



Trayectorias socioecológicas de los sistemas cafetaleros en Tepatlaxco, Veracruz, México

Socio-ecological Trajectories of Coffee Systems in Tepatlaxco,
Veracruz, Mexico

Jesús Guerrero Carrera,¹ José Álvaro Hernández Flores²

Resumen

La caficultura es una actividad fundamental para la economía y sustento de millones de familias en Latinoamérica. Sin embargo, enfrenta múltiples perturbaciones como el cambio climático, incremento de plagas y volatilidad de precios. Ante este panorama, se requiere investigar cómo operan los procesos de adaptación y transformación en contextos locales. El objetivo de este estudio fue analizar la percepción de los productores en torno al impacto de las perturbaciones, así como las trayectorias de adaptación y transformación de los sistemas socioecológicos cafetaleros en el municipio de Tepatlaxco, Veracruz. Con base en 29 encuestas a productores y cuatro entrevistas a informantes clave, se determinaron las principales perturbaciones y trayectorias de las unidades de producción. Se encontró que la capacidad adaptativa de los productores de la zona baja se sustenta en la diversificación y la adopción de prácticas que incorporan valor agregado, mientras que en la zona alta depende, principalmente, del acceso a programas sociales. Los procesos de transformación se atribuyen al abandono de la agricultura o a los cambios de cultivo. Se concluye que las políticas públicas deben focalizarse en función de las dinámicas regionales, facilitando innovación en la zona baja y mejorando condiciones para la comercialización en la zona alta.

Palabras clave: agroecosistema; cambio climático; medios de vida; perturbaciones; trayectorias; vulnerabilidad.

¹ Autor de correspondencia. Doctor en Ciencias por el Colegio de Postgraduados, Campus Puebla, México. Posdoctorante en el Centro de Estudios Demográficos y Ambientales de El Colegio de México A.C. Líneas de interés: sistemas socioecológicos, agroecología, economía agrícola, cambio climático. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3747-0105> Correo electrónico: jguerrero@colmex.mx

² Doctor en ciencias por el Colegio de Postgraduados, Campus Puebla, México. Profesor investigador en el Centro de Estudios Demográficos y Ambientales de El Colegio de México A.C. Líneas de interés: desarrollo rural, estrategias de reproducción social, cambio social, conflictos territoriales. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8349-0505> Correo electrónico: jalvaro@colmex.mx



Abstract

Coffee growing is a fundamental activity for the economy and livelihood of millions of families in Latin America. However, it faces multiple disturbances such as climate change, increased pests, and price volatility. Given this panorama, it is necessary to investigate how adaptation and transformation processes operate in local contexts. Our objective was to analyze producers' perceptions regarding the impact of disturbances, as well as the adaptation and transformation trajectories of coffee socio-ecological systems in the municipality of Tepatlaxco, Veracruz. Based on 29 surveys of producers and four interviews with key informants, the main disturbances and trajectories of the production units were determined. We found that the adaptive capacity of producers in the low zone is based on diversification and adoption of practices that incorporate added value, while in the high zone, it depends mainly on access to social programs. Transformation processes are attributed to the abandonment of agriculture or changes in cultivation. We conclude that public policies must be focused on regional dynamics, facilitating innovation in the lower zone and improving conditions for commercialization in the upper zone.

Keywords: agroecosystem; climate change; disturbances; livelihoods; trajectories; vulnerability.

Introducción

La caficultura es fundamental para la economía rural, la seguridad alimentaria y el sustento de millones de familias en países de Latinoamérica, África y Asia (Jha *et al.*, 2014; Bacon *et al.*, 2017). Se estima que más de 100 millones de personas en el mundo dependen de este cultivo para sus medios de vida (Bunn *et al.*, 2015). En México, estados como Chiapas, Oaxaca, Puebla y Veracruz destacan por su producción de café, esencial para el empleo local y las exportaciones agroindustriales (Toledo y Barrera, 2017; Vázquez *et al.*, 2022).

En los últimos años la caficultura global ha enfrentado múltiples perturbaciones interrelacionadas (Tadesse *et al.*, 2020). El cambio climático (CC) altera los regímenes de temperatura y precipitación, dando lugar a eventos extremos que impactan a distintas regiones productoras (Bunn *et al.*, 2015). Este fenómeno, propicia a su vez el surgimiento de plagas y enfermedades que representan una amenaza significativa a los sistemas cafetaleros, tal como ocurrió durante la epidemia de roya en 2012-2013. Por otro lado, las fluctuaciones en la producción generan volatilidad en los mercados internacionales, afectando el precio que se paga por el producto de los caficultores (Avelino *et al.*, 2015).



Hay estudios previos que analizan la capacidad de adaptación y resiliencia de los sistemas socio-ecológicos (SSE) cafetaleros frente a amenazas de distinta índole (Harvey *et al.*, 2014; Rahn *et al.*, 2018). Sin embargo, se requiere investigación sobre cómo operan estos procesos en contextos locales específicos, considerando las interacciones complejas ante perturbaciones ambientales y las dinámicas sociales y limitantes económicas e institucionales en SSE (Eakin *et al.*, 2014; Campbell, 2021).

En este escenario, los SSE cafetaleros se definen como sistemas complejos, evolutivos y adaptativos en las que interactúan componentes sociales y ecológicos, incluyendo productores, comunidades, instituciones, ecosistemas y biodiversidad asociada al cultivo del café (Campbell, 2021). Estos sistemas exhiben dinámicas no lineales y retroalimentaciones entre sus elementos biofísicos y socioeconómicos (Binder *et al.*, 2013; Ostrom, 2009). Las perturbaciones en el contexto de SSE cafetaleros se refieren a eventos o procesos, de origen natural o antrópico, que alteran la estructura y funcionamiento del sistema (Folke *et al.*, 2010; Turner *et al.*, 2003).

La resiliencia en SSE cafetaleros involucra la capacidad adaptativa de las fincas y comunidades para mantener la producción de café y medios de vida ante dichas perturbaciones como tensiones climáticas, plagas, enfermedades, volatilidad de precios y cambios en políticas públicas (Harvey *et al.*, 2018; Campbell, 2021). Por el contrario, la vulnerabilidad denota la propensión o susceptibilidad de un SSE a sufrir daños o colapsar cuando se ve expuesto a amenazas, siendo un atributo que varía sustancialmente entre distintas localidades, fincas y hogares caficultores (Eakin *et al.*, 2011; Bacon *et al.*, 2017).

Desde el enfoque de SSE, se plantea cómo la vulnerabilidad y la resiliencia a través de las trayectorias de adaptación y transformación son elementos clave para evaluar la sostenibilidad de sistemas cafetaleros ante múltiples tensiones y perturbaciones (Carpenter *et al.*, 2001; Walker *et al.*, 2004; Folke *et al.*, 2010). De esta forma, los SSE exhiben comportamientos emergentes y adaptativos producto de interrelaciones, sinergias e incertidumbres inherentes a su naturaleza compleja (Rammel *et al.*, 2007; Folke, 2016). En este sentido, ante perturbaciones, los SSE despliegan mecanismos de autorregulación y reorganización que les permiten mantener su funcionamiento mediante procesos de adaptación y transformación sistémica (Rammel *et al.*, 2007; Folke *et al.*, 2010).

En el contexto de los SSE, la trayectoria se refiere a la dirección y evolución que experimenta un sistema a lo largo del tiempo como resultado de su exposición a fuerzas de cambio externas e internas. Estas trayectorias pueden dirigirse hacia la adaptación incremental o hacia transformaciones de mayor alcance (Folke *et al.*, 2010). Mientras que las trayectorias de adaptación permiten la persistencia del



sistema mediante cambios sucesivos en sus funciones y procesos, sin que se alteren sus identidades fundamentales (Nelson *et al.*, 2007), las trayectorias de transformación implican la reconfiguración estructural y funcional del sistema, dando lugar a una nueva identidad en respuesta a las presiones acumuladas (O'Brien, 2012). En este sentido, las trayectorias de transformación se manifiestan cuando los mecanismos adaptativos previos resultan inadecuados o insuficientes para hacer frente a alteraciones severas en las condiciones biofísicas o socio institucionales (Pahl-Wostl *et al.* 2007).

La complejidad inherente a las trayectorias en los SSE radica en su coevolución no lineal bajo diferentes factores de presión, donde los componentes sociales y ecológicos interactúan en el tiempo y espacio, moldeando direcciones sostenibles o no (Reyers *et al.*, 2018). Así, las trayectorias reflejan un proceso continuo de adaptación o transformación que define la resiliencia del sistema ante perturbaciones acumuladas (Lam *et al.*, 2020).

De esta forma, mediante el enfoque SSE, planteamos un análisis sobre las presiones, vulnerabilidades y respuestas adaptativas de los caficultores de Tepatlaxco, Veracruz. Este municipio es ampliamente importante en la caficultura de la región de las altas montañas de Veracruz, debido a su alta dependencia a esta actividad (Moguel y Toledo, 1999). Además, las condiciones orográficas del municipio, con sus zonas productoras de café (altas y bajas), lo convierten en un caso de estudio que permite analizar cómo las variaciones en altitud y microclimas afectan las dinámicas de adaptación y resiliencia en la caficultura local. Así, se pretende dar cuenta de los procesos, retroalimentaciones y umbrales que pueden derivar en adaptaciones o transformaciones del sistema local ante tensiones acumuladas. De acuerdo con la literatura, este tipo de monitoreo temprano de señales de resiliencia resulta crucial para anticipar y evitar posibles cambios hacia regímenes no deseados (Folke *et al.*, 2010).

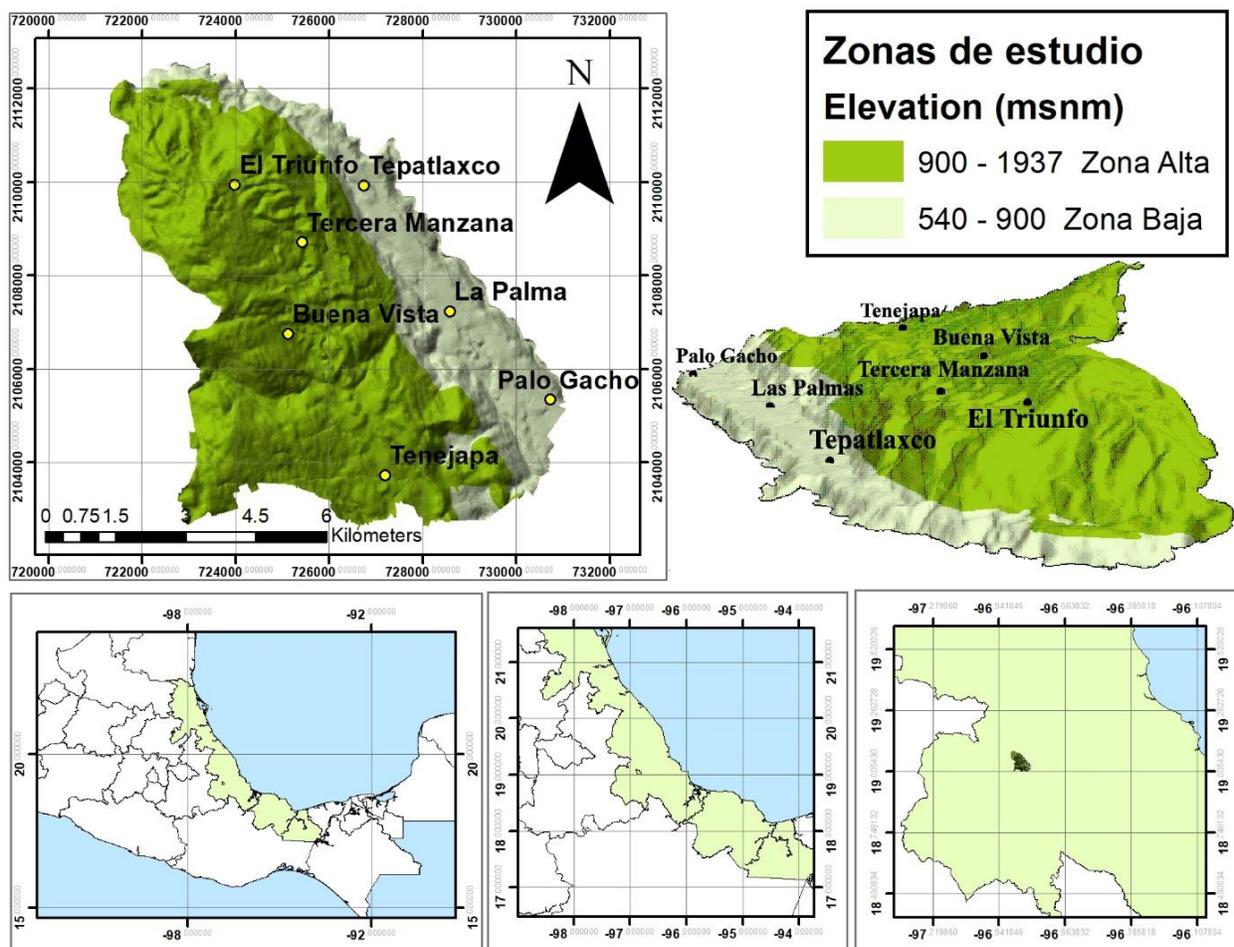
Con base a lo anterior, se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuáles son las principales perturbaciones que afectan a los SSE de Tepatlaxco, Veracruz, y cómo las respuestas de los caficultores configuran trayectorias que influyen en la resiliencia de dichos sistemas? Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue analizar, con base en las percepciones de los productores, el impacto de perturbaciones y las trayectorias de adaptación y transformación. A partir de este análisis se busca generar insumos para el diseño de políticas diferenciadas que refuercen la resiliencia cafetalera de manera socialmente inclusiva, económicamente viable y ambientalmente sostenible (Bacon *et al.*, 2014).



Metodología

El estudio se llevó a cabo en el municipio de Tepatlaxco, en la región de las Montañas en Veracruz, México (Figura 1). Este municipio, ubicado en el centro-sur del estado de Veracruz, entre los 540 y los 1 937 msnm, pertenece a una región que históricamente se ha configurado como cafetalera (Hernández, 2022). Su clima es templado húmedo y frío, con precipitaciones que oscilan entre 600 y 3 000 mm y temperaturas promedio que van de 10 ° y 29 °C (Ballinas *et al.*, 2015; García *et al.*, 2018). La región se caracteriza por su alta dependencia de la caficultura (Moguel y Toledo, 1999) y su vulnerabilidad al fenómeno del CC (Monterroso *et al.*, 2014).

Figura 1. Zona de estudio (municipio de Tepatlaxco, Veracruz, México)



Fuente: elaboración propia con información de campo. Las capas fueron obtenidas del geoportal de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO)



El municipio de Tepatlaxco cuenta con dos zonas productoras de café: zona baja y zona alta. La zona baja se ubica entre los 680 y 850 m de altitud e incluye las localidades de Tepatlaxco, La Palma y Palo Gacho (Figura 1). En esta región se produce principalmente el café robusta (*Coffea canephora*) y la superficie promedio por productor es de 4.5 ha. Las variedades de café robusta están adaptadas a climas calurosos y son resistentes a plagas y enfermedades (Jha *et al.*, 2014). Sin embargo, estas son de menor calidad organoléptica por su mayor amargor, menor aroma y con un alto contenido de cafeína (Campa *et al.*, 2004).

La zona alta, ubicada entre los 900 a 1 700 msnm, produce principalmente café arábica (*Coffea arabica*). En esta zona se ubican las localidades de San José Tenejapa, El Triunfo y Tercera Manzana, y la superficie promedio de los predios es de 1.4 ha. Las variedades de café arábica son de porte alto, susceptibles a la roya, crecen mejor en altitudes superiores a 800 m de altitud (Guerrero *et al.*, 2020). Esta variedad produce granos de mejor calidad, con menor contenido de cafeína y mayor acidez y aroma, lo que le otorga mayor valor comercial (Labouisse *et al.*, 2008).

Este estudio se basa en el análisis de resiliencia en SSE propuesto por Quinlan *et al.* (2016), quienes plantean la simplificación de atributos importantes del sistema con el fin de evaluar el impacto potencial de las perturbaciones o intervenciones. Como parte de este ejercicio se aplicaron 29 encuestas a pie de finca, 22 a productores de la zona baja y siete a productores de la zona alta.

La diferencia en el tamaño de muestra entre las zonas alta y baja obedeció a restricciones logísticas, de tiempo y de recursos. No obstante, se priorizó la representatividad cualitativa de la zona alta mediante un enfoque metodológico que contempló la realización de cuatro entrevistas a informantes clave. Los informantes son profesionistas, con carrera en agronomía. En el momento de las entrevistas dos de ellos se desempeñaban como extensionistas, uno como especialista y comerciante en la producción de café y el último como director de fomento agropecuario. Todos ellos son conocedores de las zonas de estudio y de las dinámicas productivas del café en la región. De esta forma, se abordó las limitaciones de la muestra. La integración de estas contribuciones cualitativas fue crucial para complementar y verificar la información obtenida de las encuestas, así como para compensar potenciales vacíos de información, garantizando una interpretación integral de los resultados.

Con base en un análisis de literatura se determinaron y operacionalizaron cinco dimensiones vinculadas directamente con la capacidad de resiliencia de los SSE cafetaleros (Tabla 1 en Anexos). De este análisis se generó la estructura del cuestionario y las entrevistas. La operacionalización de las variables permitió examinar los factores externos que afectan al sistema, seguido por las características internas socioeconómicas y las estrategias de diversificación. Posteriormente, se



consideró el componente tecnológico, crucial para conocer el proceso de desarrollo tecnológico de las unidades de producción (UP). Para ello, se generó un índice tecnológico (IT), el cual se estructuró y se calculó con base al número de buenas prácticas (VIT) implementadas en las UP. Finalmente, se evaluó la capacidad adaptativa de los productores ante las perturbaciones más relevantes.

El proceso de revisión y análisis de literatura para determinar las dimensiones de resiliencia en sistemas socioecológicos cafetaleros siguió un enfoque sistemático. La búsqueda se realizó en bases de datos científicas, incluyendo Web of Science, Scopus, SciELO y Google Académico, utilizando palabras clave como “resiliencia”, “sistemas socioecológicos”, “café” y sus variantes en inglés y español. Se aplicaron filtros temporales para incluir estudios publicados en los últimos 15 años, asegurando la relevancia y actualidad de la información.

Para la sistematización y análisis de los datos obtenidos, se emplearon procedimientos tanto cualitativos como cuantitativos. Los datos de las encuestas fueron sometidos a un análisis estadístico descriptivo, permitiendo identificar patrones y tendencias en las dimensiones analizadas. Se realizó un análisis comparativo entre las zonas alta y baja, destacando diferencias en las capacidades adaptativas y estrategias de diversificación.

Adicionalmente, las entrevistas a informantes clave se analizaron mediante codificación temática, lo que facilitó la identificación de trayectorias de adaptación y transformación. Este enfoque permitió contrastar y complementar los hallazgos cuantitativos, asegurando una interpretación integral de los resultados. Los resultados y discusión se organizaron y desarrollaron con base a la estructura de los componentes de la Tabla 1, incluida en los Anexos.

Resultados y discusión

Características de los productores y región de estudio

Los productores de ambas zonas presentan edades similares, con promedio de 59 años. Sin embargo, hay diferencias notables en escolaridad y superficie cultivada. En la zona baja, los productores tienen en promedio 8.5 años de escolaridad, mientras que en la zona alta este promedio es de 4.5 años. Además, la superficie cultivada promedio en la zona baja es de 4.5 ha, comparada con 1.4 ha en la zona alta. En cuanto a la experiencia laboral, los productores en la zona baja promedian 38.1 años y en la zona alta 31.8 años. Respecto a los informantes clave, estos suelen cubrir los papeles de asesores técnicos y de liderazgo, y registran promedios de 41.5 años de edad, 17 años de escolaridad y 23 años de experiencia en el sector.



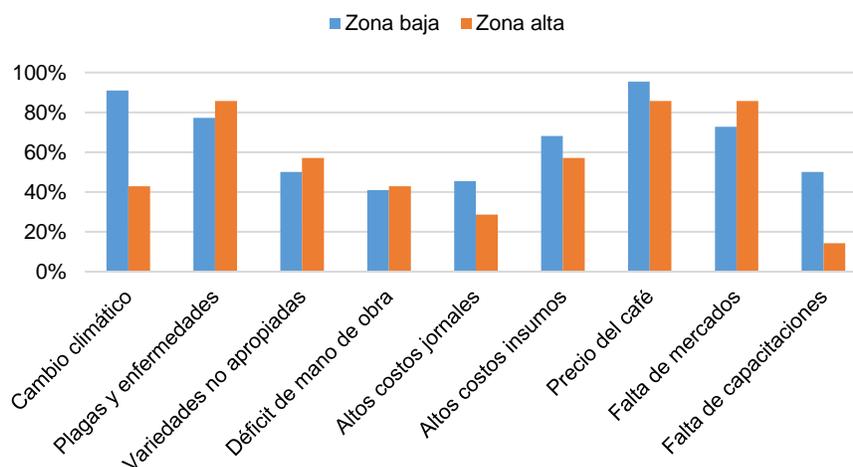
La topografía de las zonas estudiadas presenta diferencias notables. La zona alta se caracteriza por terrenos con pendientes pronunciadas, mientras que la zona baja cuenta con terrenos de pendientes suaves y áreas planas. La infraestructura de transporte también difiere: la zona baja cuenta con caminos en mejor estado y más accesibles, y en la zona alta el acceso es más limitado por la topografía accidentada.

En la cabecera municipal, ubicada en la zona baja, se encuentra maquinaria para el secado de café, servicio que se ofrece a los productores en general. En cuanto a las variedades de café, en la zona baja se cultivan principalmente robusta, garnica y arábica (típica o criollo), con presencias menores de colombiano y bourbon. En la zona alta, las variedades cultivadas incluyen arábica, oro azteca, caturra, garnica, catimor, marsellesa, colombiano, bourbon, y en ocasiones café robusta.

Perturbaciones generales en la producción de café

La producción cafetalera en Tepatlaxco se enfrenta a una serie compleja de desafíos que amenazan la sostenibilidad de sus agroecosistemas. La Figura 2 ilustra factores que afectan a los productores, con variaciones entre las zonas baja y alta. Estos factores abarcan fenómenos ambientales, problemáticas económicas y de mercado. Es evidente que algunos desafíos, como las plagas y enfermedades, y los precios del café, tienen un impacto generalizado en ambas zonas, mientras que otros, como el cambio climático y la falta de capacitaciones, muestran diferencias entre regiones.

Figura 2. Principales perturbaciones en sistemas cafetaleros en Tepatlaxco



Fuente: elaboración propia con datos de campo



Respecto al CC, los productores reconocen este fenómeno como una perturbación que afecta sus rendimientos (de forma positiva o negativa), lo que indica una vasta comprensión de la interacción entre los factores ambientales y la producción de café. No obstante, las percepciones relativas a los efectos de este fenómeno son muy diferentes. En la zona baja, el CC se relaciona principalmente con impactos negativos en la caficultura, mientras que, en la zona alta, se le percibe como un cambio beneficioso para esta actividad. Sin embargo, el CC representa una amenaza para la producción en general, particularmente en zonas de altitud media y alta (Bunn *et al.*, 2015). Gay *et al.* (2006) encontraron, para el caso de Veracruz, afectaciones potenciales en la aptitud de café arábica a bajas y altitudes altas, mientras que las variedades resistentes al calor se beneficiaban del CC en zonas de mayor altitud.

Respecto a las plagas y enfermedades, la evidencia muestra que estas representan una creciente amenaza para la producción cafetalera, la cual se ha visto exacerbada por los efectos del CC (Jaramillo *et al.*, 2011; Baca *et al.*, 2014). Aunado a ello, la falta de capacitación técnica entre los productores de la zona baja ha limitado su capacidad para implementar un manejo integrado que les permita afrontar este reto fitosanitario. Esta limitante en la zona baja podría estar asociada al acceso a dichas capacitaciones. En contraste, programas gubernamentales, como Sembrando Vida, han facilitado cierto acceso a conocimientos agronómicos en la zona alta, aunque la cobertura e idoneidad de esta capacitación aún requiere ser evaluada. La extensión rural efectiva y específica al contexto local es crucial para la resiliencia de los caficultores ante plagas y enfermedades emergentes (Rahn *et al.*, 2018). Sin embargo, se necesitan diseños institucionales que aseguren la pertinencia, adopción y retención del conocimiento técnico provisto a través de estas intervenciones públicas.

La volatilidad de los precios del café a nivel global representa una barrera importante para la sostenibilidad económica de los pequeños productores, quienes tienen limitada capacidad de gestionar este riesgo de mercado (Harvey *et al.*, 2018; Bunn *et al.*, 2022). La evidencia muestra que periodos prolongados de bajos precios están asociados con tasas crecientes de abandono y migración en zonas cafetaleras, fenómeno que en el mediano plazo resulta en una pérdida de conocimiento agronómico local (Rahn *et al.*, 2018). Algunas estrategias como la formación de cooperativas, la promoción de contratos “*forward*”, certificaciones de calidad y denominaciones de origen han demostrado cierto potencial para estabilizar ingresos ante fluctuaciones del mercado (Donovan y Poole, 2014). Sin embargo, los sistemas de producción en pequeña escala como en este municipio suelen tener dificultades para implementar este tipo de mecanismos de gestión de riesgo.



De acuerdo con los informantes clave, a esta problemática se suman el “intermediarismo” y las barreras de acceso a los mercados regionales e internacionales. En esta región, por ejemplo, el precio del café está determinado principalmente por AMSA (Agroindustrias Unidas de México), empresa ubicada en el municipio vecino de Huatusco, principal compradora de café en la región. Desde la perspectiva de los productores, los precios reducidos que ofrece esta empresa constituyen una limitante para mejorar los ingresos. La concentración de poder de mercado entre unos pocos intermediarios y beneficios locales es una práctica común en regiones cafetaleras remotas, la cual suele generar ineficiencia e inequidad en las cadenas de valor (Donovan y Poole, 2014). La falta de competencia se traduce en márgenes reducidos para los productores primarios, desincentivando la reinversión en las fincas y la adopción de mejoras en el proceso productivo.

Existe evidencia que algunos modelos alternativos de integración, como las cooperativas, los microbeneficios comunitarios y la vinculación directa con tostadores, pueden incrementar la participación en el valor agregado por parte de los caficultores (Vellema *et al.*, 2015). De acuerdo con Rojas y Olguín (2018) el escalamiento de estas iniciativas es una necesidad para superación de barreras financieras y comerciales, hecho que pudiera promoverse mediante intervenciones de políticas públicas específicas. Al respecto, el 63 % de los productores, así como informantes clave, subrayaron la necesidad de contar con una entidad pública similar a lo que en su momento fue el Instituto Mexicano del Café (INMECAFE), institución que hasta la década de 1980 impulsó el desarrollo de la industria cafetalera en México, implementando políticas para mejorar la calidad del café, apoyando a los productores y gestionando la comercialización.

La disolución del INMECAE, en el contexto de liberalización económica del país, debilitó mecanismos previos de gestión de riesgos y apoyo técnico para los pequeños caficultores, exacerbando su vulnerabilidad ante choques de mercado (Robles, 2011). Ante este vacío institucional, los productores reclaman una mayor atención a este sector, de manera que se restablezca la inversión en investigación agronómica adaptada localmente, sistemas de extensión rural para la adopción de buenas prácticas, así como esquemas de aseguramiento y estabilización de precios. El rezago de productividad frente a competidores internacionales y la creciente presión del CC demandan reconstituir capacidades sistémicas para transitar hacia la sustentabilidad y resiliencia cafetalera (Campbell, 2021).

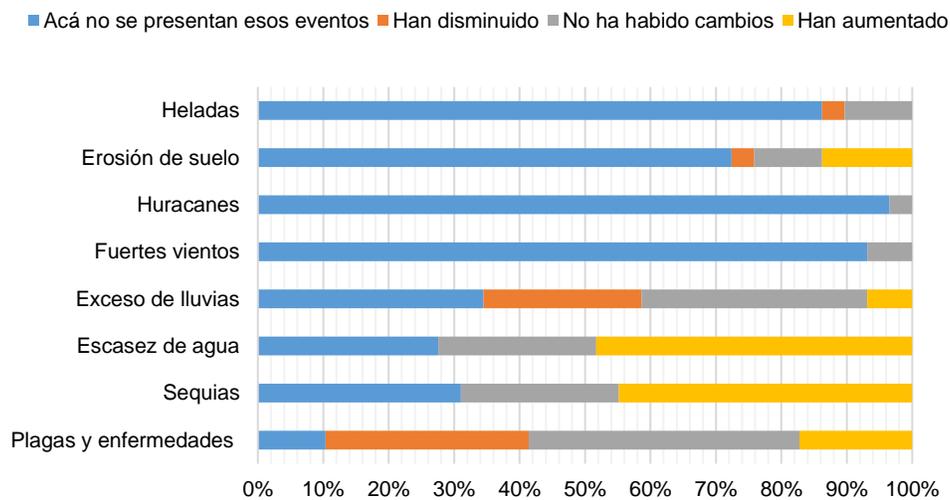
Perturbaciones ambientales

La percepción de los productores en torno a los impactos que ha tenido el incremento de la temperatura promedio en la región, pone de manifiesto la relevancia de las



condiciones locales en las capacidades de adaptación. La Figura 3 muestra cómo los productores perciben que han cambiado las perturbaciones ambientales que afectan la producción de café en los últimos 10 años. Según estos datos, las sequías y la escasez de agua son las perturbaciones que más han aumentado. No se reportan aumentos significativos en vientos o huracanes. De hecho, la gran mayoría de los productores señala que estos fenómenos no se presentan en la región.

Figura 3. Principales perturbaciones ambientales en la producción de café



Fuente: elaboración propia con datos de campo

Los productores encuestados coinciden en que los patrones climáticos se han modificado en la última década. Señalan que los periodos de lluvias son cada vez más irregulares, lo que afecta el periodo de floración y, por ende, la cosecha. Identifican también un incremento en la temperatura promedio de la región, la cual relacionan con alteraciones en el proceso fisiológico de sus cultivos. Esta percepción coincide con la reportada por cafeticultores del sur de México en estudios recientes (Flores *et al.*, 2019). Desde su percepción, el fenómeno de la deforestación está relacionado con este problema y hay evidencia que vincula la deforestación con alteraciones en los patrones de precipitación a nivel local (Lawrence y Vandecar, 2015). Además, la eliminación de cobertura arbórea puede exacerbar el incremento en la temperatura regional (Foley *et al.*, 2007).

En la zona baja, los productores reportaron que el aumento de temperatura ha tenido un impacto negativo en los rendimientos de sus cafetales. Afirman que las



principales afectaciones ocurren durante la etapa de la floración. En palabras de los productores “las flores se queman y el fruto ya no se logra”, incidiendo en la reducción de los volúmenes de producción. La percepción de los agricultores es consistente con estudios que muestran que temperaturas sobre 30 °C durante la floración reducen los rendimientos de café hasta en 70 % (Rahn *et al.*, 2018). La referencia a la “quemada” de flores es consistente con este efecto fisiológico provocado por la exposición a altas temperaturas.

En la zona alta, los productores perciben que el incremento moderado de temperatura ha tenido efectos diferenciados sobre la diversidad de cultivos presentes sus agroecosistemas. Señalan que, mientras que la producción de algunos frutales, como las ciruelas y los tejocotes, ha ido mermando ante el aumento de la temperatura, la producción de café ha mejorado. Esto último, contradice los postulados de la literatura científica, los cuales identifican a las zonas altas, donde se cultiva el café arábico, como las zonas más vulnerables ante el aumento de la temperatura (Jaramillo *et al.*, 2022). Los informantes sugieren que el cambio climático podría estar creando un microclima más favorable en estas altitudes, generando una estabilidad productiva reflejada en la calidad y el rendimiento del café.

La variabilidad de las afectaciones en la producción de café evidencia la importancia de considerar aspectos específicos del contexto local, como la altitud, el clima y la agrobiodiversidad, a la hora de evaluar la vulnerabilidad y la capacidad de adaptación al CC (Baca *et al.*, 2014). Las estrategias efectivas de adaptación no plantean soluciones únicas para todas las regiones, sino que consideran estos factores geográficos y agronómicos (Rahn *et al.*, 2018). La variedad de los cultivos, por ejemplo, es un factor clave para determinar la sensibilidad climática y la respuesta productiva de un territorio ante el CC (Bunn *et al.*, 2015).

Respecto a otras perturbaciones ambientales reportadas por los productores, no se detectaron diferencias relevantes a nivel regional. En general, los problemas más importantes en ambas zonas fueron las sequías y la escasez de agua. Esto concuerda con otros estudios que identifican la alteración de patrones de precipitación como uno de los impactos clave del CC en zonas productoras de café (Guerrero *et al.*, 2020).

Es importante señalar que, en Tepatlaxco, principalmente en la zona baja, no se presentan problemas de erosión de suelo porque regularmente las UP se ubican sobre terrenos planos, con pendientes mínimas. Asimismo, el municipio se encuentra en una zona que no es afectada por huracanes, fuertes vientos y heladas. La topografía plana y la localización geográfica protegida reducen la vulnerabilidad de los productores ante eventos meteorológicos extremos, lo cual es una ventaja en el contexto del CC (Läderach *et al.*, 2017).



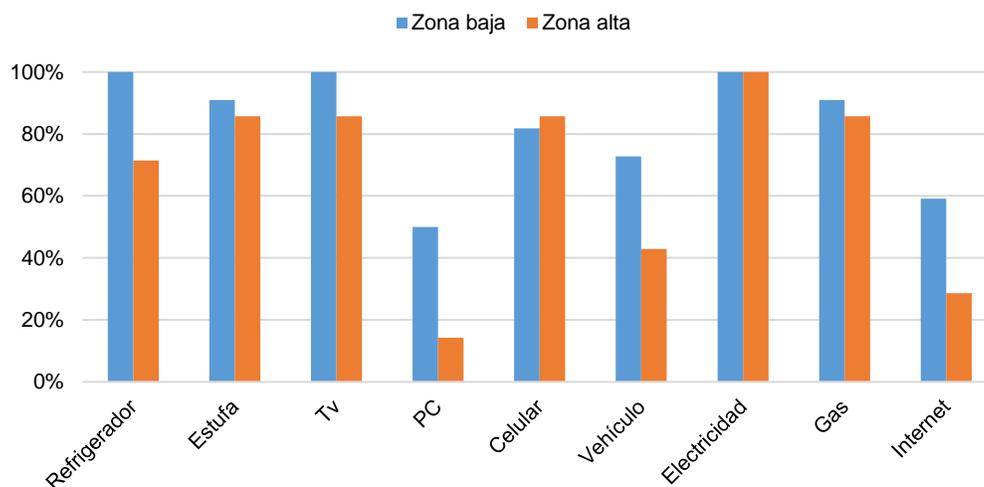
En cuanto a las plagas y enfermedades, los productores afirman que las afectaciones se mantienen constantes, es decir, no se han intensificado en los últimos años. Sin embargo, algunas investigaciones advierten que el CC podría alterar el rango, estacionalidad e intensidad de diversas plagas y patógenos del café, por lo que se requiere monitoreo continuo (Jaramillo *et al.*, 2011).

Evaluación socioeconómica

Acceso a servicios básicos y tecnológicos

En relación con los servicios básicos y tecnológicos disponibles en las UP, se encontró que la mayoría de los productores dispone de refrigerador, estufa, televisión, teléfono celular, electricidad y gas. Estos resultados indican que, mientras que algunos servicios básicos como electricidad y refrigeración son accesibles en ambas zonas, existe una brecha significativa en el acceso a la tecnología y servicios de información, particularmente en cuanto al uso de internet y computadoras, siendo estos menos accesibles en la zona alta (Figura 4). De igual forma, en la zona baja, el 73 % de los productores poseen vehículos, los cuales emplean principalmente para llevar a cabo las labores agrícolas; mientras que, en la zona alta, el porcentaje de productores que disponen de este servicio es menor (43 %).

Figura 4. Acceso a servicios en familias productoras de café



Fuente: elaboración propia con datos de campo



El acceso a servicios básicos y tecnológicos, como el servicio de internet, puede contribuir a disminuir los niveles de pobreza en las zonas rurales (García y Mora, 2023). De igual forma, la adopción de tecnologías de la información y comunicación ha demostrado tener un impacto significativo en la capacidad de los productores para mejorar sus prácticas agrícolas, acceder a información relevante y vincularse con nuevos mercados (Salemink *et al.*, 2017). Más allá de las repercusiones positivas en el ámbito productivo y los medios de vida, la integración efectiva de innovaciones tecnológicas en las comunidades rurales puede propiciar externalidades favorables para el desarrollo económico incluyente y el bienestar social (Salemink *et al.*, 2017). Esto, a su vez, crea un entorno propicio para mejorar la capacidad adaptativa y resiliencia de los SSE cafetaleros ante las perturbaciones de índole socioeconómica o ambiental (Baca *et al.*, 2014).

Condiciones de las unidades de producción

La extensión promedio de las UP es un importante indicador de la capacidad productiva y la viabilidad económica de las fincas cafetaleras. En la zona baja, la extensión promedio de las UP es de 4.5 ha, mientras que en la zona alta es de 1.4 ha. Un mayor tamaño de superficie de las UP no solo permite a los agricultores producir más, sino que favorece la implementación de diferentes estrategias de afrontamiento y adaptación al CC, mejorando con ello la resiliencia del sistema (Alemayehu y Bewket, 2017). Las fincas más grandes suelen recuperarse mejor de perturbaciones como plagas, enfermedades o variabilidad climática (Vermeulen *et al.*, 2012). Es importante señalar que, si bien las UP más pequeñas son, por lo regular, más vulnerables, pueden reducir esta condición mediante la implementación de prácticas agroecológicas, como la diversificación de cultivos o la agricultura orgánica (Vermeulen *et al.*, 2012). En este contexto, los productores de la zona baja, con una superficie promedio superior, podrían tener una mejor resiliencia en comparación con los de la zona alta.

En la zona baja, las UP se ubican principalmente sobre terrenos llanos con mínimas pendientes, mientras que, en la zona alta, especialmente en localidades como El Triunfo y San José Tenejapa, los predios presentan topografías más accidentadas. La pendiente del terreno es otro factor que influye en la resiliencia de los agroecosistemas. Las UP localizadas en zonas escarpadas son más propensas a la erosión del suelo, además de que presentan dificultades y altos costos en el manejo del cultivo (Läderach *et al.*, 2011). Por otro lado, algunos estudios muestran que la heterogeneidad topográfica puede conferir resiliencia al generar microclimas y nichos ecológicos diversos (Figura 5).



Figura 5. Agroecosistemas de zona baja (izquierda) y zona alta (derecha)



Fuente: imágenes capturadas en campo por Jesús Guerrero Carrera

En cuanto a la composición de la fuerza de trabajo que participa de las actividades productivas, en la zona baja el 27 % recurre a mano de obra familiar, mientras que el 73 % utiliza mano de obra contratada. En la zona alta el 40 % de las UP usa mano de obra familiar y el 60 % mano de obra contratada. Se ha documentado ampliamente cómo la dependencia de la fuerza laboral contratada puede afectar la capacidad de adaptación de los sistemas cafetaleros ante el CC (Campbell, 2021). Aunque la mano de obra familiar se considera una ventaja en términos de resiliencia, ya que los hogares de los productores poseen un mayor conocimiento y comprensión de las prácticas agrícolas tradicionales, adaptándose con mayor facilidad a las condiciones climáticas cambiantes (Gay *et al.*, 2006), también puede representar una vulnerabilidad si las familias enfrentan limitaciones en términos de su composición o si carecen de los recursos necesarios para el desarrollo de sus actividades productivas (Harvey *et al.*, 2014).



Además, es crucial considerar el impacto de la migración nacional e internacional en la organización de la unidad familiar y la disponibilidad de mano de obra, especialmente durante la cosecha del café. La migración puede alterar la estructura familiar, reduciendo la fuerza de trabajo disponible localmente y complicando la contratación de trabajadores temporales, lo que a su vez afecta la capacidad de las UP para adaptarse y responder a las exigencias del mercado y las condiciones climáticas.

En el caso de Tepatlaxco, los productores de la zona alta enfrentan desafíos significativos en términos de comunicación y conectividad, ya que los caminos presentan condiciones deficientes y cuentan con escasos medios de transporte. Esta situación restringe su acceso a los mercados, obligándolos a realizar viajes de entre media hora y una hora en transporte colectivo, dependiendo del mercado al que necesiten dirigirse para vender sus productos o abastecerse de insumos. El deterioro de los caminos y las deficiencias del transporte público incrementan costos, reducen ingresos de los agricultores e impiden la adopción de innovaciones que pueden fortalecer la resiliencia (Rahn *et al.*, 2013).

El aislamiento geográfico dificulta también el acceso a información agroclimática necesaria para tomar decisiones productivas ante la inminencia de eventos meteorológicos extremos. La falta de conectividad digital profundiza la marginación al restringir el acceso a servicios básicos (García y Mora, 2023). Al mismo tiempo, reduce las posibilidades de diversificación de medios de vida y fuentes de ingreso (Harvey *et al.*, 2018). La inversión en infraestructura rural y la implementación de soluciones específicas al contexto para mejorar la conectividad física y virtual de las regiones cafetaleras remotas es un elemento esencial para mejorar su capacidad adaptativa (Tellman *et al.*, 2018).

Evaluación de la diversificación productiva e ingresos

De acuerdo con los resultados, la diversificación es un fenómeno ampliamente extendido en la región. El 86 % de los caficultores encuestados se involucra en actividades adicionales a la agricultura. En la zona baja, los ingresos mensuales derivados de otras actividades ascienden a alrededor de \$ 12 227.00 pesos, mientras que en la zona alta son de \$ 5 700.00 pesos mensuales. Las marcadas diferencias entre zonas en cuanto al valor de la producción cafetalera y la importancia relativa de los ingresos no cafetaleros reflejan variaciones en la dotación de activos, infraestructura y capital humano que condicionan las opciones disponibles para la diversificación económica en cada contexto (Harvey *et al.*, 2018).



Considerando ambas zonas, 93 % de los productores se dedican a la producción de otros cultivos, además del café. El 60 % siembra principalmente maíz con fines de autoconsumo y venta, 10 % se dedica a la producción de plátano y 7 % al cultivo de palma camedor. Solamente en la zona baja, el 30 % de los encuestados reportó dedicarse a la producción de caña de azúcar.

La literatura resalta la relevancia de cultivos complementarios, como el maíz, para complementar la producción cafetalera, esto con el fin de diversificar las fuentes de ingreso, garantizar el consumo familiar y manejar los riesgos asociados a la incertidumbre (Morris *et al.*, 2013). El cultivo del maíz entre los caficultores de Tepatlaxco refleja el predominio de esta estrategia de subsistencia y estabilización de ingresos; mientras que, la incorporación de cultivos comerciales como el plátano, la palma y la caña, representa más una alternativa de diversificación económica (Benítez *et al.*, 2015). La diversidad de cultivos aumenta la flexibilidad y resiliencia de las fincas para manejar los riesgos climáticos y de mercado que son propios de la caficultura (Baca *et al.*, 2013).

La diversificación productiva puede desempeñar un papel crucial en el fortalecimiento de las capacidades adaptativas de los productores de café (Venegas *et al.*, 2021). La dependencia económica del cultivo del café puede hacer que los sistemas sean vulnerables a eventos climáticos extremos, como sequías, inundaciones o plagas. La diversificación productiva, a través de la incorporación de otros cultivos o actividades económicas complementarias, puede ayudar a reducir esta vulnerabilidad, ampliando las fuentes de ingresos y recursos de los agricultores y aportando una mayor estabilidad a las UP (Venegas *et al.*, 2021). Asimismo, se reduce el riesgo de pérdida total cuando se presentan eventos extremos (González y Ávila, 2013).

Al mismo tiempo, la diversificación productiva puede también aumentar la capacidad de los SSE cafetaleros para adaptarse a cambios de índole económica. La demanda de productos agrícolas, incluyendo el café, puede verse afectada por cambios en los gustos del consumidor, las tendencias del mercado o las regulaciones comerciales (Anderzén *et al.*, 2020). A través de la diversificación los agricultores incrementan su flexibilidad para incorporar nuevos cultivos, métodos o actividades económicas y hacer frente a las variaciones y a la incertidumbre del mercado (Anderzén *et al.*, 2020). La diversidad de fuentes de ingresos es una estrategia de distribución de riesgos que brinda a los hogares la flexibilidad necesaria para hacer frente a las crisis y los factores de estrés (Campbell, 2021).

Por otro lado, el 86 % de los productores recibe apoyos económicos provenientes de programas gubernamentales. Los productores de la zona alta son los que obtienen mayores recursos por este concepto, en promedio \$ 44 442.86 pesos



anuales, poco más del doble de lo que reciben en promedio los productores de la zona baja. Estos recursos se otorgan como parte de los programas Sembrando Vida y Producción para el Bienestar en café. En el primer caso, los productores afiliados reciben un apoyo mensual de \$ 5 000.00 pesos, y en el segundo un apoyo anual de aproximadamente \$ 6 000.00 pesos. Aunque estos programas inyectan recursos necesarios en el corto plazo, la dependencia de la zona alta refleja limitantes estructurales profundas en términos de ingresos cafetaleros e infraestructura necesaria para la diversificación productiva. En ese sentido, Harvey *et al.* (2017) argumentan que el fortalecimiento de activos de los caficultores es esencial para potenciar estrategias endógenas de adaptación agroecológica.

En la zona alta, donde la rentabilidad de la producción de café es menor y existe una mayor dependencia de recursos externos, se presupone una mayor vulnerabilidad socioeconómica. En contraste, la zona baja, donde el valor de la producción cafetalera es más alto, y donde los productores han logrado incorporar alternativas más lucrativas de diversificación, existe una base más sólida para la adaptación ante el CC o la incertidumbre de los mercados.

Evaluación tecnológica y capacitaciones

La resiliencia de los SSE cafetaleros frente al CC se ve significativamente influenciada por la integración de tecnologías (Kuhl, 2019). La aplicación de tecnologías agrícolas, como sistemas de riego eficientes, métodos avanzados de control de plagas y enfermedades, así como sistemas de sombreado adecuados, son un factor clave que ayuda a los agricultores a enfrentar los retos del CC, tales como sequías, inundaciones y variabilidad climática (Misra, 2017; Kuhl, 2019). Además, las tecnologías pueden desempeñar un papel esencial en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero en la producción de café, ya sea a través de la certificación orgánica o mediante la adopción de tecnologías de procesamiento del grano más limpias y eficientes (Sarirahayu y Aprianingsih, 2018).

El acceso a información y capacitación sobre tecnologías puede mejorar la resiliencia de los sistemas socioecológicos cafetaleros (Kuhl, 2019). A medida que los agricultores acceden a tecnologías apropiadas y adaptadas a su contexto local (por ejemplo, las relativas a técnicas de manejo del suelo, diversificación de cultivos y uso de tecnologías de monitoreo climático), se fortalece su capacidad de adaptación (Sarirahayu y Aprianingsih, 2018).

De acuerdo con la evaluación realizada, las dos zonas de este municipio tienen un índice tecnológico muy similar. A nivel municipal el valor del índice fue de 0.66,



lo que indica que de un total de 21 buenas prácticas en el manejo de los agroecosistemas cafetaleros los productores están aplicando en promedio 14.

También se consideraron las capacitaciones técnicas recibidas, así como la implementación en las UP. Mientras que el 86 % de los productores recibieron capacitaciones sobre control de plagas y enfermedades, abonos orgánicos y producción de plántulas, entre otras, solo el 75 % las implementaron. La brecha entre las prácticas sostenibles enseñadas en capacitaciones y su adopción real resalta los desafíos de la adaptación en los SSE cafetaleros.

La adopción de tecnologías y buenas prácticas es fundamental para mejorar la productividad y sostenibilidad de las fincas de café (Jaramillo *et al.*, 2020). Algunos estudios como el de Harvey *et al.* (2018) plantean que la innovación agrícola exitosa requiere no solo de nuevas tecnologías, sino del desarrollo de capacidades sociales y humanas para su apropiación. Es decir, los productores deben sentir que las nuevas prácticas son relevantes a su realidad socioeconómica para adoptarlas de forma duradera.

En general, los productores de Tepatlaxco tienen un buen nivel tecnológico y de asistencia técnica. Sin embargo, no siempre implementan las recomendaciones y la tecnificación se ha dirigido más hacia a la producción intensiva del café, es decir, que muchos productores se han enfocado en implementar variedades de robusta, que no requieren sombra, lo que repercute en la eliminación de superficie arbórea para maximizar la producción. En general, los monocultivos intensivos de café vuelven económicamente vulnerables a los productores por la alta dependencia de insumos externos costosos (Le *et al.*, 2021).

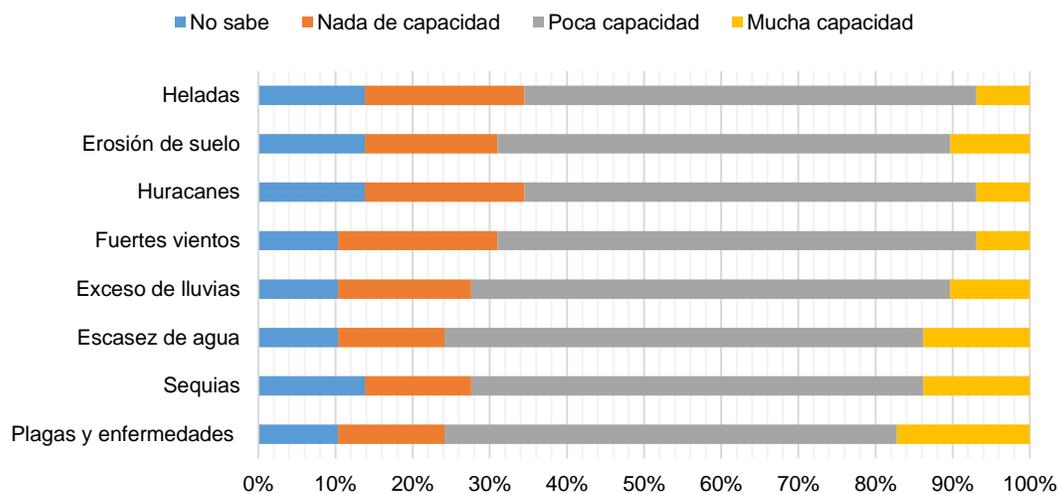
En este sentido, la brecha entre recomendaciones técnicas provistas localmente y su adopción real por parte de los caficultores podría reflejar una limitada adecuación socioecológica de ciertas innovaciones promovidas con el contexto local. El caso de Tepatlaxco expone los retos que enfrentan los tomadores de decisiones regionales para definir políticas y modelos de fomento a la producción cafetalera que contribuyan a mejorar los medios de vida locales, al tiempo de conservar los servicios ecosistémicos que sustentan esta actividad en el largo plazo, como la regulación microclimática que provee la sombra de los árboles (Cerdán *et al.*, 2012). Se debe considerar, además, que el acceso desigual a la tecnología puede aumentar la vulnerabilidad de ciertos grupos de agricultores ante el CC (Misra, 2017). Por lo tanto, es importante analizar si los programas de capacitación, información y acceso a tecnologías están llegando de manera equitativa a todos los productores, atendiendo a consideraciones socioeconómicas, etarias o de género.



Capacidad para hacer frente a las perturbaciones ambientales

Se encontró que el 50 % de los productores declaró que tiene poca capacidad para hacer frente a las perturbaciones de tipo ambiental (Figura 6). Estos resultados son consistentes con investigaciones previas que han documentado las limitaciones que enfrentan los pequeños agricultores y productores de bajos ingresos (Below *et al.*, 2012) en términos de acceso a información, tecnología, financiamiento y otros recursos necesarios para una adaptación efectiva.

Figura 6. Capacidad para hacer frente a perturbaciones ambientales



Fuente: elaboración propia con datos de campo

Llama la atención que cerca del 20 % de los productores señaló que su capacidad para enfrentar este tipo de amenazas era nula. Esta vulnerabilidad también ha sido documentada para productores marginales de otras regiones (Jaramillo *et al.*, 2022).

Es importante mencionar que los porcentajes más altos en la categoría “No sabe” podrían indicar una falta de conocimiento o de información por parte de los productores de café sobre cómo manejar estas perturbaciones, lo que podría ser un área de oportunidad para programas de capacitación y asistencia. La alta proporción de productores que no sabe cómo adaptarse sugiere falta de conocimiento y acceso a información. Esta brecha informativa es una barrera frecuente para la adaptación en la agricultura (Benítez *et al.*, 2015). Lo anterior resalta la necesidad de programas estratégicos de capacitación y asistencia técnica enfocados a pequeños agricultores de café para esta región.



Resiliencia y procesos de adaptación y transformación

De acuerdo con el análisis, los caficultores de Tepatlaxco están mostrando un proceso de resiliencia notable frente a los desafíos económicos, sociales y ambientales a los que se enfrentan. En respuesta a las perturbaciones ambientales como el incremento de la temperatura promedio en la región, los productores están adoptando estrategias proactivas; es el caso de la transición hacia variedades de café más resistentes al calor y la sequía, como la robusta, y variedades resistentes a la roya, como los híbridos sarchimores (World Coffee Research *et al.*, 2016). Esta trayectoria refleja una capacidad de anticipación y adaptación a los riesgos climáticos y fitosanitarios que amenazan la sostenibilidad de las variedades de café arábica previamente cultivadas. Sin embargo, estas medidas también implican impactos negativos ambientales, como la deforestación, al requerir mayor luz solar para su éxito productivo.

En la zona baja, los caficultores están agregando valor a la producción con procesamiento a pergamino e innovando con métodos como el “*red honey*”. Algunos están vendiendo directamente a consumidores finales y cafeterías, lo que muestra visión empresarial y búsqueda de mercados más amplios, aspectos que contribuyen a la resiliencia económica. Esta mayor diversificación posiciona mejor a los productores para acceder a servicios básicos y afrontar escenarios económicos adversos. No obstante, se registran también algunas trayectorias de transformación resultado del abandono del cultivo de café y su sustitución por otros cultivos, como la caña de azúcar y la adopción de otras actividades productivas en el sector servicios. Aunque este fenómeno pone de manifiesto la capacidad adaptativa de los productores para diversificar sus medios de vida, podría significar una transformación sustancial de los sistemas cafetaleros tradicionales.

Por otro lado, la identificación de los productores de la zona alta como los más vulnerables socioeconómicamente, subraya la necesidad de enfoques específicos para atender las necesidades regionales. Por ejemplo, dado los menores impactos climáticos proyectados en la zona alta, los programas de apoyo podrían enfocarse en temas de comercialización y bajos precios.

La resiliencia de los SSE cafetaleros en Tepatlaxco se configura de manera compleja, resultado de la interacción entre diversos factores ambientales (CC), socioeconómicos y políticos. Se evidencian tanto procesos adaptativos dirigidos a consolidar los modos de vida asociados a la producción tradicional de café, como transformaciones orientadas a asegurar la supervivencia de los hogares, incluso si esto conlleva alteraciones sustanciales en la estructura y estado de los SSE. Ambos procesos reflejan las estrategias dinámicas que los productores de café emplean en contexto de precariedad para enfrentar los desafíos expuestos.



Conclusiones

El análisis reveló que la capacidad de adaptación y transformación de los SSE cafetaleros emerge de la interacción compleja entre múltiples perturbaciones ambientales, económicas e institucionales. Factores como el cambio climático, las plagas y enfermedades, la volatilidad de precios y las fallas de mercado configuran un conjunto de tensiones que comprometen la sostenibilidad de la caficultura local. No obstante, las trayectorias de respuesta adoptadas por los productores varían significativamente entre las zonas alta y baja del municipio, evidenciando la relevancia de las particularidades geográficas, socioeconómicas y agroecológicas en la determinación de la resiliencia.

Las trayectorias de los sistemas socioecológicos cafetaleros en Tepatlaxco ilustran cómo los productores adaptan sus estrategias productivas ante desafíos ambientales y económicos cambiantes. El análisis de estas trayectorias muestra que la respuesta de los caficultores no es uniforme, sino que varía según las condiciones locales específicas, revelando diferentes grados de transformación y adaptación en función de su contexto geográfico, económico y social.

En la zona baja, los caficultores han desplegado estrategias adaptativas orientadas a fortalecer la diversificación productiva, agregar valor al café y adoptar variedades más resistentes. Estas iniciativas les han permitido mejorar su posición competitiva y afrontar con mayor éxito las perturbaciones, consolidando así la resiliencia de sus sistemas socioecológicos. Por el contrario, los productores de la zona alta enfrentan mayores limitaciones estructurales, reflejadas en su dependencia de apoyos públicos y su vulnerabilidad ante las fluctuaciones de mercado. Frente a estos desafíos, algunos han optado por procesos de transformación, reemplazando total o parcialmente sus cafetales por otros cultivos o actividades.

Estos contrastes en los patrones de respuesta ponen de manifiesto la naturaleza dinámica y contextual de la resiliencia socioecológica. Mientras que en algunas localidades prevalecen trayectorias de adaptación incremental que salvaguardan los sistemas cafetaleros tradicionales, en otras predominan procesos de transformación que reconfiguran sustancialmente la estructura y función de estos agroecosistemas. La coexistencia de estos fenómenos sugiere la necesidad de enfoques de gestión diferenciados, que atiendan las limitantes y oportunidades específicas de cada zona productora.

Desde una perspectiva teórica, los resultados evidencian la relevancia de considerar la heterogeneidad de los sistemas socioecológicos y los factores multinivel que inciden en su resiliencia. Asimismo, resaltan la importancia de analizar simultáneamente los procesos de adaptación y transformación, y respuestas complementarias de los actores locales ante perturbaciones complejas y cambiantes.



Estas contribuciones teóricas y empíricas pueden enriquecer los marcos analíticos utilizados para evaluar la sustentabilidad de los sistemas agrícolas en contextos de cambio ambiental global.

Referencias

- Alemayehu, Arragaw y Bewket, Woldeamlak (2017). “Determinants of smallholder farmers’ choice of coping and adaptation strategies to climate change and variability in the central highlands of Ethiopia”. *Environmental Development*, 24, pp. 77-85. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envdev.2017.06.006>
- Anderzén, Janica; Guzmán Luna, Alejandra; Luna-González, Diana V.; Merrill, Scott C.; Caswell, Martha; Méndez, V. Ernesto; Hernández Jonapá, Rigoberto, y Mier y Terán Giménez Cacho, Mateo (2020). “Effects of on-farm diversification strategies on smallholder coffee farmer food security and income sufficiency in Chiapas, Mexico”. *Journal of Rural Studies*, 77, pp. 33-46. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2020.04.001>
- Avelino, Jacques; Cristancho, Marco; Georgiou, Selena; Imbach, Pablo; Aguilar, Lorena; Bornemann, Gustavo, y Morales, Carmen (2015). “The coffee rust crises in Colombia and Central America (2008–2013): impacts, plausible causes and proposed solutions”. *Food Security*, 7, pp. 303-321. <https://doi.org/10.1007/s12571-015-0446-9>
- Baca, María; Läderach Peter; Hagggar, Jeremy; Schroth, Götz, y Ovalle, Oriana (2014). “An Integrated Framework for Assessing Vulnerability to Climate Change and Developing Adaptation Strategies for Coffee Growing Families in Mesoamerica”. *PLoS ONE*, 9(2), e88463. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0088463>
- Bacon, Christopher; Rice, Robert, y Maryanski, Hannah (2015). “Fair trade coffee and environmental sustainability in Latin America”. En Laura T. Reynolds y Elizabeth A. Bennett (eds.), *Handbook of Research on Fair Trade*. EUA: Edward Elgar Publishing, pp. 388-404. <https://doi.org/10.4337/9781783474622.00033>
- Bacon, Christopher; Sundstrom, William; Stewart Iris, y Beezer, David (2017). “Vulnerability to cumulative hazards: Coping with the coffee leaf rust outbreak, drought and food insecurity in Nicaragua”. *World Development*, 93, pp. 136-152. <http://dx.doi.org/10.1016/j.worlddev.2016.12.025>
- Ballinas, Mónica; Esperón, Manuel, y Barradas, Víctor (2015). “Estimating evapotranspiration in the central mountain region of Veracruz, México”. *Bosque*, 36(3), pp. 445-455. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002015000300011>



- Below, Till; Mutabazi, Khamaldin; Kirschke, Dieter; Franke, Christian; Sieber, Stefan, Siebert, Rosemarie, y Tsherning, Karen (2012). “Can farmers’ adaptation to climate change be explained by socio-economic household-level variables?” *Global Environmental Change*, 22(1), pp. 223-235. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2011.11.012>
- Benítez, Erika; Jaramillo, José; Escobedo, Sergio, y Mora, Saturnino (2015). Caracterización de la producción y del comercio de café en el Municipio de Cuetzalan, Puebla. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 12(2), pp. 181-198.
- Binder, Claudua R.; Hinkel, Jochen; Bots, Peter W. G., y Pahl-Wostl, Claudia. (2013). Comparison of Frameworks for Analyzing Social-ecological Systems. *Ecology and Society*, 18(4), 26. <http://dx.doi.org/10.5751/ES-05551-180426>
- Bunn, Christian; Läderach, Peter; Ovalle Rivera, Oriana, y Kirschke, Dieter (2015). “A bitter cup: climate change profile of global production of Arabica and Robusta coffee”. *Climatic Change*, 129, pp. 89-101. <https://doi.org/10.1007/s10584-014-1306-x>
- Bunn, Philip; Anayi, Lena S.; Bloom, Nicholas; Mizen, Paul; Thwaites, Gregory, y Yotzov, Ivan (2022). Firming up Price Inflation. EUA: National Bureau of Economic Research, 21 pp. <http://www.nber.org/papers/w30505>
- Campa, C.; Ballester, J. F.; Doubeau, S.; Dussert, S.; Hamon, S., y Noirot, M. (2004). “Trigonelline and sucrose diversity in wild *Coffea* species”. *Food Chemistry*, 88(1), pp. 39-43. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.01.020>
- Campbell, Donovan (2021). “Environmental change and the livelihood resilience of coffee farmers in Jamaica: A case study of the Cedar Valley farming region”. *Journal of Rural Studies*, 81, pp. 220-234. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2020.10.027>
- Carpenter, Steve; Walker, Brian; Anderies, J. Marty, y Abel, Nick (2001). “From Metaphor to Measurement: Resilience of What to What?” *Ecosystems*, 4, pp. 765-781. <https://doi.org/10.1007/s10021-001-0045-9>
- Cerdán, C. R.; Rebolledo, M. C.; Soto, G.; Rapidel, B., y Sinclair, F. (2012). “Local knowledge of impacts of tree cover on ecosystem services in smallholder coffee production systems”. *Agricultural Systems*, 110, pp. 119-130. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2012.03.014>
- Donovan, Jason y Poole, Nigel (2014). “Changing asset endowments and smallholder participation in higher value markets: Evidence from certified coffee producers in Nicaragua”. *Food Policy*, 44, pp. 1-13. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodpol.2013.09.010>



- Eakin, H.; Lemos, M. C., y Nelson, D. R. (2014). "Differentiating capacities as a means to sustainable climate change adaptation". *Global Environmental Change*, 27, pp. 1-8. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.04.013>
- Eakin, Hallie, Bojórquez-Tapia, Luis A.; Monterde Diaz, Rafael; Castellanos, Edwin, y Hagggar, Jeremy (2011). "Adaptive Capacity and Social-Environmental Change: Theoretical and Operational Modeling of Smallholder Coffee Systems Response in Mesoamerican Pacific Rim". *Environmental Management*, 47, pp. 352-367. <https://doi.org/10.1007/s00267-010-9603-2>
- Flores, José Luis; Soto, Lorena; Tinoco, Juan Ángel, y Castillo, Miguel (2019). "Oportunidad para diversificar las zonas cafetaleras de la Sierra Mariscal de Chiapas ante el cambio climático". En Eduardo Bello; Lorena Soto; Graciela Huerta, y Jaime Gómez (coords.), *Caminar el cafetal. Perspectivas socioambientales del café y su gente*. México: ECOSUR, Juan Pablos Editor, pp. 143-158.
- Foley, Jonathan; DeFries, Ruth; Asner, Gregory P.; Barford, Carol; Bonan, Gordon; Carpenter, Stephen R., Stuart Chapin, F.; Choe, Michael T.; Daily, Gretchen C.; Gibbs, Holly K.; Helwkoski, Joseph H.; Holloway, Tracey; Howard, Erika, A.; Kucharik, Christopher J.; Monfreda, Chad; Patz, Jonathan A.; Prentice, I. Colin; Ramankutty, Navin, y Snyder, Peter K. (2005). "Global Consequences of Land Use". *Science*, 309(5734), pp. 570-574. <https://doi.org/10.1126/science.1111772>
- Folke, Carl (2016). Resilience (Republished). *Ecology and Society*, 21(4), pp. 1-30. <https://www.jstor.org/stable/26269991>
- Folke, Carl; Carpenter, Stephen R.; Walker, Brian; Scheffer, Marten; Chapin, Terry, y Rockström, Johan (2010). "Resilience Thinking: Integrating Resilience, Adaptability and Transformability". *Ecology and Society*, 15(4), 20. <http://www.ecologyandsociety.org/vol15/iss4/art20/>
- García-Albarado, J. C.; Gómez-Merino, F. C.; Bruno-Rivera, A.; Rosas-López, F.; Servín-Juárez, R., y Muñoz-Márquez-Trujillo, R. A. (2018). "Identificación de elementos identitarios en la región de las altas montañas de Veracruz". *Agroproductividad*, 11(8), pp. 95-100. <https://doi.org/10.32854/agrop.v11i8.1103>
- García-Mora, Fernando y Mora-Rivera, Jorge (2023). "Exploring the impacts of internet access on poverty: A regional analysis of rural Mexico". *SAGE Journals*, 25(1), pp. 26-49. <https://doi.org/10.1177/14614448211000650>
- Gay, C.; Estrada, F.; Conde, C.; Eakin, H., y Villers, L. (2006). "Potential impacts of climate change on agriculture: a case of study of coffee production in Veracruz, México". *Climate Change*, 79, pp. 259-288. <https://doi.org/10.1007/s10584-006-9066-x>



- González, Sandra Llovizna y Ávila Meléndez, Luis Arturo (2013). Efectos del cambio climático en las formas de vida de campesinos indígenas y sus respuestas adaptativas. *Investigación Ambiental*, 5(1), pp. 101-104.
- Guerrero Carrera, Jesús; Jaramillo-Villanueva, José Luis; Mora-Rivera, Jorge; Bustamante González, Ángel; Vargas López, Samuel, y Chulin Estrella, Nestor (2020). Impacto del cambio climático en la producción de café. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 23(3), 71. <http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.3288>
- Harvey, Celia A.; Lalaina Rakotobe, Zo; Rao, Nalini S.; Dave, Radhika; Razafimaha-tratra, Hery; Hasinandrianina Rabarijohn, Rivo; Rajaofara, Haingo; MacKinnon, James L. (2014). “Extreme vulnerability of smallholder farmers to agricultural risks and climate change in Madagascar”. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 369(1639), 20130089. <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2013.0089>
- Harvey, Celia A.; Saborio-Rodríguez, Milagro; Martínez-Rodríguez, M. Ruth; Vi-guera, Barbara; Chain-Guadarrama, Adina; Vignola, Raffaele, y Alpizar, Francisco (2018). “Climate change impacts and adaptation among smallholder farmers in Central America”. *Agriculture & Food Security*, 7(57), 57. <https://doi.org/10.1186/s40066-018-0209-x>
- Hernández, Manuel (2022). *El café en la región de Huatusco, Veracruz: historia y formas de vida*. México: Universidad Veracruzana, 214 pp.
- Jaramillo-Villanueva, José Luis; Guerrero-Carrera, Jesús; Vargas-López, Samuel, y Bustamante-González, Angel (2022). “Percepción y adaptación de productores de café al cambio climático en Puebla y Oaxaca, México”. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 9(1), pp. 1-13. <https://doi.org/10.19136/era.a9n1.3170>
- Jaramillo-Villanueva, José Luis; Guerrero-Carrera, Jesús; Vargas-López, Samuel, y Bustamante González, Angel (2020). “Use of agricultural technology, yields and economic profitability of small-scale producers (*Coffea arabica* L.)”. *Agro-Productividad*. <https://doi.org/10.32854/agrop.v14i11.1995>
- Jaramillo, Juliana; Muchugu, Eric; Vega, Fernando E.; Davis, Aaron; Borgemeister, Christian, y Chabi-Olaye, Adenirin (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), e24528. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0024528>
- Jha, Shalene; Bacon, Christopher M.; Philpott, Stacy M.; Méndez, V. Ernesto; Läderach, Peter, y Rice, Robert A. (2014). “Shade coffee: Update on a disappearing refuge for biodiversity”. *BioScience*, 64(5), pp. 416-428. <https://doi.org/10.1093/biosci/biu038>



- Kuhl, Laura (2020). "Technology transfer and adoption for smallholder climate change adaptation: Opportunities and challenges". *Climate and Development*, 12, pp. 353-368. <https://doi.org/10.1080/17565529.2019.1630349>
- Labouisse, Jean-Pierre; Bellachew, Bayetta; Kotecha, Surendra, y Bertrand, B. (2008). "Current status of coffee (*Coffea arabica* L.) genetic resources in Ethiopia: implications for conservation". *Genetic Resources Crop Evolution*, 55, pp. 1079-1093. <https://doi.org/10.1007/s10722-008-9361-7>
- Läderach, Peter; Ramirez-Villegas, Julian; Navarro-Racines, Carlos; Zelaya, Carlos; Martinez-Valle, Armando, y Jarvis, Andy (2017). "Climate change adaptation of coffee production in space and time". *Climate Change*, 141, pp. 47-62. <https://doi.org/10.1007/s10584-016-1788-9>
- Läderach, Peter; Lundy, Mark; Jarvis, Andy; Ramirez, Julian; Perez Portilla, Eemiliano; Schepp, Kathleen y Eitzinger, Anton (2011). "Predicted Impact of Climate Change on Coffe Supply Chains". En Filho Leal (ed.), *The Economic, Social and Political Elements of Climate Change*. EUA: Springer Nature, pp. 703-723. https://doi.org/10.1007/978-3-642-14776-0_42
- Lam, David P. M.; Hinz, Elvira; Lang, Daniel J.; Tengö, María; Wehrden, Henrik von, y Martin-López, Berta (2020). "Indigenous and local knowledge in sustainability transformations research: a literature review". *Ecology and Society*, 25(1), 3. <https://doi.org/10.5751/ES-11305-250103>
- Lawrence, Deborah y Vandecar, Karen (2015). "Effects of tropical deforestation on climate and agriculture". *Nature Climate Change*, 5, pp. 27-36. <https://doi.org/10.1038/nclimate2430>
- Le, Quan Vu; Cowal, Sanya; Jovanovic, Grace, y Le, Don-Thuan (2021). "A Study of Regenerative Farming Practices and Sustainable Coffee of Ethnic Minorities Farmers in the Central Highlands of Vietnam". *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, 712733. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.712733>
- Misra, Manoj (2017). "Smallholder agriculture and climate change adaptation in Bangladesh: questioning the technological optimism". *Climate and Development*, 9, pp. 337-347. <http://dx.doi.org/10.1080/17565529.2016.1145101>
- Moguel, Patricia y Toledo, Víctor (1999). "Café, luchas indígenas y sostenibilidad. El caso de México". *Primer Seminario Internacional de Caficultura Orgánica*, 18, pp. 23-36.
- Monterroso Rivas, Alejandro; Fernández Eguiarte, Agustín; Trejo Vázquez, Rosa Irma; Conde Álvarez, Ana Cecilia; Escandón Calderón, Jorge; Villers Ruiz, Lourdes, y Gay García, Carlos (2014). *Vulnerabilidad y adaptación a los efectos del cambio climático en México*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.



- Morris, Katlyn S.; Mendez, V. Ernesto, y Olson, Meryl B. (2013). “Los meses flacos?: seasonal food insecurity in a Salvadoran organic coffee cooperative”. *The Journal of Peasant Studies*, 40(2), pp. 423-446. <http://dx.doi.org/10.1080/03066150.2013.777708>
- Nelson, Donald R.; Adger, W. Neil, y Brown, Katrina (2007). “Adaptation to environmental change: Contributions of a resilience framework”. *Annual Review of Environment and Resources*, 32, pp. 395-419. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.32.051807.090348>
- O'Brien, Karen (2012). “Global environmental change II: From adaptation to deliberate transformation”. *Progress in Human Geography*, 36(5), pp. 667-676. <https://doi.org/10.1177/0309132511425767>
- Ostrom, Elinor (2009). “A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems”. *Science*, 325(5939), pp. 419-422. <https://doi.org/10.1126/science.1172133>
- Pahl-Wostl, Claudia; Sendzimir, Jan; Jeffrey, Paul; Aerts, Jeroen; Berkamp, Ger, y Cross, Katherine (2007). “Managing Change toward Adaptive Water Management through Social Learning”. *Ecology and Society*, 12(2), 30. <http://www.ecologyandsociety.org/vol12/iss2/art30/>
- Quinlan, Allyson E.; Berbés-Blázquez, Marta; Haider, L. Jamila, y Peterson, Garry D. (2016). “Measuring and assessing resilience: broadening understanding through multiple disciplinary perspectives”. *Journal of Applied Ecology*, 53(3), pp. 677-687. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12550>
- Rahn, Eric; Vaast, Philippe; Läderach, Peter; van Asten, Piet; Jassogne, Laurence, y Ghazoul, Jaboury (2018). “Exploring adaptation strategies of coffee production to climate change using a process-based mode”. *Ecological Modelling*, 371, pp. 76-89. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2018.01.009>
- Rammel, Christian; Stagl, Sigrid, y Wilfing, Harald (2007). “Managing complex adaptive systems - A co-evolutionary perspective on natural resource management”. *Ecological Economics*, 63(1), pp. 9-21. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2006.12.014>
- Reyers, Belinda; Folke, Carl; Moore, Michel-Lee, Biggs, Reinette, y Galaz, Víctor (2018). “Social-ecological systems insights for navigating the dynamics of the Anthropocene”. *Annual Review of Environment and Resources*, 43, pp. 267-289. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-110615-085349>
- Robles, Héctor (2011). *Los productores de café en México. Problemática y ejercicio del presupuesto*. México: Fundar Centro de Análisis e Investigación.



- Rojas Herrera, Juan José y Olguín Pérez, Alfredo Martín (2018). "Origen, Desarrollo y perspectivas de las cooperativas cafetaleras de Huatusco, Veracruz". *Revista LiminaR*, 16(1), pp. 119-133. <https://doi.org/10.29043/liminar.v16i1.568>
- Salemink, Koen; Strijker, Dirk, y Bosworth, Gary (2017). "Rural development in the digital age: A systematic literature review on unequal ICT availability, adoption, and use in rural areas". *Journal of Rural Studies*, 54, pp. 360-371. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jrurstud.2015.09.001>
- Sarirahayu, Kartika y Aprianingsih, Atik (2018). "Strategy to Improving Smallholder Coffee Farmers Productivity". *The Asian Journal of Technology Management (AJTM)*, 11(1), pp. 1-9. <https://doi.org/10.12695/ajtm.2017.11.1.1>
- Tadesse, Gatechew; Zavaleta, Erika; Shennan, Carol, y FitzSimmons, Margaret (2014). "Policy and demographic factors shape deforestation patterns and socio-ecological processes in southwest Ethiopian coffee agroecosystems". *Applied Geography*, 54, pp. 149-159. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeog.2014.08.001>
- Tellman, Beth; Bausch, Julia C.; Eakin, Hallie; Anderies, John M.; Mazari-Hiriart, Marisa; Manuel-Navarrete, David, y Redman, Charles L. (2018). "Adaptive pathways and coupled infrastructure: seven centuries of adaptation to water risk and the production of vulnerability in Mexico City". *Ecology and Society*, 23(1), 1. <https://doi.org/10.5751/ES-09712-230101>
- Toledo, Víctor y Barrera-Bassols, Narciso (2017). "Political Agroecology in Mexico: A Path toward Sustainability". *Sustainability*, 9(268), 268. <https://doi.org/10.3390/su9020268>
- Turner, II, B. L.; Kasperson, Roger E.; Matson, Pamela A.; McCarthy, James J.; Correll, Robert W.; Christensen, Lindsey; Eckley, Noel; Kasperson, Jeanne X.; Luers, Amy; Martello, Marybeth L.; Polsky, Collin; Pulsipher, Alexander; y Schiller, Andrew (2003). "A framework for vulnerability analysis in sustainability science". *PNAS*, 100(14), pp. 8074-8079. <https://doi.org/10.1073/pnas.1231335100>
- Vázquez-López, Patricia; Espinoza-Arellano, José de Jesús; González-Mancilla, Apolinar, y Guerrero-Ramos, Liliana Angélica (2022). "Características de productores y plantaciones de café en la zona norte de Chiapas". *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 28, pp. 101-111. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i28.3266>
- Vellema, W.; Buritica Casanova, A.; Gonzalez, C., y D'Haese, M. (2015). "The effect of specialty coffee certification on household livelihood strategies and specialization". *Food Policy*, 57, pp. 13-25. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodpol.2015.07.003>



- Venegas Sandoval, Andrea; Soto Pinto, Lorena; Álvarez Gordillo, Guadalupe; Alayón Gamboa, Armando, y Díaz Nigenda, Emmanuel (2021). “La diversificación de estrategias socioambientales en la familia campesina: mecanismo de resiliencia ante la crisis del café en Chiapas”. *Revista Pueblos y Fronteras Digital*, 16, pp. 1-31. <https://doi.org/10.22201/cimsur.18704115e.2021.v16.510>
- Vermeulen, S. J.; Aggarwal, P. K.; Ainslie, A.; Angeleno, C.; Campbell, B. M.; Chailinor, A. J.; Jansen, J. W.; Ingram, J. S. I.; Jarvis, A.; Kristjanson, P.; Lau, C.; Nelson, G. C.; Thornton, P. K., y Wollenberg, E. (2012). “Options for support to agriculture and food security under climate change”. *Environmental Science & Policy*, 15(1), pp. 136-144. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2011.09.003>
- Walker, Brian; Holling, C. S.; Carpenter, Stephen R., y Kinzig, Ann (2004). “Resilience, Adaptability and Transformability in Social–ecological Systems”. *Ecology and Society*, 9(2), 5. <http://www.ecologyandsociety.org/vol9/iss2/art5/>
- World Coffee Research, USAID, y PROMECAFE (2016). “Las variedades de café de Mesoamérica y el Caribe”. *World Coffee Research*. [Variedades-de-Cafe-de-Mesoamerica-y-el-Caribe-20160609.pdf](https://www.worldcoffeeresearch.org/Variedades-de-Cafe-de-Mesoamerica-y-el-Caribe-20160609.pdf)

Fecha de recepción: 12 de junio de 2024
Fecha de aceptación: 04 de noviembre de 2024
Editor encargado: Cristian Kraker Castañeda