	0.04	3,029.12	<b>1.69</b>
Precipitación verano <sup>2</sup> (Cuadrado)	-0.0195757	-0.10	-1.568370	<b>-1.75</b>
Precipitación invierno (mm)	684.5623	0.60	-10,084.01	<b>-1.93</b>
Precipitación invierno <sup>2</sup> (Cuadrado)	-0.5832191	-0.27	19.77453	<b>1.95</b>
Altitud (msnm)	-352.8909	<b>-2.71</b>	347.3619	1.38
Altitud <sup>2</sup> (Cuadrado)	0.0920608	<b>2.36</b>	-0.213060	-1.21
Actividades no agrícolas (Sí, No)	2,908.808	1.19	5,400.68	0.93
Superficie de café (Ha)	-9,567.074	-2.27	-11,043.77	<b>-1.65</b>
Superficie de café <sup>2</sup> (Cuadrado)	1,952.116	<b>1.68</b>	896.3480	0.93
Superficie otros cultivos (Ha)	3,701.722	<b>1.64</b>	-1,494.75	-0.25
Distancia a la ciudad (min)	-174.3746	-0.97	265.2986	0.45
Distancia centro de acopio (min)			-4,405.38	-0.31
Pendiente del terreno (3=muy empinado, 2=moderado, 1=Plano)	1,821.681	0.62	347.3619	1.38
Suelo (Alisol = 1, Leptosol = 0)	1,298.037	0.13		
Suelo (Cambisol = 1, Vertisol = 0)			-48,367.01	-0.76
<b>Constante</b>	-1,699,616	-1.79	970,108.3	0.19

En la Tabla 2 se presentan los modelos para ambas regiones en las cuales se incorporaron las variables sociodemográficas. Para el modelo de la región mazateca las variables climáticas que afectaron el valor de la tierra fueron la temperatura en primavera, verano e invierno y la precipitación de invierno.

En la región mazateca el punto de inflexión para la temperatura en primavera ocurrió a 22.75 °C. El signo negativo del valor cuadrático indicó que una temperatura promedio por encima de

22.75°C estaría asociada a menores rendimientos de la producción. De acuerdo con Fournier y Di Stefano (2004), cuando las temperaturas son muy elevadas en primavera se ven afectados directamente los rendimientos del cultivo, esto puede deberse a que una alta temperatura aumenta el déficit hídrico en el suelo (Fournier y Di Stefano 2004; Arcila, 2007).

En verano, el punto de inflexión para la temperatura se presentó a los 19.76 °C. El signo positivo del valor cuadrático indicó que temperaturas por encima de 19.76 °C serían benéficas para la producción de café durante este periodo. Sin embargo, ante una alta humedad (característica de verano) y además una alta temperatura, favorecerían la propagación de hongos como los del género *Colletotrichum* (Arcila, 2007).

Los resultados arrojaron que temperaturas templadas durante invierno serían benéficas para la producción de café en la región Mazateca, de tal forma que no sobrepasaran los 15.23 °C. Sin embargo, en el caso de café de *C. canephora* (*robusta* y *conilon*) tienen poca tolerancia a temperaturas inferiores a 6 °C o períodos prologados con 15 °C (Camargo, 2010; Jürgen y Janssens, 2010), por lo que temperaturas templadas en este periodo solo podrían ser benéficas para la variedad arábica.

En cuanto a precipitaciones, en invierno se presenta la sequía preestival que es el período de mayor deficiencia de agua durante el invierno, lo que puede llevar al estrés hídrico del cafeto y alterar el periodo de floración, como se encontró en el estudio de Villers *et al.* 2009). Por lo que una precipitación moderada en este periodo es adecuada siempre y cuando no sobrepase los 347 mm en la región Mazateca.

Para el modelo de la región Cuetzalan, las variables climáticas que afectaron el valor de la tierra fueron la temperatura en primavera e invierno y la precipitación de verano e invierno. Los resultados arrojaron que temperaturas por encima de 21.09 °C en primavera estarían asociadas a mayores rendimientos del café. Sin embargo, esto difirió de los resultados obtenidos en la región Mazateca y de lo expuesto por Fournier y Di Stefano (2004). Tal vez los resultados se justifican porque la región de Cuetzalan es una zona más cálida y tolerante a variedades como *C. canephora* (*robusta*). En cuanto a invierno, las temperaturas templadas fueron benéficas para la producción de café, tanto en Cuetzalan como en la región Mazateca, siempre y cuando no sobrepasen de 15.64 °C.

La precipitación en verano indicó que lluvias por encima de 976 mm serían perjudiciales para la producción de café de la región de Cuetzalan, pues el exceso de humedad en este periodo generaría un aumento de enfermedades como el mal de hilachas (*Corticium koleroga*) como lo registró Villers *et al.* (2009) para el estado de Veracruz.

Las precipitaciones para invierno indicaron que lluvias por encima de 263 mm serían benéficas para el rendimiento de la producción de café. Pues el déficit hídrico afecta el crecimiento vegetativo del café y en el desarrollo del fruto, por lo tanto, requerimientos por encima de 263 mm son una condición anticipada para una adecuada floración (Ramírez *et al.*, 2011).

**Tabla II.2.** Determinantes sobre el valor de la tierra en la producción de café.

Variables	Mazateca		Cuetzalan	
	Coef.	t	Coef.	t
Temperatura Primavera (°C)	407,908.7	<b>2.09</b>	-1,678,422.0	<b>-1.91</b>
Temperatura Primavera <sup>2</sup> (Cuadrado)	-8,966.152	<b>-1.99</b>	39,795.65	<b>1.96</b>
Temperatura Verano (°C)	-881,193.4	<b>-3.44</b>	45,5271.8	0.75
Temperatura Verano <sup>2</sup> (Cuadrado)	22,300.88	<b>3.39</b>	-9,923.157	-0.74
Temperatura Invierno (°C)	998,269.0	<b>3.74</b>	1,426,162.0	<b>2.03</b>
Temperatura Invierno <sup>2</sup> (Cuadrado)	-32,763.04	<b>-3.87</b>	-45,580.82	<b>-2.10</b>
Precipitación Primavera (mm)	-1,057.626	-0.50	55.82737	0.11
Precipitación Primavera <sup>2</sup> (Cuadrado)	1.501396	0.41	.0962707	0.13
Precipitación Verano (mm)	-201.1829	-0.28	2,456.679	<b>2.09</b>
Precipitación Verano <sup>2</sup> (Cuadrado)	.0371617	0.18	-1.258493	<b>-2.13</b>
Precipitación Invierno (mm)	2,599.818	<b>2.03</b>	-8,028.647	<b>-2.33</b>
Precipitación Invierno <sup>2</sup> (Cuadrado)	-3.745111	<b>-1.61</b>	15.28157	<b>2.26</b>
Sexo del Jefe de Hogar (Hombre, Mujer)			13,804	<b>1.93</b>
Edad del jefe de Hogar (Años)			802.00	<b>2.89</b>
Experiencia en café (Años)	130.00	<b>1.64</b>	485.00	<b>2.52</b>
Escolaridad del Jefe de Hogar (años)			2,793.0	<b>2.66</b>
Escolaridad Promedio del Hogar (Años)			-3,783.0	<b>-3.84</b>
Computadora en Hogar (Sí, No)	10,728	1.45	20,870.0	<b>2.34</b>
Integrantes del Hogar (Número)	616.00	1.20		
Organización del Jefe de Hogar (Sí, No)	17,137	<b>2.95</b>		
Tamaño del hogar (3, 2, 1)			-5,375.0	<b>-1.63</b>
Distancia a la Ciudad (minutos)	-214.00	-1.22		
Superficie de Café (Ha)	-13,177.56	<b>-3.16</b>	-10,270	<b>-3.97</b>
Superficie de Café <sup>2</sup> (Cuadrado)	2,601.847	<b>2.30</b>		
Actividades No Agrícolas (Sí, No)	3,745.0	1.58	17,634	<b>3.38</b>
Superficie Otros Cultivos (Ha)	5,714.0	<b>2.42</b>		
Msnm (Altitud)	-492.4419	<b>-3.57</b>		
Msnm <sup>2</sup> (Cuadrado)	.1324136	<b>3.25</b>		
Pendiente del Terreno (3, 2, 1)	3,379.0	1.20		
Suelo (Alisol = 1, Leptosol = 0)	-6,630.0	-0.67		
Suelo (Cambisol = 1, Vertisol = 0)			33,508	0.77
<b>Constante</b>	<b>-3,023,356</b>	<b>-2.97</b>	<b>1,175,084</b>	<b>0.35</b>
<b>R-cuadrada</b>	<b>0.6242</b>		<b>0.5931</b>	

Las variables *sexo* y *edad* se incluyeron solo en el modelo Cuetzalan y ambas resultaron significativas. Los resultados indicaron que cuando el jefe del hogar es encabezado por un hombre, el valor de la tierra se ve mejorado, mientras que la *edad* mostró una relación directa y positiva con el *valor económico* de la tierra.

La variable *experiencia* se agregó para los dos modelos y fue significativo, indicando que la *experiencia* de un cafeticultor es relevante en la productividad agrícola, pues a mayor *experiencia* mayor es el valor de las tierras.

Para el modelo Cuetzalan se integró la variable *escolaridad* por parte del jefe de hogar y la escolaridad promedio de los *integrantes del hogar*. Se encontró que los jefes del hogar con mayores *estudios* poseen tierras con mayor valor económico. Ater y Aye (2012) sugieren que los agricultores con mayor nivel educativo obtienen mayores ingresos netos que los productores con menor nivel educativo.

La variable dummy (*computadora en el hogar*) utilizada en otros estudios como en Mendelsohn (2009), se integró a los dos modelos, siendo positiva y significativa para el modelo Cuetzalan. También, se incorporó la variable número de *integrantes del hogar* para el modelo Mazateca, sin embargo, no resultó significativa. La variable (*tamaño del hogar*) se integró al modelo Cuetzalan, el coeficiente resultó negativo y significativo. Esto podría deberse a que pequeños productores valoran más los recursos relacionados a las actividades agrícolas, en cambio, grandes hogares han dado prioridad a otras actividades productivas, como se indicó para otras regiones (Kurukulasuriya y Mendelsohn, 2008).

En el modelo Mazateca se integró la variable *organización*, siendo positiva y significativa, lo que indicó que cuando un productor está integrado a una organización social de productores aumenta la producción y el valor de sus tierras. Esto podría deberse a que los productores integrados a organizaciones sociales han logrado beneficios en cuanto a equipamiento, capacitación técnica y un mejoramiento en cuanto a la venta de su producto, tal es el caso de los productores integrados a la Cooperativa Tosepan. Esta variable no se integró en la región de Cuetzalan debido a que todos los productores entrevistados pertenecen a la cooperativa Tosepan.

Las variables *altitud* (msnm) y ( $\text{altitud}^2$ ) se integraron al modelo de la región Mazateca. Los resultados indicaron que parcelas ubicadas por encima de 1,859 msnm reducen el valor de la tierra. Esto va de acuerdo con la teoría (Mendelsohn y Dinar, 2009) y con los óptimos altitudinales de la

producción de café (Mora, 2008). Altitudes elevadas se asocian con una variación de temperatura diurna alta, que a menudo afecta a los cultivos (Kurukulasuriya y Mendelsohn, 2008).

También la variable *Superficie de café* y *superficie de café* al cuadrado se integraron al modelo de la región Mazateca. De igual forma, la variable superficie de café se incorporó al modelo Cuetzalan y los resultados son similares con la región Mazateca. Las pequeñas UP parecen ser más productivas porque están utilizando un recurso fijo y flexible como el trabajo familiar en un terreno mucho más pequeño (Kurukulasuriya y Mendelsohn, 2008).

La variable *superficie de otros cultivos* se integró al modelo de la región Mazateca. Cuando el productor aprovecha la superficie a otras actividades agrícolas se ve beneficiado en el valor sus tierras. También, en ambos modelos se integró la variable *actividades no agrícolas*, siendo significativa solo para el modelo Cuetzalan, lo cual indicó que el valor de tierra se ve beneficiado cuando el hogar también depende de actividades alternas a la producción agrícola.

La variable pendiente del terreno también se incorporó al modelo de la mazateca, sin embargo, no fue significativa. Las variables de suelos (Alisol, Leptosol) de la región Mazateca y (Cambisol, Vertisol) de la región Cuetzalan tampoco tuvieron significancia en los modelos presentados. Lo anterior, posiblemente a que en estas regiones existen factores sociales y económicos más fuertes que determinan el valor de las tierras que el tipo de suelo (Mora *et al.*, 2010; Ordaz *et al.*, 2010).

### **Impactos marginales**

En la Tabla 3 se muestran los efectos marginales de las variables climáticas que surgen de los coeficientes de la Tabla 2. En el modelo de la región Mazateca, el impacto marginal anual de la temperatura sobre el valor de la tierra con el aumento de 1°C fue de -\$21,027, lo que implica que el aumento de la temperatura disminuye en 49.41% el valor de la tierra. En cuanto a la precipitación, se espera que el aumento de 1 mm beneficiará el valor de la tierra en 0.59%.

En el modelo de la región Cuetzalan, el impacto marginal anual de la temperatura sobre el valor de la tierra ante el aumento de 1°C fue de -\$21,027, lo que implica que el aumento de la temperatura también afectará drásticamente el valor de la tierra en 47.41 % de su valor. En cuanto a la precipitación se espera que el aumento de 1 mm beneficiará el valor de la tierra en un 0.40%.

Estos resultados concuerdan con los hechos teórico y experimental que sugieren que la producción de café es altamente vulnerable al aumento de las temperaturas y la disminución de la precipitación

(características del CC), pues estas alteraciones perjudican el rendimiento y calidad de la producción que se vería reflejado en bajos ingresos para los productores (Bunn *et al.*, 2015; Gay *et al.*, 2006; Imbach *et al.*, 2017; Villers *et al.*, 2009; Rivera *et al.*, 2013; Alves *et al.*, 2013).

**Tabla II.3.** Impacto marginal del clima sobre el valor de la tierra.

<b>Temperatura</b>				
	<b>Mazateca</b>		<b>Cuetzalan</b>	
<b>Primavera</b>	49,114.68	115.41%	59,544.77	70.99%
<b>Verano</b>	-18,034.27	-42.38%	-6,693.03	-7.98%
<b>Invierno</b>	-52,107.51	-122.44%	-92,612.80	-110.42%
<b>Anual</b>	<b>-21,027.10</b>	<b>-49.41%</b>	<b>-39,761.07</b>	<b>-47.41%</b>
<b>Precipitación</b>				
	<b>Mazateca</b>		<b>Cuetzalan</b>	
<b>Primavera</b>	-195.17	-0.46%	120.50	0.14%
<b>Verano</b>	-75.19	-0.18%	-198.59	-0.24%
<b>Invierno</b>	521.86	1.23%	414.88	0.49%
<b>Anual</b>	<b>251.49</b>	<b>0.59%</b>	<b>336.79</b>	<b>0.40%</b>

## PROYECCIONES CON ESCENARIOS

En esta sección se utilizan las regresiones estimadas en la sección anterior para explorar cómo los escenarios futuros de CC podrían afectar las tierras de cultivo en la región Mazateca y Cuetzalan. Los resultados del enfoque Ricardiano muestran que los valores de las tierras agrícolas varían según los climas existentes en México. Los márgenes implican que un pequeño cambio de temperatura o precipitaciones tendría efectos importantes sobre la producción de café.

En estas simulaciones, las únicas variables sujetas a cambios son las climáticas, todos los demás factores permanecieron igual. Es claro que no será el caso con el futuro, puesto los factores socioeconómicos, de tecnología, capital y consumo están destinados a cambiar con el tiempo, lo cual tendrá un impacto drástico en los ingresos netos futuros de cualquier cultivo. Por consiguiente, no estamos haciendo un pronóstico de cómo cambiarán los valores de las tierras agrícolas, sino simplemente pretendemos aislar el efecto del CC sobre los valores de las tierras agrícolas.

De acuerdo con los escenarios climáticos CNRMCM5 (bajas y altas emisiones) (Tabla 4). Los resultados sugieren que el incremento de la temperatura y la disminución de las precipitaciones afectarán drásticamente el valor de la tierra ocupada con café. Las afectaciones para la región Mazateca en el escenario de bajas emisiones, con horizonte cercano, es una afectación de 64.87% en el valor de las tierras. Por el contrario, en el escenario de altas emisiones en el horizonte cercano,

el impacto es de 25.42% del valor de la tierra. En los horizontes medio y lejano es dramático para ambos escenarios (bajas y altas emisiones), pues las reducciones del valor de la tierra van de 66.2% a 168.3%.

En la región Cuetzalan los impactos del CC en el horizonte cercano, para emisiones bajas, representan una afectación de 47% del valor de la tierra, mientras que para emisiones altas es de 37% menor que en el otro escenario. Para los horizontes medio y lejano, el impacto oscila entre 82% de un horizonte medio con bajas emisiones hasta 177% del valor de tierra para el horizonte lejano con altas emisiones.

**Tabla II.4.** Proyecciones del impacto del CC sobre el valor de la tierra

<b>BAJAS EMISIONES</b>	<b>Modelo Mazateca</b>			<b>Modelo Cuetzalan</b>		
	<b>Δ (C) y (mm)</b>	<b>Δ (\$)</b>	<b>Δ (%)</b>	<b>Δ (C) y (mm)</b>	<b>Δ (\$)</b>	<b>Δ (%)</b>
<b>CNRMCM5 4.5</b>						
<b>Horizonte Cercano (2015-2039)</b>	0.78 °C - 44.55 mm	- \$27,605.13	- 64.87%	0.77 °C - 28.34 mm	- \$40,160.77	- 47.88%
<b>Horizonte Medio (2045-2069)</b>	2.31 °C - 6.19 mm	- \$50,176.07	- 117.90%	1.44 °C - 34.68 mm	- \$68,935.97	- 82.19%
<b>Horizonte Lejano (2075-2099)</b>	1.78 °C 36.58 mm	- \$28,158.55	- 66.17%	1.78 °C - 24.58 mm	- \$79,008.93	- 94.20%
<b>ALTAS EMISIONES</b>						
<b>CNRMCM5 8.5</b>						
<b>Horizonte Cercano (2015-2039)</b>	0.84 °C 27.50 mm	- \$10,816.81	- 25.42%	0.82 °C 4.18 mm	- \$31,107.92	- 37.09%
<b>Horizonte Medio (2045-2069)</b>	3.20 °C - 7.37 mm	- \$69,163.59	- 162.52%	1.92 °C - 30.86 mm	- \$86,602.19	- 103.25%
<b>Horizonte Lejano (2075-2099)</b>	3.31 °C - 7.82 mm	- \$71,659.84	- 168.38%	3.26 °C - 57.51 mm	- \$148,813.41	- 177.42%

## CONCLUSIONES

Los análisis realizados arrojaron que las tierras dedicadas a la producción de café en las regiones Mazateca y Cuetzalan son altamente susceptibles a las alteraciones del clima (temperatura y precipitaciones). El incremento de un grado centígrado reduciría el valor de la tierra en \$21,027 para la región Mazateca y \$39,761 para la región Cuetzalan, lo cual representa casi 50% del valor de las tierras para ambas regiones. También los valores de las tierras son susceptibles a la disminución de la precipitación, pues los escenarios arrojan que una disminución de lluvias en el futuro, debido al CC, repercutiría drásticamente sobre el valor de la tierra.

Los escenarios climáticos indican un panorama complicado para la producción de café. De acuerdo al escenario de emisiones y al horizonte futuro, los porcentajes de pérdidas estimadas en el valor de la tierra para la región Mazateca van de 25% a 168% y en la región Cuetzalan de 37% a 177%.

Los productores de café en las regiones de estudios se caracterizan por su alta vulnerabilidad ante el fenómeno del CC y los resultados encontrados en el presente estudio implican afectaciones drásticas principalmente para los pequeños productores de café. Por tanto, los efectos del CC podrían ser irreversibles para los productores ante escenarios que sobrepasan afectaciones del 100% sobre el valor de la tierra.

Los impactos del CC varían de acuerdo a la región. Con base en ello, se deben considerar actividades productivas agrícolas y no agrícolas que suplan la dependencia de ingresos por la actividad de café. Los resultados refuerzan la teoría de que el valor de la tierra en la región Mazateca se ve beneficiado cuando la superficie agrícola se dedica a otros cultivos y en la región Cuetzalan el valor de la tierra se ve beneficiado cuando el productor se dedica a actividades no agrícolas. Los mismos cafecultores han reportado que en la actualidad la cafecultura ha perdido rentabilidad y piensan seriamente en optar por otras opciones productivas.

Lo anterior, traería consecuencias drásticas en la vida de los productores en aspectos de cambio de uso de suelos, costos económicos y migración, sin embargo, debido a la situación de pobreza y marginación en que se encuentran la mayoría de los productores de café es necesario explorar alternativas productivas que beneficien su calidad vida.

Los resultados del presente estudio integran un análisis estadístico robusto respecto a la interacción de las variables climáticas, geográficas y socioeconómicas con el valor de la tierra, sin embargo; el análisis no capta cambios de precios, oferta y demanda del café como de las acciones que los gobiernos pudieran implementar para coadyuvar en un mejoramiento en las condiciones de vulnerabilidad de los cafecultores.

En próximos estudios existen áreas de oportunidad para explorar con otras bases de datos que integren variables climáticas relevantes para la producción de café como la humedad o grados día. De igual forma en próximos estudios sería ideal una recopilación de información más amplia en el número de unidades de producción, además de incorporar otras regiones de Chiapas, Veracruz, Oaxaca, Puebla y Guerrero que presentan problemáticas igual de relevantes como las analizadas en el presente estudio.

Las políticas gubernamentales deben ser enfocadas en la reducción de la vulnerabilidad del productor de café, a través un plan sistémico que incorpore; a) precios de garantía, b) combate a

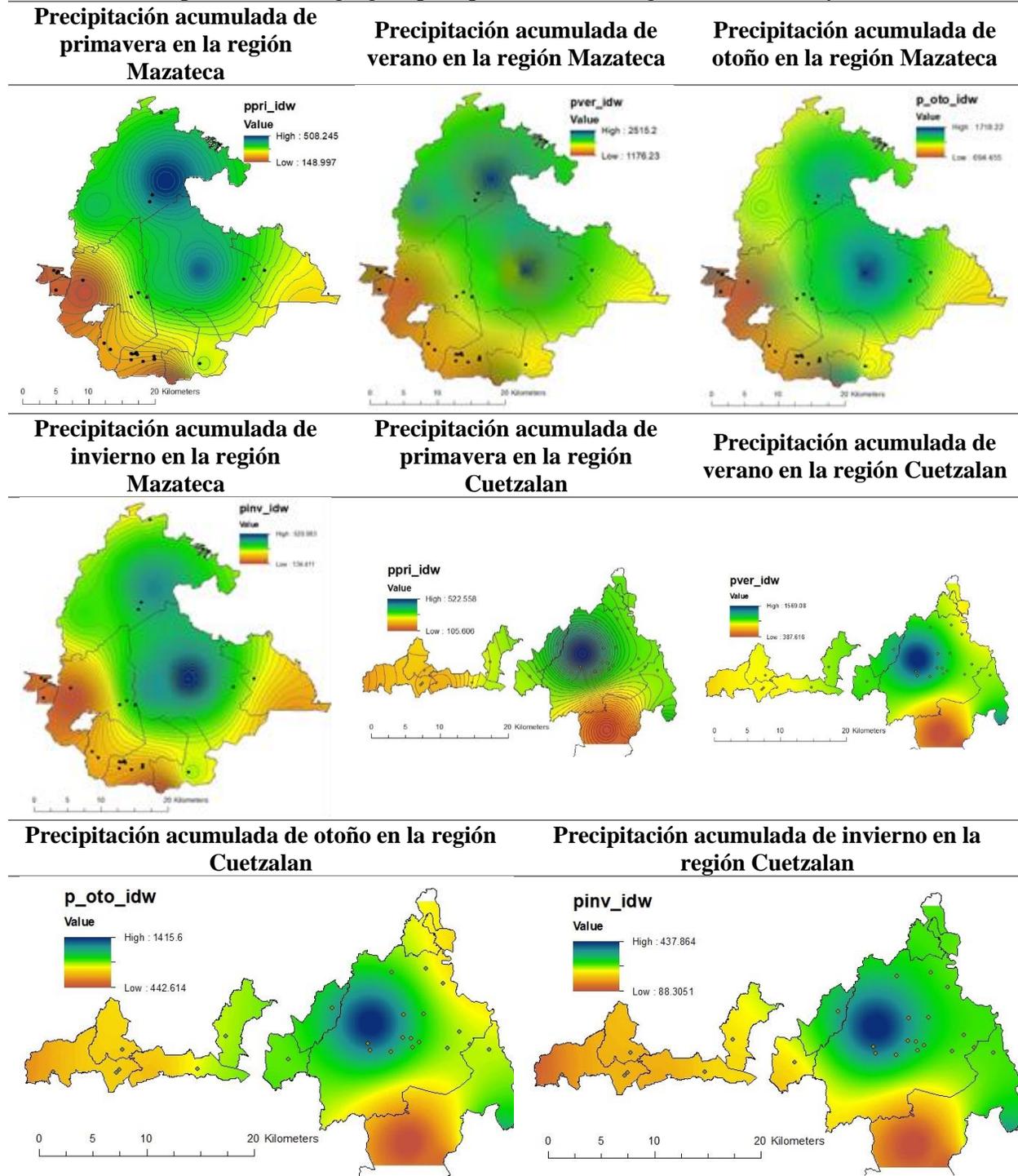
la roya, c) variedades resistentes a las condiciones climáticas prevaleciente y e) diversificación de las actividades productivas de los cafecultores.

## ANEXOS

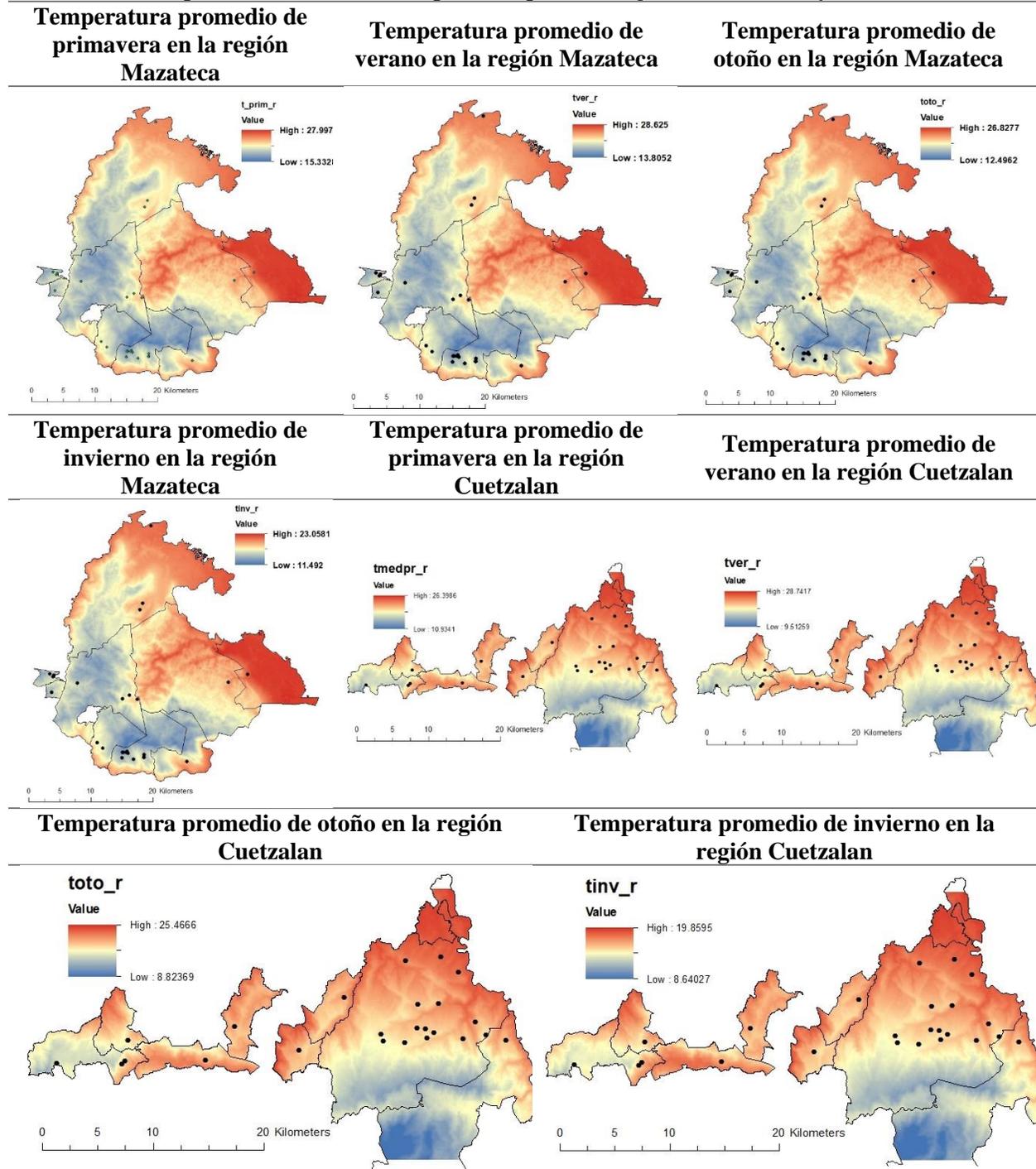
**Tabla II.5.** Variables obtenidas de (Ajetomobi *et al.*, 2011; Waha *et al.*, 2016).

<b>Apartados</b>	<b>Variables</b>
<b>I. Hogar</b>	1. Miembros de los hogares (Género, edad, educación)
	2. Tamaño del Hogar
	3. Acceso a Electricidad
	4. Acceso a servicios públicos de extensión
	5. Acceso al crédito
<b>II. Empleo</b>	1. Empleo del Jefe del Hogar (Actividades Agrícolas y No Agrícolas)
<b>III. Unidad de Producción</b>	1. Actividades agrícolas
	2. Tamaño de la UP, Separadas por actividad (Ha)
	3. Tipo de Tenencia de la tierra
	4. Valor de la UP
	5. Mano de obra contratada (preparación de la tierra, siembra, deshierbe) (Costos)
<b>IV. Actividades Agrícolas</b>	1. Tipo de cultivo, fecha de siembra, fecha de cosecha, proporción de superficie cultivada, cantidad cosechada y Rendimiento
	2. Cantidad de cosecha consumida, vendida, perdida, valor de los cultivos vendidos,
	3. Semillas, Fertilizantes y Pesticidas, costos
	4. Maquinaria agrícola, equipos y edificios agrícolas
	5. Distancia al mercado para la venta y compra de insumos, forma de transporte al mercado
	6. Costes totales de transporte, comercialización, almacenamiento, pérdidas postcosecha
<b>V. Actividades Pecuarias</b>	1. Tipos de Animales (Numero de Comprados, Nacidos, Perdidos, Vendidos)
	4. Maquinaria ganadera, equipos y edificios
<b>VI. Acceso a la Información</b>	1. Acceso de los agricultores a la información, asesoramiento sobre las actividades agrícolas, sobre las fuentes y el costo de esta información
<b>VII. Ingresos</b>	1. Estimación de los ingresos totales del hogar agrícola (tanto para las actividades agrícolas como no agrícolas)

**Tabla II.6.** Interpolaciones Kriging de precipitación en las regiones Mazateca y Cuetzalan.



**Tabla II.7.** Interpolaciones IDW de temperatura para las regiones Mazateca y Cuetzalan.



**Tabla II.8.** Escenarios de cambio climático e impactos sobre el valor de la tierra

Escenario con bajas emisiones		Modelo Mazateca			Modelo Cuetzalan		
CNRMCM5 4.5		$\Delta$ Clima	$\Delta$ (\$)	$\Delta$ (%)	$\Delta$ Clima	$\Delta$ (\$)	$\Delta$ (%)
<b>Horizonte Cercano</b>	Temperatura °C	0.78 °C	-\$16,401	-38.54%	0.77 °C	-\$30,616	-36.50%
	Precipitación(mm)	-44.55 mm	-\$11,203	-26.33%	-28.34 mm	-\$9,544	-11.38%
<b>2015-2039</b>	<b>Impacto Total</b>		<b>-\$27,605.13</b>	<b>-64.87%</b>		<b>-\$40,160.77</b>	<b>-47.88%</b>
<b>Horizonte Medio</b>	Temperatura °C	2.31 °C	-\$48,619	-114.24%	1.44 °C	-\$57,255	-68.26%
	Precipitación(mm)	-6.19 mm	-\$1,556	-3.66%	-34.68 mm	-\$11,680	-13.93%
<b>2045-2069</b>	<b>Impacto Total</b>		<b>-\$50,176.07</b>	<b>-117.90%</b>		<b>-\$68,935.97</b>	<b>-82.19%</b>
<b>Horizonte Lejano</b>	Temperatura °C	1.78 °C	-\$37,358	-87.78%	1.78 °C	-\$70,730	-84.33%
	Precipitación(mm)	36.58 mm	\$9,199.60	21.62%	-24.58 mm	-\$8,278	-9.87%
<b>2075-2099</b>	<b>Impacto Total</b>		<b>-\$28,158.55</b>	<b>-66.17%</b>		<b>-\$79,008.93</b>	<b>-94.20%</b>
Escenarios con altas emisiones		Modelo Mazateca			Modelo Cuetzalan		
CNRMCM5 8.5		$\Delta$ Clima	$\Delta$ (\$)	$\Delta$ (%)	$\Delta$ Clima	$\Delta$ (\$)	$\Delta$ (%)
<b>Horizonte Cercano</b>	Temperatura °C	0.84 °C	-\$17,732	-41.67%	0.82 °C	-\$32,515	-38.77%
	Precipitación(mm)	27.50 mm	\$6,916.05	16.25%	4.18 mm	\$1,407.80	1.68%
<b>2015-2039</b>	<b>Impacto Total</b>		<b>-\$10,816.81</b>	<b>-25.42%</b>		<b>-\$31,107.92</b>	<b>-37.09%</b>
<b>Horizonte Medio</b>	Temperatura °C	3.20 °C	-\$67,310	-158.16%	1.92 °C	-\$76,208	-90.86%
	Precipitación(mm)	-7.37 mm	-\$1,853.50	-4.36%	-30.86 mm	-\$10,393.48	-12.39%
<b>2045-2069</b>	<b>Impacto Total</b>		<b>-\$69,163.59</b>	<b>-162.52%</b>		<b>-\$86,602.19</b>	<b>-103.25%</b>
<b>Horizonte Lejano</b>	Temperatura °C	3.31 °C	-\$69,693	-163.76%	3.26 °C	-\$129,444	-154.33%
	Precipitación(mm)	-7.82 mm	-\$1,966	-4.62%	-57.51 mm	-\$19,369	-23.09%
<b>2075-2099</b>	<b>Impacto Total</b>						

## BIBLIOGRAFÍA

- Ajetomobi, J., Abiodun, A., & Hassan, R. (2011). Impacts of climate change on rice agriculture in Nigeria. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14, 613-622.
- Alves, M. C., Moreira da Silva, F., Sanches, L., Gonsaga de Carvalho, L., Araújo, G., & Ferraz, S. (2013). Geospatial analysis of ecological vulnerability of coffee agroecosystems in Brazil. *Appl Geomat*, 5, 87-97.
- Arcila Pulgarin, J. (2007). *Crecimiento y Desarrollo de la Planta de Café. Sistemas de producción de café en Colombia*. Caldas, Colombia: Cenicafé.
- Ater, P., & Aye, G. (2012). Economic impact of climate change on Nigerian maize sector: a Ricardian analysis. *Environmental Impact*, 162, 231-239.
- Bunn, C., Läderach, P., Ovalle Rivera, O., & Kirschke, D. (2015). A bitter cup: climate change profile of global production of Arabica and Robusta coffee. *Climatic Change*, 129, 89-101.
- Canet, G., & Soto, C. (2016). Capítulo I. Panorama general de la caficultura en Latinoamérica. En G. Canet Brenes, C. Soto Viquez, P. Ocampo Thomason, J. Rivera Ramírez, A. Navarro Hurtado, G. Guatemala Morales, & S. Villanueva Rodríguez, *La situación y tendencias de la producción de café en América Latina y el Caribe* (págs. 1-20). San José, Costa Rica: IICA/CIATEJ.
- Craparo, A. C., Van Asten, P. J., Läderach, P., Jassogne, L. T., & Grab, S. W. (2015). Coffea arabica yields decline in Tanzania due to climate change: Global implications. *Agricultural and Forest Meteorology*, 207, 1-10.
- Davis, A., Woldemariam Gole, T., Baena, S., & Moat, J. (2012). The Impact of Climate Change on Indigenous Arabica Coffee (*Coffea arabica*): Predicting Future Trends and Identifying Priorities. *Plos One*, 7(11), 1-13.
- Descroix, F., & Snoeck, J. (2004). Environmental Factors Suitable for Coffee Cultivation. En *Coffee: Growing, Processing, Sustainable Productivity* (págs. 164-177).
- Dufera Bongase, E. (2017). Impacts of climate change on global . *African Journal of Agricultural Research*, 12(19), 1607-1611.
- Falco, C., Galeotti, M., & Olper, A. (2019). Climate change and migration: Is agriculture the main channel? *Global Environmental Change*, 59.
- Fernández Eguiarte, A., Zavala Hidalgo, J., Romero Centeno, R., Conde Álvarez, A., & Trejo Vázquez, R. (2015). *Actualización de los escenarios de cambio climático para estudios de impactos, vulnerabilidad y adaptación*. Centro de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México. . Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Figueroa Hernandez, E., Pérez Soto, F., & Godínez Montoya, L. (2015). *La producción y el consumo del café*. ECORFAN .

- FIRA. (2015). *Panorama Agroalimentario*. México: Dirección de Investigación y Evaluación Económica y Sectorial.
- Fournier, L., & Di Stefano, J. (2004). Variaciones climáticas entre 1988 y 2001, y sus posibles efectos sobre la fenología de varias especies leñosas y el manejo de un cafetal con sombra en ciudad Colón de Mora, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 28(01), 101-120.
- Fries, A., Rollenbeck, R., Nauß, T., Peters, T., & Bendix, J. (2012). Near surface air humidity in a megadiverse Andean mountain ecosystem of southern Ecuador and its regionalization. *Agricultural and Forest Meteorology*, 152, 17-30.
- Gay Estrada, C., Conde, C., Eakin, H., & 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.
- Gay, C., Estrada, F., Conde, C., & Eakin, H. (2004.). Impactos Potenciales del Cambio Climático en la Agricultura: Escenarios de Producción de Café pra el 2050 en Veracruz (México). *Centro de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)*.
- Gbetibouo, G., & Hassan, R. (2005). Measuring the economic impact of climate change on major South African field crops: a Ricardian approach. *Global and Planetary Change*, 47, 143-152.
- Imbach, P., Fung, E., Hannah, L., Navarro-Racines, C., Roubik, D., Ricketts, T., . . . Roehrdanz, P. (2017). Coupling of pollination services and coffee suitability under climate change. *PNAS*, 114(39), 10438–10442.
- IPCC. (2007). *Cambio climático* (Informe de Síntesis ed.). Ginebra, Suiza: IPCC.
- Jawid, A. (2020). A Ricardian Analysis of the Economic Impact of Climate Change on Agriculture: Evidence from the Farms in the Central Highlands of Afghanistan. *Journal of Asian Economics*.
- Jürgen Pohlen, H., & Janssens, M. (2010). Growth and Production Of Coffee. En W. Verheye (Ed.), *Soils, Plant Growth and Crop Production - Volume III* (págs. 102-134). United Kingdom: Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS).
- Kabubo Mariara, J., & Karanja, F. (2006). The Economic Impact of Climate Change on Kenyan Crop Agriculture: A Ricardian Approach. *Third World Congress of Environmental and Resource Economics*, 1-27.
- Kurukulasuriya, P., & Mendelsohn, R. (2008). A Ricardian nalysis of the impact of climate change on African cropland. *AfJARE*, 2(1), 1-23.
- Laderach, P., Lundy, M., Jarvis, A., Ramirez, J., Perez Portilla, E., Schepp, K., & Eitzinger, A. (2011). Predicted Impact of Climate Change on Coffe Supply Chains. *The Economic, Social and Political Elements of Climate Change. Climate Change Management*, 703-723.

- Läderach, P., Ramirez-Villegas, J., Navarro-Valle, A., Zelaya, C., Mertinez-Valle, A., & Jarvis, A. (2017). Climate change adaptation of coffee production in space and time. *Climatic Change*, 141, 47-62.
- Magrath, A., & 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.
- Mendelsohn, R. (2009). The Impact of Climate Change on Agriculture in Developing Countries. *Journal of Natural Resources Policy Research*, 1(1), 5-19.
- Mendelsohn, R., & Dinar, A. (2009). *Climate Change and Agriculture. An economic analysis of global impacts, adaptation and distributional effects*. Massachusetts, USA: World Bank.
- Mendelsohn, R., Arellano-Gonzalez, J., & Christensen, P. (2009). A Ricardian analysis of Mexican farms. *Environment and Development Economics*, 15, 153-171.
- Mendelsohn, R., Nordhaus, W., & Shaw, D. (1994). The Impact of Global Warming on Agriculture: A Ricardian Analysis. *The American Economic Review*, 84(4), 753-771.
- Moguel, P., & Toledo, V. (1999). Café, luchas indígenas y sostenibilidad; el caso de México. *Ecología Política*(18), 23-36.
- Monterroso Rivas, A., Fernández Eguiarte, A., Trejo Vázquez, R., Conde Álvarez, A., Escandon Calderon, J., Villers Ruiz, L., & Gay García, C. (2014). *Vulnerabilidad y adaptación a los efectos del cambio climático en México* (Primera Edición ed.). DCMX: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Mora, J., Ramírez, D., Ordaz, J., Acosta, A., & Serna, B. (2010). *Efectos del cambio climático sobre la agricultura. Panamá*. México: CEPAL.
- Mora, N. (2008). *Agrocadena de Café*. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Dirección Regional Huetar Norte.
- Ordaz, J., Ramírez, D., Mora, J., Acosta, A., & Serna, B. (2010). *Efectos del Cambio Climático Sobre la Agricultura. Costa Rica*. México: CEPAL.
- Portillo, L. (1993). El Convenio Internacional del Café y la crisis del mercado. *Comercio Exterior*, 43, 278-291.
- Ramírez, V., Arcila, J., Jaramillo, Á., Rendón, J., Cuesta, G., Carcía, J., . . . Peña, A. (2011). Variabilidad climática y la floración del café en Colombia. *Cenicafé*, 407, 1-8.
- Rivera Silva, M., Nikolskii Gavrillov, I., Castillo Álvarez, M., Ordaz Chaparro, V., Diaz Padilla, G., & Guajardo Panes, R. (2013). Vulnerabilidad de la producción del café (*Coffea arabica* L.) al cambio climático global. *Tierra Latinoamericana*, 31(4), 305-313.
- Ruiz Meza, L. E. (2015). 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.

- SAGARPA. (2017). *Planeación Agrícola Nacional 2017-2030*. Ciudad de México: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo, Pesca y Alimentación .
- Schlenker, W., Hanemann, M., & Fisher, A. (2006). The impact of global warming on U.S. agriculture: An econometric analysis of optimal growing conditions. *The Review of Economics and Statistics*, 88(1), 113-125.
- Schroth, G., Läderach, P., Blackburn Cuero, D. S., Neilson, J., & Bunn, C. (2015). Winner or loser of climate change? A modeling study of current and future climatic suitability of Arabica coffee in Indonesia. *Reg Environ Change*, 15, 1473-1482.
- Servicio Meteorológico Nacional . (2019). *Normales Climatológicas por Estado*. CONAGUA.
- SIAP. (2020). *Datos Planos*. Ciudad de México: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Recuperado el 2017, de [http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos\\_a.php](http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos_a.php)
- Vásquez Pérez, J. (2014). Crisis del café y cultura del trabajo en el contexto de la acumulación flexible en el centro de Veracruz, México. *Entorno Geográfico* (10), 136-151.
- Villers, L., Arizpe, N., Orellana, R., Conde, C., & Hernandez , J. (2009). Impactos del cambio climático en la floración y desarrollo del fruto del café en Veracruz, México. *Interciencia*, 34(5), 322-329.
- Waha, K., Zipf, B., Kurukulasuriya, P., & Hassan, R. (2016). An agricultural survey for more than 9,500 African households. *Scientific Data*, 1-8.

## **CAPITULO III. PERCEPCIÓN DE PRODUCTORES DE CAFÉ AL CAMBIO CLIMÁTICO: IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS PARA LA ADAPTACIÓN**

### **RESUMEN**

Los agroecosistemas de café son altamente vulnerables al fenómeno del cambio climático, la adaptación es una condición necesaria para contrarrestar la vulnerabilidad, pero la percepción es la base para comprender dicho proceso. Conocer la percepción del cambio climático y los riesgos asociados por parte de los productores de café es primordial para la formulación adecuada de estrategias adaptativas, planes y políticas de desarrollo. El objetivo de la presente investigación fue conocer la percepción del productor sobre los factores que afectan la cafecultura, las variaciones en los elementos del clima a nivel local, las amenazas identificadas con sus consecuencias en la producción de café, el conocimiento de los productores sobre el cambio climático y las medidas de adaptación implementadas en los agroecosistemas de la región de estudio. La información se obtuvo de una encuesta implementada a productores de café e informantes clave. Los productores identifican que el cambio climático está afectando sobre el rendimiento y la calidad del producto, contribuyendo en la disminución de sus ingresos agrícolas. La percepción del riesgo no está siendo suficiente para que los productores implementen estrategias adaptativas en sus agroecosistemas. En cambio, la migración sigue siendo una ruta de escape ante la crisis cafetalera.

**Palabras Claves;** Cambio climático, percepción, amenazas, riesgo, adaptación, café.

### **ABSTRACT**

Coffee agroecosystems are highly vulnerable to the phenomenon of climate change, adaptation is a necessary condition to counteract vulnerability, but perception is the basis for understanding this process. Knowing the perception of climate change and the associated risks by coffee producers is essential for the adequate formulation of adaptive strategies, plans and development policies. The objective of the present investigation was to know the perception of the producer on the factors that affect coffee growing, the variations in the elements of the climate at the local level, the threats identified with their consequences on coffee production, the knowledge of the producers on the climate change and adaptation measures implemented in the agroecosystems of the study region. The information was obtained from a survey carried out on coffee producers and key informants.

Producers identify that climate change is affecting the yield and quality of the product, contributing to the decrease in their agricultural income. The perception of risk is not being sufficient for producers to implement adaptive strategies in their agroecosystems. Instead, migration continues to be an escape route from the coffee crisis.

**Keywords;** Climate change, perception, hazards, risk, adaptation, coffee.

## INTRODUCCIÓN

La producción de café en México se caracteriza por su alta vulnerabilidad ante el fenómeno del cambio climático (Gay *et al.*, 2006; Baca *et al.*, 2014; Ruiz, 2015), ejemplo de lo anterior son las regiones Mazateca en Oaxaca y Cuetzalan en Puebla (Monterroso *et al.*, 2014). Los factores que caracterizan la vulnerabilidad de los agroecosistemas de café son la poca diversificación de actividades productivas, ubicación frágil de las zonas productoras, pobreza, marginación, bajos niveles educativos, acceso limitado a recursos y servicios públicos, acceso limitado a tecnologías agrícolas, y escasez de mano obra (Quiroga *et al.*, 2015; Robles, 2011; Baca *et al.*, 2014; Zuluaga *et al.*, 2015).

La producción de café es altamente sensible a las alteraciones en temperaturas y precipitaciones generadas por el cambio climático (Magrath y Ghazoul, 2015). Entre los efectos de dichas alteraciones se encuentran el estrés hídrico en las plantas de café, la interrupción en el desarrollo fenológico del fruto, el aumento de plagas y enfermedades, la erosión de suelos y la pérdida de idoneidad climática para la producción (Bunn *et al.*, 2015; Villers *et al.*, 2009; Jaramillo *et al.*, 2013; Schroth *et al.*, 2015; Laderach *et al.*, 2017; Imbach *et al.*, 2017). Se estima que estos aspectos tienen serias consecuencias sobre la calidad, el rendimiento y la rentabilidad del café (Craparo *et al.*, 2015; Dufera, 2017), por lo que se considera que estos impactos aumentan la pérdida de ingresos, la inseguridad alimentaria, la pobreza y la migración (Hagggar y Schepp, 2012; Dufera, 2017; Falco *et al.*, 2019).

Ante los impactos adversos del cambio climático, las acciones adaptativas son estratégicas para contrarrestar dichos efectos, así como los riesgos asociados a las vulnerabilidades (IPCC, 2007). La adaptación al cambio climático tiene como objetivo moderar los efectos negativos 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). Sin embargo, la

adaptación depende de si un impacto anticipado o experimentado se percibe como un riesgo y si se debe (y se puede) actuar sobre él (Adger *et al.*, 2009).

Para construir e implementar adaptaciones locales, tecnologías, programas y políticas socialmente sólidas que busquen mitigar los efectos adversos del cambio climático, se requiere comprender lo que los agricultores entienden sobre el cambio climático (Whitmarsh y Capstick, 2018). Esta declaración se basa en el hecho de que, comprender (es decir, percibir) los efectos del cambio climático, es una condición necesaria para implementar estrategias de adaptación (Maddison, 2007).

Existen una serie de factores relevantes que determinan la percepción de los productores y en consecuencia la implementación de medidas adaptativas en sus agroecosistemas (Frank *et al.*, 2011; Jezeer *et al.*, 2019). Con base en ello se planteó la presente investigación considerando los siguientes aspectos:

a) El conjunto de factores que afectan a los agroecosistemas cafetaleros es complejo, por ello la importancia de abordar el nivel de relevancia que representa el fenómeno del cambio climático para los productores (Eakin *et al.*, 2005). Por ejemplo, ante una comparación de los principales problemas que afectan la producción de café, los efectos del cambio climático sobre los agroecosistemas cafetaleros podrían ser sustanciales, pero no los más importantes para los productores (Tucker *et al.* 2010; Eakin *et al.* (2005). De ahí la importancia de la percepción de riesgo, pues es requisito previo para la implementación de estrategias adaptativas (Maddison, 2007).

b) El comportamiento de las variables climáticas es diferenciado por regiones, por lo que las variaciones que los productores han percibido respecto a los elementos del clima (temperaturas y precipitaciones) son un componente básico para identificar los factores climáticos que podrían afectar la cafecultura (Zuluaga *et al.* 2015).

c) Investigaciones sobre el impacto del cambio climático han identificado diferentes amenazas sobre la cafecultura (Frank *et al.*, 2011; Jaramillo *et al.*, 2013; Baca *et al.*, 2014; Zuluaga *et al.*, 2015; Eakin *et al.*, 2005; Quiroga *et al.*, 2014; Ruiz, 2015; Ruelas *et al.*, 2014; Tucker *et al.*, 2010), y conociendo que son diferenciadas por región, es importante conocer cuáles son las principales amenazas que los productores de la región Mazateca y Cuetzalan han identificado.

d) Por otro lado, la conciencia y el conocimiento de los productores ante fenómenos ambientales son parte de la capacidad adaptativa ante el cambio climático. Su desconocimiento implica cierta vulnerabilidad para hacer frente a dicho fenómeno (Quiroga *et al.*, 2015; Zuluaga *et al.*, 2015). La capacidad de los agricultores para darse cuenta de que el cambio climático ocurre es una condición fundamental para su compromiso de implementar estrategias adaptativas (Gbetibouo, 2009).

e) Considerando la existencia de un fuerte vínculo entre percepción y comportamiento, Osbahr *et al.* (2011) sugieren que la percepción del cambio climático afecta la gestión de la adaptación ante dicho fenómeno. Por ello, la necesidad de conocer las medidas adaptativas que los productores están implementando en sus agroecosistemas.

Con base a los puntos mencionados, el objetivo de la presente investigación fue analizar la percepción de los productores sobre los principales factores que afectan la cafecultura, las variaciones en los elementos del clima a nivel local, las amenazas identificadas y sus consecuencias en la producción de café, así como el conocimiento de los productores sobre el cambio climático y las medidas de adaptación implementadas en sus agroecosistemas.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Zona de estudio**

El presente trabajo se realizó en la región Mazateca de Oaxaca y la región de Cuetzalan Puebla. Las dos regiones se caracterizan tanto por su alta dependencia con la producción de café como por su alta vulnerabilidad ante el fenómeno del cambio climático (Monterroso *et al.*, 2014).

Cuetzalan se ubica en la región Nororiental de Puebla, donde la producción de café es la actividad económica más importante para los pequeños productores (Rivadeneira y Ramírez, 2006). De igual forma, la región Mazateca de Oaxaca se caracteriza por la producción de café, siendo ésta, la principal fuente de ingreso para los productores (Flores, 1974).

### **Datos**

Los datos se obtuvieron a través de la aplicación de una encuesta a una muestra de 192 productores de café, 103 de la región Mazateca y 89 de la región de Cuetzalan. Esta se llevó a cabo en el segundo semestre de 2018 y el primero de 2019, empleando un cuestionario estructurado. La información obtenida fue verificada por informantes clave (técnicos, coordinadores técnicos, profesores de las comunidades e integrantes de las organizaciones).

La encuesta a hogares de pequeños productores de café incluyó secciones sobre demografía, producción agrícola, precios de cultivos, impactos y respuestas a la crisis del café, eventos climáticos, percepción de riesgos, condiciones ambientales locales y adaptaciones en sus agroecosistemas.

### **Análisis estadístico**

El análisis estadístico consistió en un análisis exploratorio y descriptivo sobre las características generales de los productores. Para conocer la percepción de los productores se realizaron análisis de frecuencias de las respuestas emitidas por parte de los cafeticultores. Para conocer la relación socioeconómica de los productores con las respuestas de percepción y adaptación se realizaron correlaciones Spearman.

## **RESULTADOS**

### **Perfil del productor**

La edad promedio de los productores de café en la región Mazateca fue de 54 años, el productor de menor edad tuvo 21 años y el mayor 80. La escolaridad promedio fue de 5 años, la mayoría de los productores no contaron con estudios o solo cursaron la primaria. La experiencia promedio de los productores en la cafecultura fue de 24 años. El número promedio de integrantes del hogar fue de cuatro. El valor promedio de la vivienda de los productores de café en la región Mazateca fue de MXN\$94,335. La superficie promedio de los productores de café fue de 1 ha y el productor con mayor superficie contó con 4.5 ha.

La edad promedio de los productores de café de la región Cuetzalan fue de 60 años, el productor de menor edad fue de 29 años y el mayor de 88 años. Los productores en esta región fueron en promedio mayores que los de la región Mazateca. La escolaridad promedio fue de 5.4 años; la gran mayoría tiene menos de 9 años de escolaridad y muy pocos estudiaron licenciatura. La experiencia promedio en la cafecultura fue de 28 años, 4 años más que los productores de la región Mazateca. Los hogares tuvieron en promedio 4 integrantes. El valor promedio del hogar de los productores de café fue de MXN\$306,460, un valor 3 veces superior al de la región Mazateca.

Los cafeticultores entrevistados de la región Cuetzalan pertenecieron a la cooperativa Tosepan Titataniske, la cual apoya a los productores con asistencia técnica permanente, precio seguro para el café cosechado. Además, los productores tienen acceso a la integración de otros proyectos que

la cooperativa desarrolla con sus socios. En la región Mazateca, la mayoría de los productores no pertenecieron a una organización social. Además, los trabajos en organización se encontraban en proceso de formalización en la región. En la actualidad, el acceso a proyectos de desarrollo o de financiamiento es complicado de obtener para los cafeticultores de esta región.

### Percepción de riesgos en la producción de café

En la región Mazateca 93% de los consultados consideraron haber padecido mermas en el rendimiento de la producción de café. En esta región 56% de las amenazas que se identificaron se relacionaron a factores derivados del clima; 35% fueron amenazas relacionadas con el manejo y problemas con plagas y/o enfermedades en las plantas de café.

Para la región Cuetzalan 95% de los productores mencionaron haber padecido de mermas en la producción de café (Tabla 1). En esta región manifestaron que las principales causas del bajo rendimiento en la producción fueron a causa de la roya (*Hemileia vastatrix*) y del mal manejo de sus agroecosistemas; en segundo lugar, están los factores relacionados con el clima (exceso de lluvias, cambio climático, aguanieve); y en tercer lugar, los factores relacionados a las plantas viejas y necesidad de renovación.

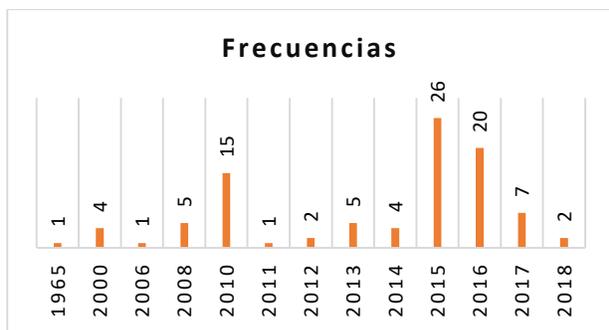
**Tabla III.1.** Principales causas de mermas en la producción de café.

Mazateca			Cuetzalan		
Amenazas	Frecuencia	%	Amenazas	Frecuencia	%
Mal manejo	17	15	Roya	37	43
Roya	14	12	Mal manejo	4	5
Plagas y enfermedades	9	8	Plagas y enfermedades	2	2
<b>Subtotal</b>	<b>40</b>	<b>35</b>	<b>Subtotal</b>	<b>43</b>	<b>49</b>
Heladas	16	14	Exceso de lluvias	6	7
Escasez lluvia	16	14	Clima	5	6
Sequía	9	8	Cambio climático	4	5
Exceso de lluvia	8	7	Agua Nieve	5	6
Clima	5	4	Frío	2	2
Calor	3	3	Calor	1	1
Granizo	3	3	Sequía	1	1
Cambio climático	2	2	Vientos	1	1
Frío	2	2	Escasez de lluvias	1	1
<b>Subtotal</b>	<b>64</b>	<b>56</b>	<b>Subtotal</b>	<b>26</b>	<b>30</b>
Renovación de plantas	5	4	Certificación	1	1
Plantas viejas	4	3	Variedades no apropiadas	2	2
Bajo precio del café	2	2	Renovación de plantas	8	9
<b>Subtotal</b>	<b>11</b>	<b>10</b>	Plantas viejas	7	8
			<b>Subtotal</b>	<b>18</b>	<b>21</b>
<b>Total</b>	<b>115</b>	<b>100</b>	<b>Total</b>	<b>87</b>	<b>100</b>

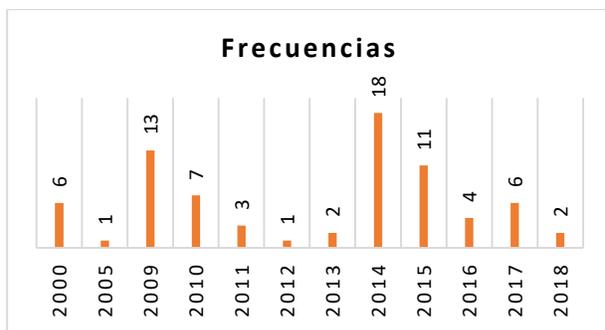
### Identificación de la variación en los elementos del clima

Con base en la percepción de los productores se identificaron alteraciones en los elementos del clima: temperaturas y precipitaciones. Con respecto a las primeras, 84% de los entrevistados de la región Mazateca y 83% de Cuetzalan aseveraron que la temperatura aumentó. El resto de productores en ambas regiones dijeron que se mantuvieron sin cambio o que disminuyeron.

Los productores identificaron los años en que comenzaron a incrementar las temperaturas (Figura 1 y 2). A partir del año 2000, los cafeticultores comenzaron a visualizar el incremento de la temperatura, en la región Mazateca los años 2010, 2015 y 2016 fueron los años más calurosos. En la región Cuetzalan 2009, 2014 y 2015 fueron los años más calurosos para los cafeticultores. Se observó que los años más calurosos se dan primero en la región Cuetzalan y posteriormente en la Mazateca.



**Figura III.1.** Años en que cambiaron las temperaturas, de acuerdo a la opinión de los productores de la región Mazateca.



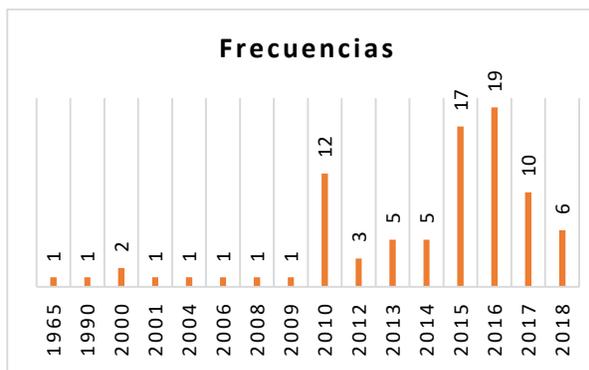
**Figura III.2.** Años en que cambiaron las temperaturas, de acuerdo a la opinión de los productores de la región Cuetzalan.

En cuanto al comportamiento de la precipitación (Tabla 2), los productores de la región Mazateca, 45% de ellos, opinaron que las lluvias decrecieron. Sin embargo, 28% también consideraron que ha llovido más en esta última década que en tiempos anteriores. Los productores de la región Cuetzalan, en su mayoría consideraron que las lluvias se han mantenido sin cambios, y 29% sugirieron que éstas han decrecido en la última década.

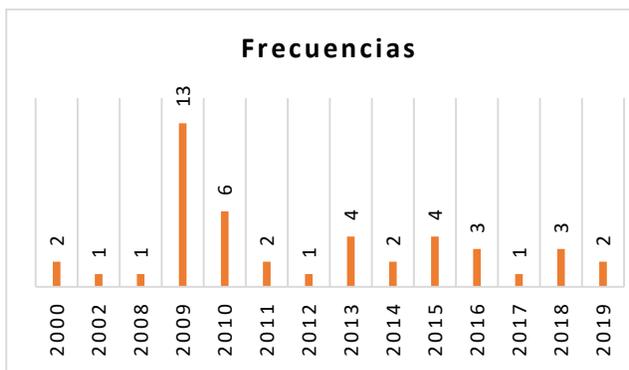
**Tabla III.2.** Cambios observados por los cafeticultores en cuanto a las precipitaciones.

Indicador	Mazateca			Cuetzalan		
	Frec	%	Acum	Frec	%	Acum
<b>1 No sabe</b>	1	1	1	2	2	2
<b>2 Disminuyeron</b>	46	45	46	26	29	31
<b>3 Sin cambios</b>	24	23	69	42	47	79
<b>4 Variable</b>	3	3	72	6	7	85
<b>5 Incrementaron</b>	29	28	100	13	15	100
<b>Total</b>	103	100		89	100	

Los productores de la región Mazateca identificaron 2010, 2015 y 2016 (Figura 3) como los periodos donde se vieron cambios marcados en el comportamiento de las precipitaciones (relacionadas principalmente a su disminución). En contra parte, en la región Cuetzalan la mayoría de los productores no identificaron cambios en el comportamiento de las lluvias (Figura 4).



**Figura III.3.** Años en que cambiaron las precipitaciones, de acuerdo a la opinión de los productores de la región Mazateca.



**Figura III.4.** Años en que cambiaron las precipitaciones, de acuerdo a la opinión de los productores de la región Mazateca.

En este apartado se describen los principales riesgos que los productores identificaron por el aumento de la temperatura (Tabla 3). En ambas regiones se identificó que los productores consideran que altas temperaturas causan efectos negativos. La consecuencia es que perjudica la floración, el desarrollo del fruto, beneficia la propagación de plagas/enfermedades y por tanto, afecta negativamente la producción y los ingresos. De manera secundaria mencionaron que la temperatura afecta sus jornadas laborales en el campo debido a mayor calor (el calor quema a la gente).

**Tabla III.3.** Consecuencias por aumento de la temperatura

Mazateca			Cuetzalan		
Efectos	Frec	%	Efectos	Frec	%
Secó las plantas	20	22	Bajó el rendimiento	14	17
Bajó el rendimiento	13	14	Afectó la floración	13	16
Afectó la floración	12	13	Afectó a la gente (quemó)	11	14
Afectó la producción de café	11	12	Secó las plantas	10	12
Tiró las hojas de las plantas	6	7	Afectó la producción general	9	11
Aumentó plagas y enfermedades	6	7	Quemó los frutos del café	9	11
Afectó la producción de maíz	5	6	Afectó el maíz	5	6
Quemó los frutos del café	8	9	Escaseó el agua	5	6
Lo contrario (benefició)	3	3	Afectó a las colmenas	2	3
Afectó a la gente (quemó)	2	2	Aumentó plagas y enfermedades	1	1
Escaseó el agua	2	2	Favoreció a la roya	1	1
Favoreció a la roya	1	1	Lo contrario (hizo más frío)	1	1
Lo contrario (hizo más frío)	1	1			
<b>Total</b>	<b>90</b>		<b>Total</b>	<b>81</b>	

En cuanto a las afectaciones por alteraciones de las precipitaciones sobre la producción de café, los cafeticultores de la región Mazateca enfatizaron que las lluvias en periodos de floración afectan drásticamente sobre la producción, debido a que, cuando llueve mucho las flores abortan o se caen y se ve reflejado en el bajo rendimiento, esta misma situación también se comentó en la región Cuetzalan (Tabla 4).

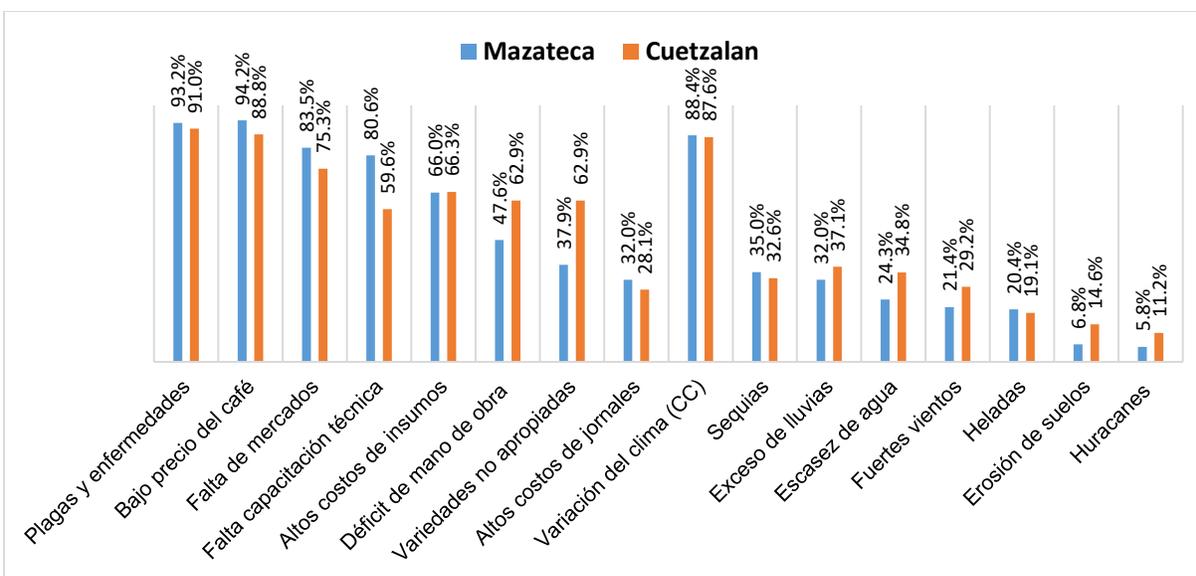
**Tabla III.4.** Efectos por alteraciones en la precipitación.

Mazateca			Cuetzalan		
Efectos	Frec	%	Efectos	Frec	%
Afectó la floración	22	25	Alteró las lluvias	12	29
Bajó el rendimiento de la producción	12	14	Afectó las plantas	6	15
Afectó a las plantas	11	12	Afectó la milpa	4	10
Afectó los frutos	8	9	Bajó el rendimiento	3	7
Generó plagas y enfermedades	7	8	Afectó la producción café	3	7
Afectó la producción café	6	7	Alteró fechas de siembra	3	7
Benefició la producción	6	7	Afectó floración	2	5
Tiró las flores	5	6	Generó deslaves	2	5
Afectó la milpa	4	5	Generó erosión del suelo	2	5
Tiró los frutos	4	5	Generó escasez de agua	2	5
Tiró las hojas	2	2	Tiró las hojas	1	2
Desbordó los ríos	1	1	Tiró los frutos	1	2
Alteró fechas de siembra	1	1			
<b>Total</b>	<b>89</b>		<b>Total</b>	<b>41</b>	

### Comparación de amenazas en la producción de café

En este apartado se abordaron las amenazas más relevantes para la producción de café que se han identificado en otros trabajos de investigación (Franck *et al.*, 2011; Jaramillo *et al.*, 2013; Baca *et al.*, 2014; Zuluaga *et al.*, 2015; Eakin *et al.*, 2005; Quiroga *et al.*, 2014; Ruiz, 2015; Ruelas *et al.*, 2014; Tucker *et al.*, 2010). Se consultó a los cafeticultores si estas amenazas eran identificadas en sus agroecosistemas y si habían impactado negativamente sobre la producción de café.

Se encontró que las principales amenazas para la producción de café son: a) las plagas y enfermedades, b) el bajo precio del café c) la variación del clima. Las amenazas menos relevantes para los productores fueron: a) la falta de mercados, b) falta de capacitación técnica, c) altos costos de insumos, d) déficit de mano de obra, e) utilización de variedades no apropiadas e f) altos costos de los jornales (Figura 5). Dentro de las amenazas climáticas en orden de relevancia se encuentran las sequías, exceso de lluvias, escasez de agua, fuertes vientos, heladas, erosión de suelos y huracanes.



**Figura III.5.** Amenazas en la producción de café en las regiones Mazateca y Cuetzalan

De acuerdo a la opinión de los productores, las principales amenazas que afectan los ingresos en la producción son las plagas/enfermedades, en especial la roya (*Hemileia vastatrix*). De igual forma los movimientos a la baja del precio del café sigue significando la principal amenaza para los ingresos del productor (Tabla 5). Las sequías, la escasez de agua, el exceso de lluvias y los fuertes vientos son factores que se consideran afectan en menor medida los ingresos del productor.

**Tabla III.5.** Principales amenazas que afectan los ingresos del productor

Afectaciones	Mucho		Poco		Nada		Desconoce	
	Maz %	Cuet %	Maz %	Cuet %	Maz %	Cuet %	Maz %	Cuet %
1 Plagas y enfermedades	67	75	20	17	2	8	11	-
2 Sequías	29	28	42	33	11	39	18	-
3 Escasez de agua	22	20	42	34	16	45	19	1
4 Exceso de lluvias	34	26	40	34	13	39	14	1
5 Fuertes vientos	18	18	41	46	15	36	26	-
6 Huracanes	11	10	33	30	25	60	31	-
7 Erosión de suelos	11	8	38	21	18	71	33	-
8 Heladas	9	26	33	12	22	62	36	-
9 Precio del café	56	89	15	10	28	1	1	-

### Capacidad ante amenazas climáticas

En cuanto a la capacidad de los productores para hacer frente a las amenazas latentes que podrían afectar el ingreso de la producción de café (Tabla 6) mencionaron que tienen muy poca capacidad para hacer frente a plagas/enfermedades, precio del café, sequías, escasez de agua, exceso de lluvias, fuertes vientos y erosión de suelos. Respecto a huracanes y heladas manifestaron tener nula capacidad para hacerles frente. Refirieron que la poca capacidad se debía principalmente a la

falta de recursos económicos, poca capacitación técnica, falta de apoyos gubernamentales y edad del productor.

**Tabla III.6.** Capacidad del hogar para hacer frente a estas amenazas.

Capacidad para hacer frente a los riesgos:	Mucha		Poca		Nada		Desconoce	
	Maz %	Cuet %	Maz %	Cuet %	Maz %	Cuet %	Maz %	Cuet %
1 Plagas y enfermedades	4	8	<b>68</b>	<b>73</b>	28	19		
2 Sequías	7	8	<b>54</b>	<b>49</b>	29	40	10	2
3 Escasez de agua	3	7	<b>56</b>	<b>47</b>	26	43	15	3
4 Exceso de lluvias	3	4	<b>53</b>	<b>56</b>	26	37	18	3
5 Fuertes vientos	7	2	<b>58</b>	<b>49</b>	35	48		
6 Huracanes	2	1	43	34	<b>35</b>	<b>61</b>	20	5
7 Erosión de suelos	2	8	<b>59</b>	<b>49</b>	39	40		2
8 Heladas	2	1	29	33	<b>69</b>	<b>63</b>		3
9 Precio del café	3	15	<b>51</b>	<b>62</b>	20	21	26	2

### Conocimiento del cambio climático e identificación de riesgos

En este apartado se abordó el conocimiento que tienen los productores de café sobre el cambio climático, los medios por los que se han enterado de este fenómeno y los riesgos identificados por los productores.

En la región Mazateca y Cuetzalan, los productores que dijeron conocer del fenómeno del cambio climático fueron el 79 y 73%, respectivamente. Sin embargo, cuando se solicitó a los productores que explicaran qué es el cambio climático, solo 57% de la región Mazateca y 64% de Cuetzalan explicaron en qué consiste el cambio climático.

Se encontró que existe una correlación positiva y significativa entre conocimiento del fenómeno del cambio climático y el nivel educativo de los entrevistados. Mientras que se identificó una relación negativa y significativa entre conocimiento del cambio climático y la edad.

Los medios por los que los productores se han enterado del fenómeno del cambio climático, en orden de importancia fueron: la televisión, conferencias o reuniones y la radio. El periódico y el internet fueron los medios de comunicación menos utilizados.

Se preguntó a los productores sobre los cambios que han observado en el ambiente relacionados con el fenómeno del cambio climático (Tabla 7). En ambas regiones mencionaron que actualmente perciben más calor y mayores temperaturas. También, en las dos regiones mencionaron que el clima se ha vuelto menos predecible y más extremo, con periodos de calor y lluvias extremas.

En orden de importancia en la región Cuetzalan, los productores mencionaron que los periodos de lluvia se han alterado, principalmente se han retrasado; en la región Mazateca este hecho se mencionó, pero fue de menor relevancia. En ambas regiones fue notable que en la actualidad las lluvias han disminuido, ocasionando problemas de escasez de agua.

Los productores han observado en la actualidad un comportamiento “anormal” e “irregular” del clima, con respecto a décadas pasadas, lo que asocian con menor producción del cultivo de café. De igual forma, han visto mayores plagas y enfermedades pues aseguran que se han propagado con mayor intensidad debido a periodos de altas temperaturas y humedad. Por otro lado, mencionaron que el aumento de la temperatura ha traído consigo algunos efectos positivos, como un buen potencial para la producción de cultivos que antes no se daban en la región, en Caltuchoco, localidad de Tepango de Rodríguez de la región de Cuetzalan algunos productores suponen que la vainilla se ha logrado producir en los últimos años debido al incremento de la temperatura. La misma lógica resulto para algunos productores de la región mazateca en cuanto a la producción de algunos árboles frutales y del aguacate.

**Tabla III.7.** Cambios observados en las localidades debido al fenómeno del cambio climático.

<b>Mazateca</b>			<b>Cuetzalan</b>		
<b>Cambios observados por CC</b>	<b>Frec</b>	<b>%</b>	<b>Cambios observados por CC</b>	<b>Frec</b>	<b>%</b>
Más calor	18	25	Más calor	44	46
Clima extremo	12	16	Clima extremo	12	13
Llueve Menos	10	14	Periodos de lluvias alterados	12	13
Afecta la producción	7	10	Llueve menos	9	10
No se dan cultivos	6	8	Escasea el agua	4	4
Periodos de lluvias alterados	3	4	No se dan los cultivos	3	3
Menos animales silvestres	2	3	Cambió el clima	3	3
Afecta floración	2	3	Afecta la producción	2	2
No hay buenas plantas	2	3	Afecta la floración	2	2
Más frío	2	3	Menos animales silvestres	1	1
Nuevas plagas y enfermedades	2	3	No hay buenas plantas	1	1
Escasea el agua	2	3	Más frío	1	1
Cambió el clima	1	1	Nuevas plagas y enfermedades	1	1
Se dan otros cultivos	1	1			
Afecta los frutos	1	1			
Afecta la salud	1	1			
Cambió todo	1	1			

### Riesgos debido al fenómeno del cambio climático

La Tabla 8 describe los riesgos que los productores han tenido en sus unidades de producción debido al fenómeno del cambio climático. Se encontró que el clima ha afectado la producción de café (particularmente en el rendimiento). Los productores mencionan que de manera directa e indirecta el fenómeno del cambio climático ha disminuido la producción de café a través de afectaciones en la floración, el aumento de las plagas y enfermedades, en especial la roya. También mencionaron que ya no se logran producir algunos cultivos, pues al igual que en la cafecultura, los periodos de sequía afectan la producción. Lo anterior, los ha llevado a tener riesgos de pérdidas de cosechas, falta de ingresos, mayores gastos económicos y escasez de alimentos.

**Tabla III.8.** Riesgos debido al fenómeno del cambio climático

<b>Mazateca</b>			<b>Cuetzalan</b>		
<b>Afectaciones por CC</b>	<b>Frec</b>	<b>%</b>	<b>Afectaciones por CC</b>	<b>Frec</b>	<b>%</b>
Bajo rendimiento	17	22	Afectó producción	19	25
Afectó producción	13	17	No se dan cultivos	12	16
No se dan cultivos	11	15	Afecta floración	11	14
Se secan plantas	11	15	Bajo rendimientos	7	9
Plagas y enfermedades	5	7	Escasea el agua	5	7
Afecta floración	3	4	Se secan plantas	4	5
Afecta la salud	2	3	Más roya	3	4
No hay buenas plantas	2	3	No hay que comer	3	4
Alteró fechas de siembra	2	3	Lluvia en floración	2	3
No se da café de calidad	2	3	Afecta la salud	2	3
Afecta los frutos	2	3	No hay buenas plantas	2	3
Escasea el agua	2	3	Plagas y enfermedades	1	1
Menos animales silvestres	1	1	Alteró fechas de siembra	1	1
Se dan otros cultivos	1	1	Menos animales silvestres	1	1
Menos vegetación	1	1	Hay más gastos	1	1
Clima no deja trabajar	1	1	Hay menos pastos	1	1
			Afecta las colmenas	1	1
	<b>76</b>			<b>77</b>	

### Cambios en el manejo de las unidades de producción (adaptaciones)

En este apartado se abordaron los cambios en el manejo de la producción de café que los cafecultores han implementado en sus unidades de producción debido al cambio climático. La literatura sugiere que los productores deberían estar implementando estrategias como la utilización de árboles sombra, variedades resistentes a climas más cálidos, cambios en la producción de café por cultivos más tolerantes a las nuevas condiciones climáticas, cambios de actividades económicas debido al cambio climático y en casos extremos puedan estar recurriendo a la migración.

Los principales cambios que los productores han realizado en sus unidades de producción tuvieron que ver con el cambio de variedades. Las principales variedades utilizadas en la última década en la producción de café en la región Mazateca fueron; geisha (57%), costa rica (18%) y Colombia (12%), que en conjunto suman 87% de los entrevistados. Las razones por las que cambiaron de variedades fueron, en orden de importancia: son resistentes a la roya, el cambio climático, mejor rendimiento, alcanzan un mejor precio, y porque se adaptan bien al suelo.

En la región Cuetzalan las principales variedades utilizadas en la última década fueron costa rica (50%), oro azteca (27%), marsellesa y catimor (14%) y sarchimor (6%). El motivo principal por el que cambiaron variedades fue que son resistentes a la roya (75 %), y en menor porcentaje que son resistentes al clima, tienen mejor rendimiento y por el cambio climático.

En la región Mazateca las principales especies de árboles que se utilizan para sombra del café son cuajinicuil, platanal, elite, que en conjunto representan 85% de los arboles utilizados para este fin. También sembraron naranjos, mamey y aguacate. Los principales motivos son porque proporcionan sombra a los cafetales, conservan la humedad, abonan la tierra y también debido al aumento de temperaturas ocasionadas por el cambio climático.

En cuanto a otros cultivos como el maíz; 5% de los productores mencionaron que han implementado cambios en sus agroecosistemas por consecuencia de variaciones climáticas, entre ellas: cambio de fechas de siembra, dejar de sembrar y abonar más seguido (abonos orgánicos). En cuanto a los productores que tenían ganado, mencionaron que el cambio climático los ha forzado construir galeras, han sembrado pastos resistentes al clima y aplicaron productos químicos para contrarrestar los efectos del cambio climático.

Ante la compleja problemática en la producción de café; algunos productores mencionaron que paulatinamente están abandonando esta actividad, principalmente en la región Mazateca, para dedicarse a diversos oficios. Un 3% de los productores principalmente jóvenes; mencionaron la posibilidad de migrar a las ciudades del país en busca de mejores oportunidades.

## **DISCUSIÓN**

En esta investigación los productores de café de la región Mazateca y de la Cuetzalan identificaron al fenómeno del cambio climático como uno de los problemas/amenazas más importantes sobre la producción de café, sin embargo, las afectaciones ocasionadas por la roya, los costos de producción

altos y los bajos precios del café fueron más relevantes. La identificación de estas presiones sobre la producción fue muy similar a las encontradas por Jezeer *et al.* (2019).

A pesar de una fuerte percepción de parte de los cafecultores respecto al cambio climático, se considera que los cafecultores no han logrado dimensionar realmente la amenaza que representa el fenómeno del cambio climático (Eakin *et al.*, 2005). O tal vez, un aspecto que podría afectar este resultado es que las respuestas respecto al clima se minimizan a la hora de compararlas con otros factores de gran relevancia como la roya y el precio del café (Mertz, 2009).

En cuanto a la percepción sobre las variaciones en los elementos del clima (independientemente de la conciencia del productor sobre la existencia del cambio climático) percibieron que han aumentado las temperaturas y disminuido las precipitaciones. Estas características identificadas sobre el cambio ambiental en la región Mazateca y Cuetzalan también fueron comunes en otras regiones del mundo (Mertz, 2009, Ogalleh *et al.*, 2012; Ayanlade *et al.*, 2017).

En cuanto a las principales amenazas identificadas a nivel global sobre la producción de café; en las regiones Mazateca y de Cuetzalan se identificaron las relacionadas a plagas/enfermedades (Frank *et al.*, 2011; Jaramillo *et al.*, 2013); bajos precios del aromático (Ruelas *et al.*, 2014; Tucker *et al.*, 2010) y las relacionadas al cambio climático fueron las sequías (Zuluaga *et al.*, 2015; Eakin *et al.*, 2005); escasez de agua (Quiroga *et al.*, 2014); exceso de lluvias (Frank *et al.*, 2011), fuertes vientos (Ruiz, 2015) y erosión de suelos (Quiroga *et al.*, 2014).

De acuerdo con las opiniones de los productores las alteraciones en el clima han afectado en la floración del cafeto, en la calidad del fruto, en el aumento de la roya del café, en la alteración en fechas de siembra de otros cultivos, además dificulta la cosecha en todos los cultivos. Al igual que en las investigaciones de Craparo *et al.* (2015), Dufera (2017) y Falco *et al.* (2019), los productores mencionaron que estas amenazas influyeron en los riesgos relacionados a la disminución del rendimiento de la producción, falta de ingresos, mayores gastos económicos, escasez de alimentos y migración.

Al igual que lo reportado por Gay *et al.* (2006) y Robles (2010), los productores identificaron que tienen muy poca capacidad para hacer frente a los eventos mencionados debido a la falta de recursos económicos, poca capacitación técnica, falta de apoyos gubernamentales y la edad del productor. Esto sugiere que los cafecultores siguen padeciendo las mismas dificultades y problemáticas que en décadas anteriores, aunado a los efectos del cambio climático actual.

La mayoría de los productores de las regiones Mazateca y Cuetzalan escucharon hablar del cambio climático además tienen cierto conocimiento sobre este fenómeno. Relacionado a ello, en otras investigaciones se ha evaluado la relación de los factores socioeconómicos que inciden sobre la percepción del productor (Deressa *et al.*, 2009; Habtemariam *et al.*, 2016). El nivel de estudios, la edad y el tipo de tecnología empleado por los productores, entre otros aspectos, han tenido relación con la percepción del riesgo y también sobre las medidas de adaptación (Ayanlade *et al.*, 2017). En esta investigación un alto nivel educativo se relacionó con un mejor nivel de percepción, pero una mayor edad del productor se relacionó con un bajo nivel de percepción. Sin embargo, la percepción del riesgo climático depende en gran medida de las condiciones sociales, económicas y culturales, aunque se discute la influencia de la percepción sobre el comportamiento adaptativo (Patt y Schröter. 2008).

Por otro lado, en la región Mazateca y la región de Cuetzalan las acciones de adaptación fueron poco frecuentes, a pesar de que la mayoría de los productores fueron perceptivos del fenómeno del cambio climático. Al respecto, Mertz *et al.* (2009) sugieren que las percepciones del cambio climático por sí solas rara vez conducen a comportamientos de adaptación. Pues el comportamiento del ser humano no es mecánico ni lineal debido a factores más complejos que envuelven a las sociedades como el aspecto cultural y la identidad social (Frank *et al.*, 2011).

Otras investigaciones sugieren que la adopción de prácticas agrícolas está fuertemente influenciada por los activos de los medios de vida que por la percepción de los riesgos (Jezeer *et al.*, 2019; Tucker *et al.*, 2010). Ishaya y Abaje (2008) consideran que los obstáculos para incorporar estrategias de adaptación al cambio climático están relacionadas a la falta de variedades mejoradas, tecnificación del riego, falta de capacitación técnica, falta de información del tiempo/clima, falta de recursos económicos para adquirir tecnología moderna. Lo anterior, significa fuertes presiones sobre los ingresos del productor, pues el capital invertido en tecnologías solo se amortiza en el largo plazo y los pequeños productores generalmente no tienen capacidad para financiar estos costos de manera anticipada (Chakrabarti *et al.*, 2014). Tales situaciones se ven reflejadas en los procesos migratorios de los productores (Falco *et al.*, 2019). En la región Mazateca y en la región de Cuetzalan, más que una acción adaptativa la migración se ha convertido en una alternativa de escape a la crisis de la cafecultura (CDI, 2008; Ortega y Ramírez, 2013).

Por otro lado, al igual que Abdul-Razak y Kruse (2017), en las regiones Mazateca y Cuetzalan, un porcentaje importante de mujeres y hombres no logró completar la educación primaria y la situación es más crítica para las mujeres. En la región Mazateca, las mujeres productoras de café se ven mayormente vulnerables con un nivel socioeconómico más bajo que los productores varones, esta característica disminuye la capacidad de adaptación y aunado al desconocimiento del cambio climático podrían limitar la aceptación de programas de desarrollo para la adaptación a los efectos de este fenómeno (Abdul-Razak y Kruse, 2017).

Los resultados muestran que la percepción del riesgo y la experiencia ante disturbios, por sí solos siguen siendo insuficientes para motivar la adopción de prácticas agrícolas (Jeezer *et al.*, 2019). De acuerdo con Ruiz *et al.* (2015) para hacer frente al complejo multifactorial que afecta la cafecultura se tiene que empezar con un plan de desarrollo regional que incluya la identificación, el análisis y la administración de amenazas y riesgos climáticos con base al estudio de las fortalezas y debilidades de las poblaciones locales. Por lo que se tiene que trabajar en la reducción de la vulnerabilidad social y fortalecer la capacidad de adaptación mediante la inclusión social, el reparto del poder y oportunidades como el ejercicio de los derechos humanos.

## **CONCLUSIONES**

Los cafeticultores tienen una fuerte percepción sobre las alteraciones climáticas y su impacto en los agroecosistemas de café. A pesar de ello, el cambio climático no representa el principal desafío para los productores. Pues las principales amenazas sobre los agroecosistemas de café en orden de importancia son las plagas/enfermedades (la roya), el bajo precio del café, los cambios de condiciones climáticas y cambio climático.

Los productores identifican que el cambio climático está afectando el rendimiento y la calidad del producto, contribuyendo en la disminución de sus ingresos agrícolas. Las limitaciones para hacer frente a estos riesgos tienen que ver con la avanzada edad del productor, falta de recursos económicos, falta de capacitación técnica y falta de apoyos gubernamentales.

Existe una fuerte ausencia de vinculación entre percepción del riesgo y medidas de adaptación, lo que sugiere una adaptación muy limitada al cambio climático a nivel individual y regional. La percepción del riesgo no está siendo suficiente para que los productores implementen estrategias adaptativas en sus agroecosistemas. En cambio, la migración sigue siendo una ruta de escape ante la crisis cafetalera.

Resulta urgente implementar planes y acciones de concientización respecto al cambio climático encaminados a la generación de estrategias de adaptación para contrarrestar las condiciones de vulnerabilidad de los productores. Si no se aplican estrategias de adaptación apropiadas y oportunas, el grado de pérdida por los impactos del cambio climático aumentarán en consecuencia.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Abdul-Razak, M., & Kruse, S. (2017). The adaptive capacity of smallholder farmers to climate change. *Climate Risk Management*, 17, 104-122.
- Adger, N., Dessai, S., Goulden, M., Hulme, M., Lorenzoni, I., Nelson, D., . . . Wreford, A. (2009). Are there social limits to adaptation to climate change? *Climatic Change*, 93, 335–354.
- Ayanlade, A., Radeny, M., & Morton, J. (2017). Comparing smallholder farmers' perception of climate change with meteorological data: A case study from southwestern Nigeria. *Weather and Climate Extremes*, 15, 24-33.
- Baca, M., Läderach, P., Hagggar, J., Schroth, G., & 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.
- Bunn, C., Läderach, P., Ovalle Rivera, O., & Kirschke, D. (2015). A bitter cup: climate change profile of global production of Arabica and Robusta coffee. *Climatic Change*, 129, 89-101.
- CDI. (2008). *Condiciones Socioeconómicas y Demográficas de la Población Indígena* (CDI ed., Vol. 1). Oaxaca, Oaxaca, México: Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas.
- Chakrabarti, S., Firmian, I., Laganda, G., Thomson, B., & Murphy, B. (2014). *La Ventaja de los Pequeños Agricultores. Una nueva manera de poner a trabajar a la financiación para el clima*. Roma (Italia): Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola.
- Craparo, A., Van Asten, P., Läderach, P., Jassogne, L., & Grab, S. (2015). Coffea arabica yields decline in Tanzania due to climate change: Global implications. *Agricultural and Forest Meteorology*, 207, 1-10.
- Deressa, T., Hassan, R., & Ringler, C. (2011). Perception of and adaptation to climate change by farmers in the Nile basin of Ethiopia. *Journal of Agricultural Science*, 149, 23-31.
- Dufera Bongase, E. (2017). Impacts of climate change on global . *African Journal of Agricultural Research*, 12(19), 1607-1611.
- Eakin, H., Tucker, C., & Castellanos, E. (2005). Market Shocks and Climate Variability: The Coffee Crisis in Mexico, Guatemala, and Honduras. *BioOne*, 25(4), 304-309.
- Falco, C., Galeotti, M., & Olper, A. (2019). Climate change and migration: Is agriculture the main channel? *Global Environmental Change*, 59.

- FIRA. (2015. ). *Panorama Agroalimentario. Café 2015*. FIRA.
- Flores de la Vega, M. (1974). La Sierra Mazateca: Algunos de sus problemas socioeconómicos. *Banco Nacional de Comercio Exterior, S. A., XXIV(6)*, 614-618.
- Frank, E., Eakin, H., & 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.
- Füssel, H., & Klein, R. (2006). Climate change vulnerability assessments: An evolution of conceptual thinking. *Climatic Change, 75*, 301-329.
- Gay, C., Estrada, F., Conde, C., Eakin, H., & 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.
- Gbetibouo, G. A. (2009). *Understanding Farmer's Perceptions and Adaptations to Climate Change and Variability: The case of the Limpopo Basin, South Africa*. Washington: International Food Policy Research Institute.
- Habtemariam, L., Gandorfer, M., Kassa, G., & Heissenhuber, A. (2016). Factors Influencing Smallholder Farmers' Climate Change Perceptions: A Study from Farmers in Ethiopia. *Environmental Management, 58*, 343-358.
- Haggar, J., & Schepp, K. (2012). *Coffee and Climate Change Impacts and options for adaption in Brazil, Guatemala, Tanzania and Vietnam*. NRI Working Paper Series No. 4.
- Imbach, P., Fung, E., Hannah, L., Navarro-Racines, C., Roubik, D., Ricketts, T., . . . Roehrdanz, P. (2017). Coupling of pollination services and coffee suitability under climate change. *PNAS, 114(39)*, 10438-10442.
- IPCC. (2007). *Cambio climático* (Informe de Síntesis ed.). Ginebra, Suiza: IPCC.
- Ishaya, S., & Abaje, I. B. (2008). Indigenous People's Perception on Climate Change and Adaptation Strategies in Jema'a Local Government Area of Kaduna State, Nigeria. *Journal of Geography and Regional Planning, 1(8)*, 138-143.
- Jaramillo, J., Setamou, M., Machugu, E., Chabi-Olaye, A., Jaramillo, A., Mukabana, J., . . . 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.
- Jezeer, R., Verweij, P., Boot, R., junginger, M., & Santos, M. (2019). Influence of livelihood assets, experienced shocks and perceived risks on smallholder coffee farming practices in Peru. *Journal of Environmental Management, 242*, 496-506.
- Läderach, P., Ramirez-Villegas, J., Navarro-Racines, C., Zelaya, C., Martinez-Valle, A., & Jarvis, A. (2017). Climate change adaptation of coffee production in space and time. *Climate Change, 141*, 47-62.

- Maddison, D., Manley, M., & Kurukulasuriya, P. (2007). *The Impact of Climate Change on African Agriculture*. South Africa: The World Bank.
- Magrath, A., & Ghazoul, J. (2015). Climate and Pest-Driven Geographic Shifts in Global Coffee Production: Implications for Forest Cover, Biodiversity and Carbon Storage. *PLOS ONE*, 1-15.
- Mertz, O., Halsnaes, K., & Olesen, J. E. (2009). Adaptation to Climate Change in Developing Countries. *Environmental Management*, 43, 743-752.
- Monterroso Rivas, A., Fernández Eguiarte, A., Trejo Vázquez, R., Conde Álvarez, A., Escandon Calderon, J., Villers Ruiz, L., & Gay García, C. (2014). *Vulnerabilidad y adaptación a los efectos del cambio climático en México* (Primera Edición ed.). DCMX: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ogalleh, S., Vogl, C., Eitzinger, J., & Hauser, M. (2012). Local Perceptions and Responses to Climate Change and Variability: The Case of Laikipia District, Kenya. *Sustainability*, 4, 3302-3325.
- Ortega Hernandez, A., & 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.
- Osbahr, H., Dorward, P., Stern, R., & Cooper, S. (2011). Supporting agricultural innovation in Uganda to respond to climate risk: linking climate change and variability with farmer perceptions. *Expl Agric*, 49(2), 293-316.
- Patt, A., & Schröter, D. (2008). Perceptions of climate risk in Mozambique: Implications for the success of adaptation strategies. *Global Environmental Change*, 18, 458-467.
- Quiroga, S., Suárez, C., & Solís, J. D. (2015). Exploring coffee farmers' awareness about climate change and water needs: Smallholders' perceptions of adaptive capacity. *Environmental Science & Policy*, 45, 53-66.
- Rivadenerira Pasquel, J., & Ramírez Valverde, B. (2006). EL Comercio Local del Café a Raíz de su Crisis en la Sierra Norte de Puebla. *Revista Mexicana de Agronegocios*, X(18).
- Robles Berlanga, H. (2011). Los Productores de Café en México: Problemática y Ejercicio del Presupuesto. *Mexican Rural Development Research Reports, Reporte 14*, 1-59.
- Ruelas Monjardin, L., Nava Tablada, M. E., Cervantes, J., & Barradas, V. (2014). Importancia ambiental de los agroecosistema cafetaleros bajo sombra en la zona central montañosa del estado de Veracruz, México. *Madera y Bosques*, 20(3), 27-40.
- Ruiz Meza, L. E. (2015). 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.

- Schroth, G., Läderach, P., Dempewolf Jan, Philpott, S., Hagggar, J., Eakin, H., Ramirez, 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.
- Schroth, G., Läderach, P., Blackburn Cuero, D. S., Neilson, J., & Bunn, C. (2015). Winner or loser of climate change? A modeling study of current and future climatic suitability of Arabica coffee in Indonesia. *Reg Environ Change*, 15, 1473-1482.
- Tucker, C., Eakin, H., & 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.
- Villers, L., Arizpe, N., Orellana, R., Conde, C., & Hernandez, J. (2009). Impactos del cambio climático en la floración y desarrollo del fruto del café en Veracruz, México. *Interciencia*, 34(5), 322-329.
- Whitmarsh, L., & Capstick, S. (2018). Perception of climate change. En S. Clayton, & C. Manning (Edits.), *Psychology and Climate Change* (págs. 14-33). Elsevier.
- Zuluaga, V., Labarta, R., & Läderach, P. (2015). Adaptation to Climate Change: The case of Nicaraguan Coffee Sector. *International Center of Tropical Agriculture (CIAT)*, 1-39.

## CONCLUSIONES GENERALES

Los productores de café de la región Mazateca y la región de Cuetzalan se encuentran en situación de alta vulnerabilidad ante el fenómeno del cambio climático debido a su baja diversificación productiva, frágil ubicación geográfica, alta marginación, avanzada edad, bajos niveles educativos, falta de capacitación, de servicios crediticios y falta de apoyo gubernamental.

La Hipótesis Particular (1) que sugiere que el CC impactará negativamente sobre el valor de las tierras dedicadas a la producción de café en la región Mazateca de Oaxaca y la región de Cuetzalan Puebla: se acepta. Pues el CC en estas dos regiones se caracteriza principalmente por decremento de precipitaciones y el aumento de temperaturas (Fernández *et al.*, 2015). Dependiendo de las proyecciones climáticas, la disminución en la precipitación involucraría una disminución en el valor de la tierra que iría de un 4% hasta un 40%. Ante el incremento de un grado centígrado reduciría en promedio un 50% el valor de las tierras dedicadas a la producción de café para ambas regiones. Ante un aumento de 2 °C en la temperatura, como se espera para mediados del presente siglo, los efectos económicos del cambio climático sobre la producción de café serían irreparables.

La Hipótesis Particular (2) que sugiere que los productores de café de las regiones Mazateca y de Cuetzalan perciben en función de su nivel socioeconómico, las amenazas de riesgo generadas por el CC e implementan medidas de adaptación que son función de su nivel de percepción. Se acepta parcialmente. Pues existe una relación positiva entre conocimiento del fenómeno del cambio climático y el nivel educativo de los entrevistados. Mientras que se identificó una relación negativa y significativa entre conocimiento del cambio climático y la edad. Los productores de café perciben alteraciones ambientales relacionadas al cambio climático como el aumento de temperatura y alteración de precipitaciones y son conscientes de las amenazas de riesgo en sus agroecosistemas. Las principales amenazas sobre los agroecosistemas de café en orden de importancia son las plagas/enfermedades (la roya), el bajo y volátil precio del café y el fenómeno del cambio climático. Sin embargo, los productores están realizando muy pocas acciones adaptativas en sus agroecosistemas relacionadas al cambio climático. Los principales ajustes que han realizado son el cambio de variedades y la certificación orgánica. Por lo que existe una fuerte ausencia de vinculación entre percepción del riesgo climático y medidas de adaptación. La percepción del riesgo no está siendo suficiente para que los productores implementen estrategias

adaptativas en sus agroecosistemas. En cambio, la migración permanece como una ruta de escape ante la crisis cafetalera.

Además, la crisis global de los últimos años ha dejado ver que la agricultura seguirá siendo la actividad esencial del ser humano. En el caso de los productores altamente vulnerables de la región Mazateca y la región de Cuetzalan, el impacto combinado del cambio climático, la roya, los precios del café y ahora las repercusiones económicas del COVID-19 colocarán riesgos mayores sobre los medios de vida incluyendo la seguridad alimentaria de las familias dependientes del café.

### **Recomendaciones**

La producción de café representa un complejo de problemáticas sociales, económicas, políticas y ambientales. Para un mejor análisis sería importante que en futuros estudios se utilicen enfoques holísticos, la ciencia interdisciplinaria impulsaría un mejor entendimiento de la problemática actual al integrar en sus estudios las dimensiones económico, social y ambiental.

Los impactos del cambio climático varían de acuerdo a la región. Con base en ello se deben considerar actividades productivas agrícolas y no agrícolas que suplan la dependencia de ingresos por la actividad de café. Los productores de café entrevistados en la región Cuetzalan están mejor organizados por la cooperativa *Tosepan Titataniske* que ha logrado impulsar a los productores a través de la certificación de la producción de café orgánico con fines de exportación y consumo local, algunos productores también se dedican a la producción de pimiento y miel de abeja melipona. Por lo tanto, especialmente en la región Mazateca será necesario emprender mayores acciones para hacer frente al complejo de riesgos que afectan a la producción de café.

Urge implementar planes y acciones respecto al cambio climático encaminados a la generación de estrategias de adaptación para contrarrestar las condiciones de vulnerabilidad de los productores. En ambas regiones se deben abordar estrategias relacionadas al revelo generacional, producción de cafés de especialidad, incluir la comercialización local, la diversificación de la producción e incluir el turismo agrícola. Si no se aplican estrategias de adaptación apropiadas y oportunas, el grado de pérdida, por los impactos del cambio climático, puede ser irreversible.

Los productores esperan políticas integrales que le devuelvan una armonía socioeconómica a las actividades del campo. Puesto que los programas de pequeños apoyos económicos anuales no presentan ningún impacto positivo en la economía de las familias cafeticultoras. Sin embargo, los

precios de garantía significan una esperanza económica para los cafeticultores de las regiones Mazateca y Cuetzalan.