Agronomía Mesoamericana

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

Artículo científico
Volumen 35: Artículo 55146, 2024
e-ISSN 2215-3608, https://doi.org/10.15517/am.2024.55146
https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agromeso/index

Capacidad de resiliencia del agroecosistema café en Tezonapa, Veracruz, México*

Resilience capacity of the coffee agroecosystems in Tezonapa, Veracruz, Mexico

Ismael Quiroz Guerrero[1], Arturo Pérez-Vázquez[2], Cesáreo Landeros Sánchez[2], Felipe Gallardo López[2], Joel Velasco Velasco[3], Griselda Benítez Badillo[4]

* Recepción: 29 de mayo, 2023. Aceptación: 5 de octubre, 2023. Este trabajo formó parte de la tesis doctoral[1] "Resiliencia al cambio climático en agroecosistemas de café en la región de Tezonapa, Veracruz, México" financiada por el Colegio de Postgraduados mediante la línea de generación del conocimiento agroecosistemas, ambiente natural y cambio climático, y por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) a través de una beca de manutención para el autor principal de este trabajo.

[1] Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Programa educativo de Ingeniero Agrónomo, Campus Peñuela. Km. 1 carretera Peñuela-Amatlán de los Reyes, Veracruz, México. iquiroz@uv.mx (https://orcid.org/0000-0003-4687-3221).

[2] Colegio de Postgraduados, Programa de Doctorado en Ciencias en Agroecosistemas Tropicales, Campus Veracruz, Km. 88.5 carretera federal Xalapa, Veracruz, predio Tepetates, Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, México. parturo@colpos.mx (autor para la correspondencia; https://orcid.org/0000-0002-8440-7814); clandero@colpos.mx (https://orcid.org/0000-0002-7383-3658); felipegl@colpos.mx (https://orcid.org/0000-0003-1490-4919).

[3] Colegio de Postgraduados, Campus Córdoba, carretera federal Córdoba-Veracruz, Congregación Manuel León, Amatlán de los Reyes, Veracruz, México. Joel42ts@colpos.mx (https://orcid.org/0000-0003-3854-9376).

[4] Instituto de Ecología, A.C., km 2.5 carretera Antigua a Coatepec 351, Xalapa, Veracruz, México. Griselda.benitez@inecol.mx (https://orcid.org/0000-0002-1311-191X).

Resumen

Introducción. El agroecosistema de café presenta gran importancia ambiental, social y económica en regiones subtropicales de México, pero también es vulnerable a eventos inesperados como el cambio climático. En la historia reciente, se ha documentado que el agroecosistema de café presenta un proceso constante de autoorganización basada en la adaptación y el aprendizaje ante los diversos escenarios adversos. **Objetivo.** Determinar la capacidad de resiliencia del agroecosistema cafetalero en la región centro del estado de Veracruz. **Materiales y métodos.** La investigación se realizó de diciembre de 2017 a noviembre de 2018 en Tezonapa, Veracruz, México. Se realizaron 52 entrevistas a caficultores para medir el índice de resiliencia, integrado por treinta variables, correspondientes a siete factores (social, económico, tecnológico, infraestructura, comunicaciones, institucional y ambiental). Estos factores fueron normalizados por el método de escalamiento mínimo-máximo. La resiliencia se estimó en una escala de 0-1, donde valores cercanos a cero representan baja capacidad de resiliencia y cercanos a uno, alta resiliencia. Los datos fueron analizados mediante estadística descriptiva y pruebas de Kruskal-Wallis y chi-cuadrado. **Resultados.** Se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p<0,5$) para los indicadores de las dimensiones económica (0,06) y tecnológica (0,22), con la menor contribución a la resiliencia. Por el contrario, las dimensiones sociales (0,78) y ambiental (0,74) tuvieron mayor contribución a la capacidad de resiliencia, determinado por el gradiente altitudinal. **Conclusiones.** Los indicadores con el mayor aporte a la capacidad de resiliencia del agroecosistema de café fueron los de dimensiones social y ambiental, y con bajo aporte las dimensiones económica y tecnológica.

Palabras clave: adaptación, regeneración, sostenibilidad, estructura agrícola, recuperación.

© 2024 Agronomía Mesoamericana es desarrollada en la Universidad de Costa Rica bajo una licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional. Para más información escriba a pccmca@ucr.ac.cr o pccmca@gmail.com

Abstract

Introduction. The coffee agroecosystems holds significant environmental, social, and economic importance in the subtropical regions of Mexico, but it is vulnerable to unexpected events such as climate change. In recent history, it has been documented that the coffee agroecosystem undergoes a constant process of self-organization based on adaptation and learning in the face of various adverse scenarios. **Objective.** To determine the resilience capacity of the coffee agroecosystem in the central region of the Veracruz state. **Materials and methods.** The research was conducted from December 2017 to November 2018 in Tezonapa, Veracruz, Mexico. Fifty-two interviews were conducted with coffee growers to measure the resilience index, which is composed of thirty variables corresponding to seven factors (social, economic, technological, infrastructure, communications, institutional, and environmental). These factors were normalized using the mim-max scaling method. Resilience was estimated on a scale of 0-1, where values close to zero represent low resilience capacity and values close to one, represent high resilience. The data were analyzed using descriptive statistics, Kruskal-Wallis tests, and Chi-squared tests. **Results.** Statistically significant differences ($p<0,05$) were found for the economic (0,06) and technological (0,22) dimensions indicators, which had the lowest contribution to resilience. Conversely, the social (0,78) and environmental (0,74) dimensions had a the highest contribution to resilience capacity, determined by the altitudinal gradient. **Conclusion.** The indicators that contributed the most to the resilience capacity of the coffee agroecosystem were those in the social and environmental dimensions, while the economic and technological dimensions contributed the least.

Keywords: adaptation, regeneration, sustainability, agricultural structure, recovery.

Introducción

El agroecosistema es una representación de un sistema alopoiético con una red compleja y dinámica de interacciones entre recursos naturales bióticos y abióticos, la tecnología, la economía y la cultura (Quiroz Guerrero et al., 2021). Donde el conocimiento local y la toma de decisiones del productor depende, en gran medida, del contexto socioeconómico, lo cual deviene en un proceso de autoorganización y evolución constante a través del aprendizaje (Gao et al., 2016; Quiroz Guerrero et al., 2021).

El agroecosistema café (AES-café) forma parte de un sistema socio-ecológico, que puede ser analizado desde una perspectiva de adaptación cíclica integrada por cuatro fases: 1) (r) la explotación de los recursos naturales y el crecimiento que se fusiona con una fase de conservación, 2) (K) un avance lento y acumulativo en el ciclo, 3) el desarrollo de un proceso de caos y colapso (Ω) y 4) una fase de reorganización (α), la cual puede ser lenta o rápida y con posibilidad de realizar innovaciones en el agroecosistema a través del aprendizaje (Peterson et al., 2018; Walker et al., 2004).

Se considera que la resiliencia es una propiedad emergente de los agroecosistemas que se expresa a partir de la fase K. Para este trabajo, la capacidad de resiliencia es el conjunto de condiciones y aptitudes que permiten al agroecosistema absorber la perturbación y reorganizarse mientras sufre cambios, para conservar su función, estructura, identidad y procesos de realimentación (Folke, 2016; Walker et al., 2004).

En México, la mayor producción de café se basa en la especie arábica (*Coffea arabica* L.), con el 95 % y la especie robusta (*C. canephora* Pierre ex A. Froehner) con el 5 % del café ofertado en los mercados nacionales (Asociación Mexicana de la Cadena Productiva del Café [AMECAFE], 2017; Centro de Estudios Para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria [CEDRSSA], 2020; Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura [FIRA], 2016). La producción de café se realiza en doce entidades federativas del país, con una participación importante de productores indígenas y minifundistas (CEDRSSA, 2020; Zamarripa Colmenero &

Escamilla Prado, 2002). Más del 80 % de la producción nacional se destina a la exportación, México es el principal productor de café orgánico a nivel mundial (CEDRSSA, 2020).

En la historia reciente, el AES-café ha experimentado diferentes crisis relacionadas a problemas socio económicos y a brotes de enfermedades, los cuales iniciaron en un contexto nacional, afectaron al municipio de Tezonapa y generaron daño, después se inició un proceso de recuperación (Renard, 2010). En el periodo de 1988 a 1993, el gobierno mexicano desmanteló el Instituto Mexicano del Café (INMECAFE), por lo que los pequeños productores quedaron en riesgo de colapsar ante las nuevas condiciones del mercado y precios, lo que generó una crisis socioeconómica nacional (Renard, 2010). La devaluación del peso mexicano hizo más severo el efecto de esta crisis y se reflejó en una menor inversión de los productores para el mantenimiento de sus plantaciones (Renard, 2010; Zamarripa Colmenero & Escamilla Prado, 2002).

En 2012, la roya (*Hemileia vastatrix Berk et Br*), que es considerada la enfermedad más destructiva para los cafetos, ocasionó estragos en todas las zonas cafetaleras de México. En Veracruz, a principios de 2013 se reportaron más de 10 mil hectáreas afectadas por roya. Para el ciclo 2015-2016, productores del estado de Oaxaca y Guerrero sufrieron pérdidas de hasta un 95 %, lo que marcó la salida de México de los diez principales países productores de café (International Coffee Organization, n.d.; Libert-Amico & Paz-Pellat, 2018).

Se espera que el cambio climático también ocasione daños al AES-café, ya que mediante el modelado de escenarios se puede observar una reducción de la extensión actual de las zonas aptas o ambientes para el cultivo de *C. arabica*, por lo que este efecto incluye los municipios productores del estado de Veracruz (CEDRSSA, 2020; de Sousa et al., 2019), en donde Tezonapa es una de las regiones de México más importantes en la producción de café, por las 15 900 hectáreas cultivadas (Ramírez Soto et al., 2022; Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2022). En Tezonapa, el cafetal cultivado con la especie *C. arabica*, presenta la característica de ser un sistema de policultivo tradicional, a través de una manipulación del ecosistema forestal nativo con la introducción del café por debajo del dosel de los árboles; está acompañado de numerosas especies de plantas útiles y existe un sofisticado manejo de especies nativas e introducidas (Aguirre-Cadena et al., 2012).

Los estudios previos realizados sobre resiliencia en las zonas cafetaleras cultivadas con *C. arabica*, se centran en el cambio climático y fenómenos hidrometeorológicos desde la percepción y adaptación del productor. En ese sentido, Viguera, Alpizar, Harvey, Martínez-Rodríguez y Saborío-Rodríguez (2019) determinaron que el 98 % de los productores de café percibieron cambios en el clima y lo asociaron con impactos negativos sobre la producción de café, por lo que el 60 % respondió que realizó prácticas de adaptación mediante el sembrado de árboles y el aumento en el uso de agroquímicos. En Guatemala, en dos paisajes: Acatenango y Chiquimula, el 95 % de los productores percibió cambios en el clima, y el 81 % consideró que tuvo efectos sobre el cafetal y que es necesario incrementar el apoyo técnico, financiero y político (Viguera, Alpízar, Harvey, Martínez-Rodríguez, Saborío-Rodríguez & Contreras, 2019).

Los estudios de resiliencia también han explicado cómo se logra la recuperación a través de los elementos bióticos de la estructura del agroecosistema café después de ser impactado por un huracán de categoría 4, donde el contexto socio-ecológico de los productores influye en la resistencia y, posteriormente, en la resiliencia de cada parcela (Perfecto et al., 2019). Otras estrategias que fomentan la resiliencia en los cafetales, es a través de la adaptación mediante el desarrollo de nuevas variedades híbridas resistentes al clima cambiante, con un aumento en la productividad entre 29 % y 61 %, comparado con variedades tradicionales, pero con la desventaja de presentar una alta demanda de insumos externos como los fertilizantes (Abraha Kashay et al., 2023). La gestión de la resiliencia a nivel local, regional y en el paisaje de las zonas cafetaleras, requiere la intervención política para diversificar las actividades de los productores y materializar el conocimiento sobre la gestión de riesgos (Eakin et al., 2012). Por ejemplo, una dimensión que aumenta el nivel de vulnerabilidad climática es la condición de los campesinos con pobreza, alto grado de marginación y carencia de acceso a servicios públicos (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2023). En el área de estudio, la producción de café depende de la distribución de la lluvia durante el año y se realiza en un contexto socioeconómico en donde el 75,2 % de la población está en

condición de pobreza y con grado de marginación y rezago social alto (Secretaría del Bienestar, 2023), por lo que ante un desastre natural se potencia el desarrollo de un impacto quince veces mayor en comparación con un área no vulnerable al cambio climático (IPCC, 2023).

La importancia del municipio de Tezonapa en la producción de café y el abordaje simplificado de la resiliencia en estudios previos, plantea la necesidad de abordar esta propiedad emergente desde un enfoque holista e integrador, a través de las diferentes dimensiones que aportan a la resiliencia del agroecosistema café (SIAP, 2022). Es importante desarrollar un agroecosistema cafetalero con capacidad adaptativa a los diferentes choques e impactos extremos para mantener su estructura y función (resiliencia). Por ello, es importante responder las preguntas: ¿Qué dimensiones le confieren mayor o menor capacidad de resiliencia al AES-café ante la presencia de diferentes crisis? Es probable que la capacidad de resiliencia del agroecosistema café (CRAC) esté relacionada con la dimensión social, ambiental, económica y tecnológica. La condición actual de homeostasis del AES-café bajo escenarios de cambio climático puede perderse y llevarlo a rebasar el punto de quiebre y alcanzar un estado de no retorno. Por tanto, el objetivo fue determinar la capacidad de resiliencia del agroecosistema cafetalero en la región Centro del estado de Veracruz.

Materiales y métodos

Esta investigación se realizó de diciembre de 2017 a noviembre de 2018 en el municipio de Tezonapa, estado de Veracruz, México (Figura 1), en parcelas cafetaleras distribuidas en zonas de valle y de montaña ubicados en un gradiente altitudinal entre los 100 y 1400 m s. n. m. El tipo de suelo en el municipio corresponde a vertisol para la zona de valle y litosol para la de montaña (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], s.f.a). El tipo de clima es cálido húmedo en el valle y semicálido húmedo en la montaña (INEGI, s.f.b).

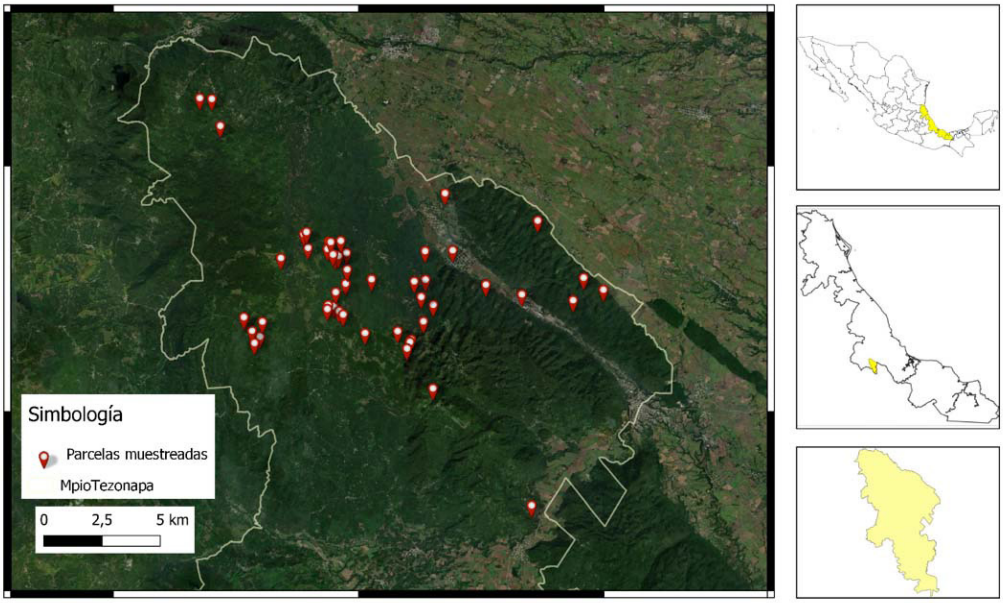

Figura 1. Distribución geoespacial de las fincas del agroecosistema café en el municipio de Tezonapa, Veracruz, México. 2018.

Figure 1. Geospatial distribution of coffee agroecosystem farms in the municipality of Tezonapa, Veracruz, Mexico. 2018.

Tamaño de muestra

Los productores de café (*C. arabica*) se contactaron a través de reuniones, realizadas en tres localidades, convocadas por autoridades locales (agente municipal y comisariado ejidal), así como con información proveniente del departamento de Fomento Agropecuario municipal y centros locales de acopio de café (beneficios). Se conformó un padrón de 96 caficultores, de los cuales se localizó y entrevistó a un total de 52 (54 %), cuatro productores más sí se considera una muestra representativa al 10 % de error, incluidos trece productores de la asociación local "*Santa Cruz Olintzi*".

Medición de indicadores de capacidad de resiliencia

La información de los indicadores se obtuvo mediante entrevista a productores de café, en donde se utilizó un cuestionario estructurado, que incluyó seis secciones: 1) eje social, 2) eje económico, 3) eje tecnológico, 4) eje comunicaciones, 5) eje institucional y 6) eje ambiental; cada sección contenía cinco variables. El total de variables medidas en cada agroecosistema fue de treinta y se establecieron de acuerdo con la revisión de bibliografía (Acevedo et al., 2005; Akter & Mallick, 2013; Altieri et al., 2015; Altieri & Nicholls, 2013; Cabell & Oelofse, 2012; Centro Nacional de Prevención de Desastres [CENAPRED], 2015; Comisión Económica Para América Latina y el Caribe [CEPAL], 2016; Comisión Nacional de los Salarios Mínimos [CONASAMI], s.f.; Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social [CONEVAL], s.f.; Cutter et al., 2010; Espinoza-García et al., 2016; Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], n.d.; FAO, 2009; Gliessman, 2002; Hicks Masterson et al., 2014; Jardel Peláez, 2015; Lin, 2011; Peralta Solorio, 2016; Qasim et al., 2016; Rose, 2007; 2009; Salgado García et al., 2013; Schmuck, 2000; Singh et al., 2015; Twigg, 2007).

La segunda etapa consistió en visitar la parcela de cada productor, para recabar datos en campo relacionados con la dimensión ambiental. Cada parcela fue georeferenciada (GPS *eTREX*®), y configurada en coordenadas geográficas WGS 84-Datum. Para la toma de datos se estableció un conglomerado de muestreo de una hectárea (564 200 m de radio).

Cada conglomerado estuvo constituido por cuatro sitios o subunidades circulares de 400 m^2 (radio de 11,283 m) con un punto central en el sitio de muestreo. La distribución de estos sitios corresponde a una "Y" invertida con respecto al norte (N), en la que el sitio 1 representa el centro del conglomerado y los sitios 2, 3 y 4 las unidades de muestreo periféricas. Los sitios 2, 3 y 4 se encuentran a 0°, 120° y 240° de azimut, respectivamente, equidistantes a 45,14 m del centro del conglomerado (Comisión Nacional Forestal [CONAFOR], 2010) (Figura 2). Se tomaron datos de pendiente con un clinómetro digital. Se hicieron observaciones sobre la estructura vegetal de cada parcela y sobre la presencia o ausencia de: erosión laminar o de cárcavas (FAO, 2009), y asocio del cafetal con otros cultivos (García Alaniz et al., 2016).

El muestreo del suelo consistió en tomar diez submuestras por cada hectárea de cada parcela, se tomaron muestras a 30 cm de profundidad. Las submuestras fueron mezcladas, hasta tener 2 kg de suelo que se almacenó en bolsas nylon de color negro. Cada muestra fue enviada al laboratorio para determinar parámetros físicos (textura y densidad aparente) y químicos (macro y micronutrientes). Para el análisis de las muestras de suelo se utilizaron los métodos establecidos en la NOM-021-RECNAT-2000 (Salgado García et al., 2013).

Índice de capacidad de resiliencia

El índice de capacidad de resiliencia se estableció en una escala de 0–1 (Cutter et al., 2010); para ello, se integraron por treinta indicadores. Estos factores fueron normalizados por el método de escalamiento mínimo-

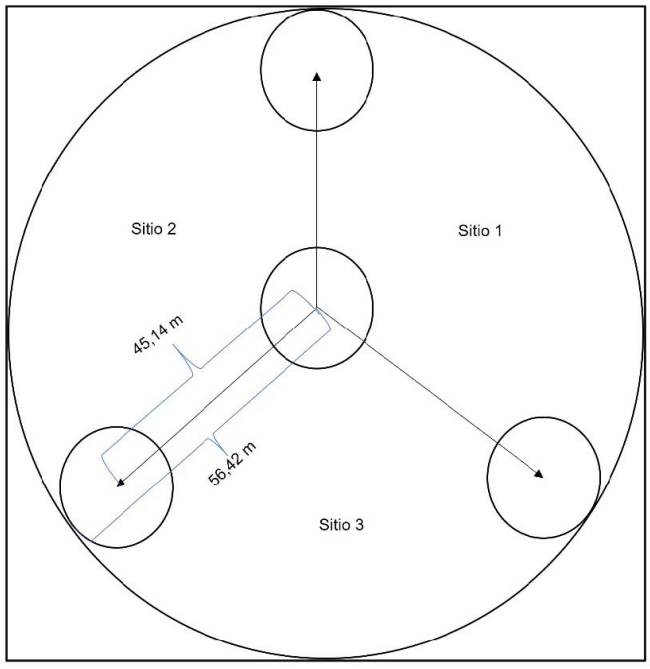

Figura 2. Trazado de cuatro transeptos orientados hacia cada punto cardinal utilizado para medir las características ambientales de cada parcela de café (*C. arabica*) en Tezonapa, México, 2018.

Figure 2. Layout of four transects oriented towards each cardinal point used to measure the environmental characteristics of each coffee (*C. arabica*) plot in Tezonapa, Mexico, 2018.

máximo (Cutter et al., 2010). Las variables donde los valores fueron más altos correspondieron a bajos niveles de resiliencia, el valor de las variables fue invertido. Los valores cercanos a 1 indican alta capacidad de resiliencia y los valores cercanos a 0 representan nula o baja capacidad de resiliencia (Cutter et al., 2010).

Las variables estudiadas fueron del tipo: nominales dicotómicas (Si= 1; No=0; presencia=1; ausencia =0) y ordinales (Nula= 0; Muy baja= 0,1-0,25 Baja = 0,26-0,49, media= 0,50-0,60, alta= 0,61-0,74, muy alta= 0,75-0,99 y excelente= 1), tal como se muestra en el Cuadro 1 (Infante & Zarate de Lara, 2013). Los valores recabados fueron acoplados con el programa Qgis versión 2.1, para generar un mapa de distribución con la técnica de interpolación espacial *Inverse distance weightin*g.

Cuadro 1. Criterio utilizado para adjudicar valores a los indicadores de la capacidad de resiliencia del agroecosistema café (CRAC) y estandarizar su diversidad en una escala entre 0 y 1 en Tezonapa, México, 2018.

Table 1. Criteria used to assign values to the indicators of resilience capacity of the coffee agroecosystem (CRA) and standardize their diversity on a scale from 0 to 1 in Tezonapa, México, 2018.

Capacidad de resiliencia	Rango
Excelente	1
Muy alta	0,75-0,99
Alta	0,61-0,74
Media	0,50-0,60
Baja	0,25-0,49
Muy baja	0,1-0,24
Nula	0

ISSN 2215-3608 https://doi.org/10.15517/am.2024.55146

Análisis estadístico

Los datos fueron analizados mediante estadística descriptiva (tendencia central), análisis de frecuencias y nominales. Las diferencias entre la frecuencia de respuestas de variables con mayor y menor aporte a la capacidad de resiliencia de los indicadores ordinales fueron analizadas mediante el estadístico de X^2 (Chi-cuadrada) y las respuestas de variables dicotómicas mediante la prueba estadística de Cochram (Infante & Zarate de Lara, 2013).

Los valores del índice de capacidad de resiliencia, para cada variable, fueron promediados según el factor al que cada una corresponde. Para determinar diferencias entre el aporte de factores a la capacidad de resiliencia se utilizó la prueba del signo (Infante & Zarate de Lara, 2013). Los valores de capacidad de resiliencia de cada parcela fueron clasificados según la altitud en alta: media y baja (World Coffee Research, s.f.). El estadístico de Kruskal-Wallis se utilizó para determinar diferencias de capacidad de resiliencia en las parcelas (Infante & Zarate de Lara, 2013). El software estadístico utilizado fue Statistica® 7.0.

Resultados

Contribución de los indicadores a la capacidad de resiliencia

Entre las variables en escala ordinal que tuvieron mayor frecuencia positiva (Figura 3) y que aportaron a la CRAC, sobresalieron los correspondientes a la dimensión ambiental, entre ellos la estructura vegetal, por la presencia de una asociación entre cafetos con herbáceas-arbustos-árboles, esto como resultado de la necesidad de sombra de los cafetos. La calidad del suelo, respecto a otras variables, presentó diferencias significativas (X^2=86,316 P<0,005), debido a que los parámetros del suelo, en promedio, presentaron valores altos, el nitrógeno

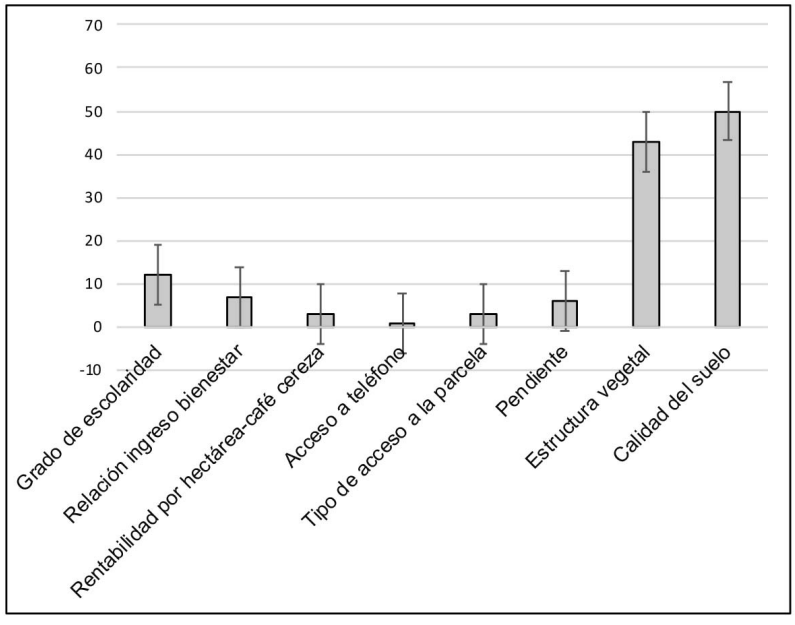

Figura 3. Frecuencia de variables ordinales positivos para la capacidad de resiliencia de 52 fincas cafetaleras de Tezonapa, México, 2018.

Figure 3. Frequency of positive ordinal variables for the resilience capacity of 52 coffee farms in Tezonapa, Mexico, 2018.

total alto (0,255 ±0,033), fósforo asimilable alto (11,604 ±31,020), materia orgánica alta (9,929 ±16,773) pH moderadamente ácido (6,289 ±0,621), conductividad eléctrica muy ligeramente salina (0,128), capacidad de intercambio catiónico alta (25,144 ±9,882), hierro intercambiable adecuado (36,840 ±17,485), cobre adecuado (0,804 ±0,817), zinc adecuado (11,447±588,954) y manganeso adecuado (24,17±18,755). El 83 % de las parcelas contaba con una estructura del estrato arbóreo, arbustivo y herbáceo asociado con los cafetos. EL 11 % presentó la asociación cafetos-herbáceas, el 4 % solo cafeto y cafetos-árboles 2 %.

Con relación a variables (en escala ordinal) negativas o con menor aporte a la CRAC sobresalieron: acceso a la parcela, pendiente del terreno, relación ingreso-bienestar del productor, grado de escolaridad y rentabilidad por hectárea, los cuales presentaron diferencias significativas (X^2=101,676 P<0,005) respecto a las variables acceso a telefonía celular y estructura vegetal (Figura 4).

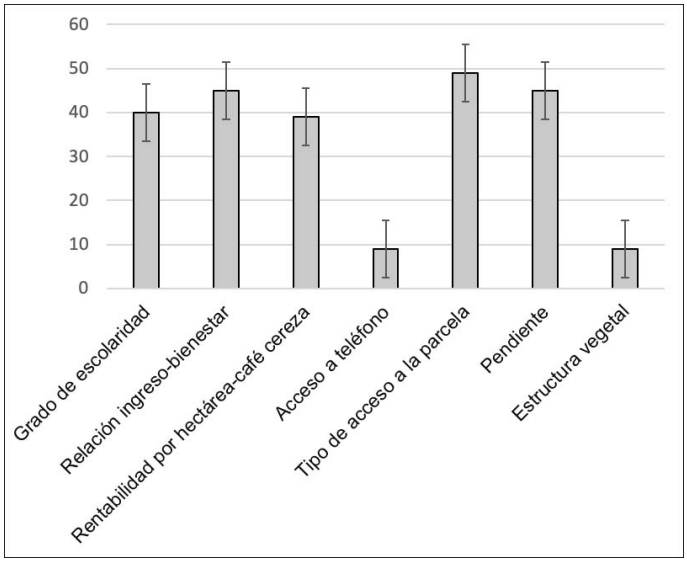

Figura 4. Frecuencia de variables ordinales negativos para la capacidad de resiliencia de 52 fincas cafetaleras de Tezonapa, México, 2018.

Figure 4. Frequency of negative ordinals variables for the resilience capacity of 52 coffee farms in Tezonapa, Mexico, 2018.

Los valores negativos restan aporte al valor general de capacidad de resiliencia, tal es el caso de la variable acceso a la parcela, cuya condición fue principalmente camino de terracería, seguido de sendero empedrado. Los niveles de pendiente fueron mayores a 14 %, por lo que el terreno se consideró fuertemente inclinado. En la variable ingreso-bienestar, se reflejaron ingresos económicos mensuales entre 0 y USD$ 58,08 como resultado de la cafeticultura. La rentabilidad de café cereza fue baja para el 75 % de los productores, debido a que se encontró por debajo de la línea de pobreza por ingresos del CONEVAL (s.f.). Con relación al grado de escolaridad, el 15 % de los productores presentaron un nivel nulo o 0 años de estudio, el 61 % con un nivel entre1 a 6 años, el 19 % con un rango medio entre 7 a 12 años y el 4 % con un nivel alto con más de 13 años de estudio.

Respecto a las variables con respuesta dicotómica y con mayor cantidad de frecuencia de respuestas positivas sobresalieron: acceso a servicios de salud, donde un 98 % de los cafeticultores contaban con acceso a servicios médicos, el 98 % de los entrevistados consideró que el origen de los fenómenos naturales es no causado por una divinidad existe la presencia de un atlas de riesgo, instituciones de protección civil y un plan estratégico de protección civil para toda la zona de producción de café en el municipio (Figura 5).

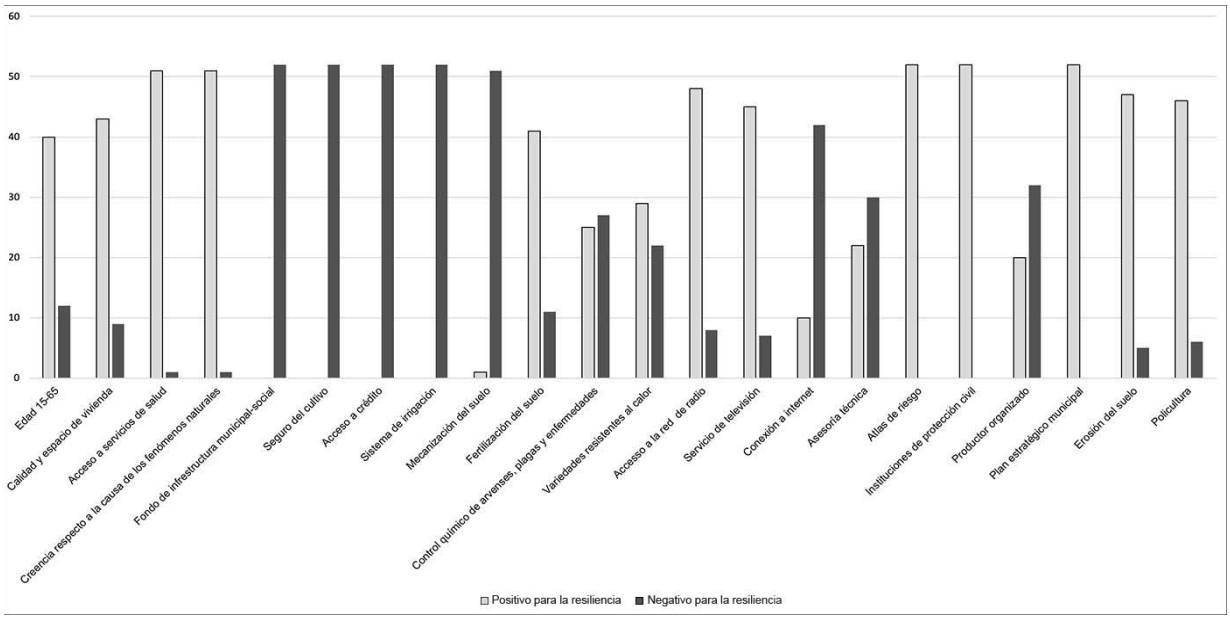

Figura 5. Frecuencia de variables con respuesta dicotómica positiva y negativa para la capacidad de resiliencia de 52 fincas cafetaleras (*C. arabica*) en Tezonapa, México. 2018.

Figure 5. Frequency variables with positive and negative dichotomous responses for the resilience capacity of 52 coffee (*C. arabica*) farms in Tezonapa, Mexico. 2018.

Entre las variables negativas con respuesta dicotómica se encontraron: aseguramiento del cultivo y acceso a crédito, donde ambas variables estuvieron ausentes y son parte de la dimensión económica, por lo que son poco probables de controlar debido a la baja rentabilidad de la cosecha del café a nivel parcela. El 81 % de los productores contaba con conexión de internet a través de la red de telefonía celular. El 62 % de los productores no estaba organizado, el 57 % no contaba con asesoría técnica. El 25 % realizaba control químico de arvenses, el 22 % no contaba con variedades resistentes al calor.

Índice de capacidad de resiliencia

La valoración de la capacidad de resiliencia del agroecosistema café, mostró que los indicadores con mayor aporte se agruparon principalmente en indicadores de la dimensión social (80 %), ambiental (80 %), institucional (60 %) y de comunicaciones (60 %). Por el contrario, los indicadores que aportaron menos a la capacidad de resiliencia se agruparon en las dimensiones tecnológica (80 %) y económica (100 %), esta última presentó diferencias estadísticamente significativas (p<,00000) respecto al resto de las dimensiones (Cuadro 2).

Distribución geoespacial de la capacidad de resiliencia del agroecosistema cafetalero

De las 52 fincas, veintiocho (53 %) presentaron una capacidad de resiliencia baja, dieciocho (34 %) capacidad media y seis (11 %) capacidad alta. Se encontró una tendencia de las fincas con CRAC alta a encontrarse a una altitud menor y a medida que aumentaba la altitud de donde se encontraban las fincas de la CRAC fue menor. Es probable que la altitud y lo abrupto del relieve montañoso limiten el acceso de los productores a servicios públicos y productivos diversos. Se encontraron diferencias significativas entre los valores medios del índice de CRAC

Cuadro 2. Comparación de medias entre los factores integradores de la capacidad de resiliencia del agroecosistema café (*C. arabica*) en Tezonapa, México. 2018.

Table 2. Comparison of means among the integrative factors of resilience capacity in the coffee agroecosystem (*C. arabica*) in Tezonapa, Mexico. 2018.

Factor	Media	Desviación estándar
Social	0,783	0,152
Económico	0,065	0,132
Tecnológico	0,226	0,168
Comunicaciones	0,430	0,176
Institucional	0,761	0,168
Ambiental	0,741	0,195

(prueba de F P<0,05), distribuidos según la clasificación de altitud óptima para el cultivo de café (World Coffee Research, s.f.), donde existen tres categorías: altitud baja, media y alta. Las fincas ubicadas a una altitud baja presentaron mayor CRAC con diferencias significativas respecto a la CRAC de fincas localizadas a una altitud media y alta (Figura 6).

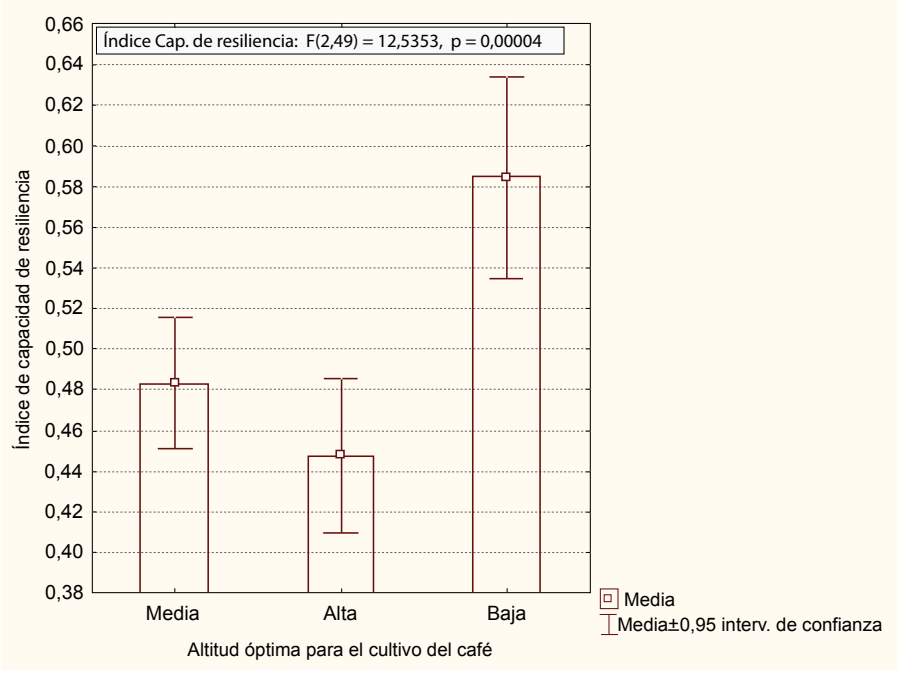

Figura 6. Comparación entre la capacidad de resiliencia del agroecosistema café (*C. arabica*) (CRAC) de las fincas localizadas en tres categorías altitudinales en Tezonapa, México, 2018.

Figure 6. Comparison of the resilience capacity of the coffee agroecosystem (*C. arabica*) (CRAC) in farms located in three altitudinal categories in Tezonapa, Mexico, 2018.

El grupo de fincas de café con capacidad de resiliencia alta presentaron valores de CRAC entre 0,62 y 0,73, las fincas con CRAC media presentaron valores entre 0,50 y 0,60. Las fincas con CRAC baja entre 0,28 y 0,49 (Figura 7).

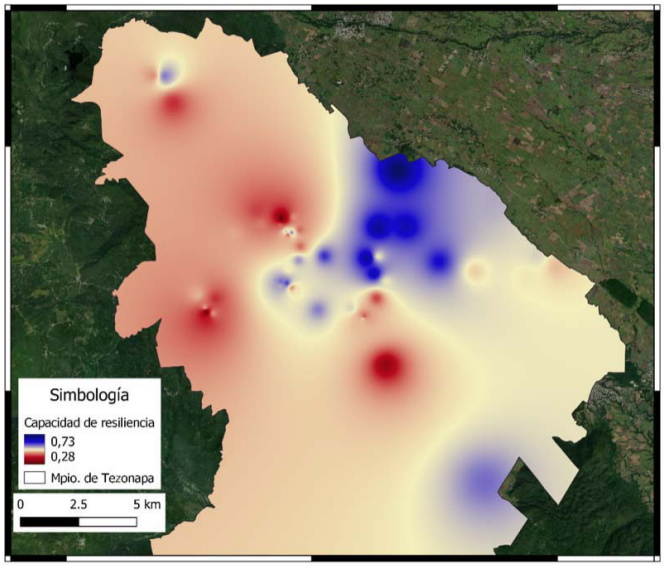

Figura 7. Distribución geoespacial de la capacidad de resiliencia del agroecosistema café (*C. arabica*) (CRAC) en donde las frecuencias de valores de baja CRAC están asociadas a áreas con relieve más escarpado y con menos servicios en Tezonapa, México, 2018.

Figure 7. Geospatial distribution of the resilience capacity of the coffee agroecosystem (*C. arabica*) (CRAC), where low CRAC value frecuencies are associated with areas of steeper terrain and fewer services in Tezonapa, Mexico, 2018.

Discusión

Los indicadores de resiliencia estudiados en las parcelas de café, presentaron valores que expresan fortalezas y debilidades. La alta calidad del suelo está relacionada con el ciclo continuo de desechos orgánicos provenientes de la vegetación utilizada como sombra o sotobosque para los cafetales (Rodríguez Suárez et al., 2019). El flujo constante de material orgánico permite que en los parámetros del suelo se hayan presentado valores positivos, lo que coincide con los resultados de otros estudios como el de Jurburg et al. (2020), quienes en diecinueve plantaciones de café determinaron valores altos de nitrógeno y carbono, así como una actividad alta de las poblaciones de bacterias y hongos, los cuales están asociados a los aportes constantes de materia orgánica.

La mayor parte de las parcelas muestreadas presentaron una estructura con árboles-arbustos-herbáceas, los cuales están asociados a los cafetos, con lo que se promueve la diversidad biológica, que es un elemento importante para la resiliencia en sistemas socioecológicos y agroecosistémicos (Cabell & Oelofse, 2012; Lin, 2011). La biodiversidad que integra a los cafetales de estudio puede ser organizada para su análisis en diversas jerarquías tales como: a nivel de acervo genético, de paisaje y de cultivos agrícolas. Estas características le dan autonomía al agroecosistema frente a insumos externos y, en caso de una crisis o ante un evento climático extremo, le permite al productor tener opciones para una recuperación rápida después de los daños sufridos (Kliem & Sievers-Glotzbach, 2022).

El manejo del cafetal por parte de los productores incluye la realización de podas, cuyos restos, más los provenientes de la vegetación circundante, se integran al suelo, por lo que resulta en un efecto positivo directo generado por el manejo agroecológico, basado en la diversificación vegetal sobre los parámetros físicos, químicos y biológicos de la calidad del suelo (Mancini Texeira et al., 2021). Las labores de mantenimiento del cafetal de forma manual y la ausencia de maquinaria agrícola pesada, favorecen a que el suelo no se compacte y se estimule el desarrollo radical de las plantas y el intercambio gaseoso e hídrico. Se ha identificado que el proceso de degradación de la hojarasca se acelera y es particular para los cafetales, debido a la presencia de poblaciones microbianas propias del agroecosistema café (Schmitt & Perfecto, 2021). La presencia de árboles, arbustos y herbáceas, en las parcelas de estudio es positiva y son un factor importante, debido a que se ha determinado que especies asociadas a los cafetales benefician a parámetros como el fósforo y la materia orgánica (Getachew et al., 2023).

Las prácticas agronómicas actuales como la integración de residuos de la poda, el no uso de maquinaria agrícola, o la siembra manual de los cafetos, cuyas labores son realizadas por los productores de las parcelas muestreadas, podrían mejorarse con otras técnicas como el establecimiento de terrazas, la aplicación de bioinsumos, la siembra de arvenses fijadoras de nitrógeno y el aumento de las especies de flora local aprovechables. Además del mejoramiento de las prácticas agronómicas actuales, es importante integrar nuevos enfoques como el del sistema de intensificación de cultivos, el cual está diseñado para los productores con recursos limitados o aquellos cuyos cafetos presentan deficiencias nutricionales (Silici et al., 2011). Existen acciones sencillas aplicables en los cafetales de estudio que fomentan la adaptación del agroecosistema café ante un escenario de cambio, estas consisten en: planta de café de alta calidad, espacio o distancia óptima entre las plantas, mantenimiento de la capa superior del suelo, aireación del suelo alrededor de las plantas, drenaje para evitar que el suelo se sature de agua y se presenten condiciones hipóxicas, enmienda del suelo con materia orgánica y reducción de la dependencia de fertilizantes inorgánicos y plaguicidas, a través del uso de bioinsumos tanto como sea posible (Silici et al., 2011).

La falta de rentabilidad del café cereza en las parcelas de estudio está asociada al precio del mercado y se refleja en variables con valores negativos para la resiliencia como: relación ingreso-bienestar del productor, grado de escolaridad y rentabilidad por hectárea, los cuales son reflejo de una situación precarizada que es común en pequeños productores de café de la región y de México. En algunos casos, los costos de producción por hectárea son mayores (US$ 24 209) comparados con la ganancia por la misma superficie (US$ 11 801). Lo anterior limita el desempeño para mitigar de forma adecuada los problemas de producción y aprovechar las oportunidades que el mercado ofrece al momento de la comercialización (Campbell, 2021).

La necesidad socio-económica de los productores propietarios de las parcelas de estudio, tienen alternativas viables de mejora a través del valor agregado como la certificación en producción de café orgánico de exportación y la venta de café tostado y en bebida, a través de la integración de organizaciones de pequeños productores, lo cual les permite aumentar el precio del grano (Campbell, 2021).

Una de las causas de la falta de rentabilidad del café en Tezonapa, se debe a que es frecuente que los pequeños productores se mantienen en las primeras etapas de la cadena productiva y desempeñan las tareas más laboriosas y menos rentables con la consecuencia de una limitada (Campbell, 2021) inversión en tecnología agrícola, infraestructura de comunicaciones o capacitación, que permita la innovación requerida para enfrentar futuras condiciones de crisis (Cabell & Oelofse, 2012). La dimensión tecnológica es crucial para mejorar la productividad y aumentar las medidas de adaptación de las fincas ante escenarios de cambio climático (Bedeke et al., 2020; Nyberg et al., 2021; Roy et al., 2019).

Los resultados obtenidos mostraron que la ubicación remota de los cafetales limita el acceso a los recursos institucionales y complica la venta de la producción de café (Pérez, 2021). Para el caso de las variables acceso a la parcela y pendiente del terreno, el resultado obtenido se debe a que las parcelas muestreadas se encontraban en una zona rural y montañosa, en donde lo accidentado del relieve dificulta dar mantenimiento a la infraestructura de acceso, por lo que es frecuente encontrar pequeñas veredas en donde solo puede transitar un arriero y el animal

de carga. En los cafetales cercanos a centros económicos se facilita el acceso a los recursos institucionales y su ubicación se asocia a terrenos planos, lo que representa una ventaja para innovar y adaptarse a escenarios de crisis (Hausermann, 2014; Leyva Mir, 2010).

El relieve abrupto de la zona de estudio presenta pendientes pronunciadas que limita el acceso a servicios y las labores básicas de agricultura como la mecanización del suelo, la densidad de siembra o el acceso para riego y sacar la cosecha (Morales-Hernández, 2015; Simane et al., 2013). Los productores con resiliencia del agroecosistema café (CRAC) alta, presentaron mayor conectividad con el exterior, al tener un promedio de cuatro medios de comunicación. Por el contrario, los administradores con CRAC media y baja, presentaron en promedio dos dispositivos de comunicación. Sin embargo, el 80 % de los productores no tiene conexión a internet, lo que incrementa la brecha digital en el contexto cafetalero, por lo que se debe impulsar la conectividad mediante el desarrollo económico local, ya que a mayor nivel de pobreza las posibilidades de acceso y uso tecnológico disminuyen (Gómez Navarro, 2019). El acceso internet permite acceder a información importante para la prevención de desastres o daños por plagas, pero es necesario que los productores desarrollen competencias digitales para acceder a sitios web y aplicaciones de uso agronómico, meteorológico y de prevención de desastres (Organista et al., 2016).

La orografía en donde se distribuyen las 52 parcelas influye sobre la marginación y ocasiona rezago social, económico, de infraestructura y tecnológico en los productores y en la población (Morales-Hernández, 2015). Las características orográficas de las parcelas de estudio son escarpadas, por lo que se consideran de difícil acceso, lo que dificulta y limita el proceso de producción y comercialización del cultivo de café y, en consecuencia, ocasiona menor CRAC comparado con los agroecosistemas en zona de valle.

Los valores determinados en la dimensión social de los productores cafetaleros, podrían contribuir a una recuperación lenta después de un evento de desastre tal como se ha documentado en comunidades con baja capacidad de resiliencia, en donde variables como: creencias religiosas frente a inundaciones, población sin ingresos para cubrir necesidades básicas y población con discapacidad, presentan un aporte sobresaliente en el aumento de la vulnerabilidad local ante un desastre natural (Qasim et al., 2016).

Los productores de café entrevistados presentaron un nivel de educación bajo, que limita la innovación tecnológica, la adaptación y, por consecuencia, hace más lenta la recuperación después de un desastre como los relacionados al cambio climático (Silici et al., 2011). En los pequeños productores de café, la baja escolaridad se asocia con otras razones diversas como la falta de dinero, el desconocimiento de nuevas técnicas agronómicas y el nulo acceso a mano de obra, que en conjunto limitan la utilización de medidas de adaptación respecto a los cambios ambientales (Nyberg et al., 2021).

La transferencia mejorada de conocimientos agrícolas es una vía clave para promover la sustentabilidad de la productividad de los pequeños agricultores, a través de la intensificación sostenible que promueve la conservación de los recursos naturales (Nord et al., 2022). Sin embargo, el extensionismo no ha sido suficiente para satisfacer la demanda de conocimiento por parte de los productores de café, lo que ha resultado en una limitante para desarrollar un agroecosistema de café más sostenible; lo anterior destaca la necesidad de integrar los servicios de asesoramiento agrícola gubernamentales, no gubernamentales y del sector privado, enfocados en promover estrategias de adaptación bajo escenarios de cambio (Nord et al., 2022).

Los valores negativos de algunos indicadores restan capacidad de resiliencia al AES-café (Cabell & Oelofse, 2012), esta característica se registró también con personas de comunidades poco resilientes a desastres naturales (Kusumastuti et al., 2014). Sin embargo, los valores negativos encontrados en los indicadores y ante una situación de crisis son una oportunidad para moderar los efectos negativos o para tomar provecho de ello, lo que podría motivar a los productores de café a desarrollar una diversidad de actividades de adaptación, que les permita superar retos y no rebasar el punto de quiebre del agroecosistema para mantenerse ante el escenario de cambio, tal como ha sucedido en agroecosistemas de maíz y de pastoreo (Titonell, 2013).

A escala regional, la CRAC no se distribuyó de forma homogénea en las tres categorías de altitud. Se puede considerar que el relieve (a escala regional), mediante la altitud, ejerce un efecto sobre los indicadores del agroecosistema. Lo anterior, tiene como consecuencia un efecto en cascada (Rocha et al., 2018) sobre las dimensiones o factores en las que se integran los indicadores y estas dimensiones a su vez influyen en la distribución de la capacidad de resiliencia.

Las fincas de café del presente estudio, se encuentran en una región en donde la gestión del riesgo y la prevención de desastres están presentes porque existe un atlas de riesgo, un plan de protección e instituciones coordinadas desde el enfoque de la protección civil de los tres niveles de gobierno que rigen en México. Los desastres naturales como huracanes, incendios, deslaves, inundaciones, sequías y ondas de calor, han afectado al ser humano tanto en las zonas urbanas como las rurales y es en estas últimas, en donde los estragos causados ponen en riesgo la cosecha, la derrama económica por la venta agrícola y la soberanía alimentaria de los productores, ahí la importancia de realizar gestión del riesgo ante desastres (Campbell, 2021; Chapagain & Raizada, 2017).

Los resultados negativos relacionados al aseguramiento del cultivo y acceso a crédito, son un área de oportunidad para mejorar en el agroecosistema café, debido a que se ha encontrado beneficios al corto y largo plazo por el uso de créditos, los cuales pueden aumentar la productividad del sector agrícola tal como se ha documentado en África (Aloysius Ngong, 2022). Otra ventaja del acceso a crédito es que ante un daño ocasionado por un desastre, permite recuperar lo perdido de una forma acelerada, pero también es importante que el valor de la producción del cafetal permita sostener los pagos del crédito, sobre todo ante la tendencia de descenso del precio del café como ha ocurrido desde 2011 (Aloysius Ngong, 2022; Rodríguez Toledo et al., 2019), lo que ha generado que gran parte de la contratación de seguros dependa significativamente del respaldo de los recursos públicos (Solano-Alonso et al., 2021).

Conclusiones

Los indicadores que menos aportaron a la capacidad de resiliencia del agroecosistema café (CRAC) y que presentaron valores negativos, fueron los relacionados con los factores económico y tecnológico. Es necesario, vía productor, estimular la homeostasis del AES-café y fortalecer las debilidades detectadas es estos dos ejes, ya que el agroecosistema podría alcanzar y rebasar su límite de resistencia y migrar a una condición de no retorno. La dimensión comunicaciones presenta potencial para aumentar su aporte a la CRAC y sobresale el uso de teléfonos con acceso a internet, lo que permite al productor tener acceso a información para mejorar la toma de decisiones. Por el contrario, las dimensiones más fortalecidas fueron: la ambiental, la cual está relacionada al manejo agroecológico del cafetal bajo sombra, y la social e institucional, las cuales se asocian con la presencia de programas de gobierno municipal, estatal y federal.

Los tres niveles de CRAC de las fincas muestreadas se distribuyeron en forma diferente sobre el gradiente altitudinal del área de estudio. Debido a lo anterior, existe la tendencia de que las fincas con índice de resiliencia alta se distribuyan en zonas con baja altitud, conforme se asciende se encontraron fincas con un índice de resiliencia media y en las zonas con mayor altitud las fincas tuvieron un índice bajo. Lograr la resiliencia del sector agrícola y de los agroecosistemas en particular de los cafetaleros, es y debe ser un objetivo importante para el sector agrícola en México ante la incertidumbre de fenómenos ambientales, sociales y económicos causales de crisis.

Referencias

Abraha Kahsay, G., Turreira-García, N., Ortíz-Gonzalo, D., Georget, F., & Skovmand Bosselmann, A. (2023). New coffee varieties as a climate adaptation strategy: empirical evidence from Costa Rica. *World Development Sustainability, 2*, Article 100046. https://doi.org/10.1016/j.wds.2023.100046

Acevedo, E., Carrasco, M. A., León, O., Martínez, E., Silva, P., Castillo, G., Ahumada, I., Borie, G., & Gonzáles, S. (2005, junio 2). *Criterios de calidad de suelo agrícola* (En revisión). Servicio Agrícola y Ganadero. https://www.sag.gob.cl/content/criterios-de-calidad-de-suelos-agricolas

Aguirre-Cadena, J. R., Ramírez-Valverde, B., Trejo-Téllez, B. I., Morales-Flores, F. J., & Juárez-Sánchez, S. J. (2012). Producción de café en comunidades indígenas de México: beneficios sociales y ambientales. *Agro Productividad, 5*(2), 34–41. https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/402

Aloysius Ngong, C. (2022). Has bank credit really impacted agricultural productivity in the Central African Economic and monetary community? *Asian Journal of Economics and Banking, 7*(3), 435–453. https://doi.org/10.1108/AJEB-12-2021-0133

Altieri, M. A., & Nicholls, C. I. (2013). Agroecología y resiliencia al cambio climático: principios y consideraciones metodológicas. *Agroecología, 8*(1), 7–20. https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/182921

Altieri, M. A., Nicholls, C. I., Henao, A., & Lana, M. A. (2015). Agroecology and the design of climate change-resilient farming systems. *Agronomy for Sustainable Development, 35*(3), 869–890. https://doi.org/10.1007/s13593-015-0285-2

Akter, S., & Mallick, B. (2013). The poverty-vulnerability-resilience nexus: Evidence from Bangladesh. *Ecological Economics, 96*, 114–124. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2013.10.008

Asociación Mexicana de la Cadena Productiva del Café. (2017). *Análisis del mercado de consumo de café en México 2016*. Euromonitor International Ltd. https://amecafe.org.mx/wp-content/uploads/2017/08/Euromonitor_Informe_An%C3%A1lisis-de-consumo-2016-AMECAFE-Final.pdf

Bedeke, S. B., Vanhove, W., Wordofa, M. G., Natarajan, K., & Van Damme, P. (2020). Vulnerability to climate change among maize-dependent smallholders in three districts of Ethiopia. *Environment, Development and Sustainability, 22*, 693–718. https://doi.org/10.1007/s10668-018-0215-y

Cabell, J. F., & Oelofse, M. (2012). An indicator framework for assessing agroecosystem resilience. *Ecology and Society, 17*(1), Article 18. http://dx.doi.org/10.5751/ES-04666-170118

Campbell, D. (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*, 220–234. https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2020.10.027

Centro Nacional de Prevención de Desastres. (2015). *Índice de resiliencia a nivel municipal* (publicación N° 1). Dirección de Análisis y Gestión de Riesgos, Subdirección de Estudios Económicos y Sociales. http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/descargas/Metodologias/Resiliencia.pdf

Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria. (2020, diciembre 17). *Los apoyos directos a los productores de café y sus resultados*. Cámara de Diputados. http://intra.cedrssa.gob.mx/post_los_apoyos_directos_a_los_-n-productores_de_cafn-n-_y_sus_resultados.htm

Chapagain, T., & Raizada, M. N. (2017). Impacts of natural disasters on smallholder farmers: gaps and recommendations. *Agriculture & Food Security, 6*, Article 39. https://doi.org/10.1186/s40066-017-0116-6

Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2016). *Observatorio demográfico 2016: Proyecciones de población*. CEPAL.

Comisión Nacional Forestal. (2010). *Manual y procedimientos para el muestreo de campo Re-muestreo 2010*. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social. (s.f.). *Medición de la pobreza*. Recuperado el 6 de octubre, 2018 de https://www.coneval.org.mx/Medicion/Paginas/Preguntas-frecuentes.aspx

Comisión Nacional de los Salarios Mínimos. (s.f.). *Evolución del salario mínimo*. Recuperado el 31 de diciembre, 2015 de https://www.gob.mx/conasami/documentos/evolucion-del-salario-minimo?idiom=es

Cutter, S. L., Burton, C. G., & Emrich, C. T. (2010). Disaster resilience indicators for benchmarking baseline conditions. *Journal of Homeland Security and Emergency Management, 7*(1), 1–22. https://doi.org/10.2202/1547-7355.1732

de Sousa, K., van Zonneveld, M., Holmgren, M., Kindt, R., & Ordoñez, J. C. (2019). The future of coffee and cocoa agroforestry in a warmer Mesoamerica. *Scientific Report, 9*, Article 8828. https://doi.org/10.1038/s41598-019-45491-7

Eakin, H., Benessaiah, K., Barrera, F. J., Cruz-Bello, G. M., & Morales, H. (2012). Livelihoods and landscapes at the threshold of change: disaster and resilience in a Chiapas coffee community. *Regional Environmental Change, 12*, 475–488. https://doi.org/10.1007/s10113-011-0263-4

Espinoza-García, J. A., Uresti-Gil, J., Vélez-Izquierdo, A., Moctezuma-López, G., Uresti-Durán, D., Góngora-González, S. F., & Inurreta-Aguirre, H. D. (2016). Rentabilidad y productividad potencial del café (*Coffea arabica*) en el trópico mexicano. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 7*(8), 2011–2014. https://doi.org/10.29312/remexca.v7i8.133

Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura. (2016). *Panorama agrolimentario. Café 2016*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/200636/Panorama_Agroalimentario_Caf__2016.pdf

Folke, C. (2016). Resilience (Republished). *Ecology and Society, 21*(4), Article 44. https://doi.org/10.5751/ES-09088-210444

Food and agriculture Organization of the United Nations. (n.d.). *Sustainable agricultural mechanization*. Retrieved November 22, 2019 from http://www.fao.org/sustainable-agricultural-mechanization/overview/what-is-sustainable-mechanization/en/

Gao, J., Barzel, B., & Barabási, A. L. (2016). Universal resilience patterns in complex networks. *Nature, 530*(7590), 307–312. https://doi.org/10.1038/nature16948

García Alaniz, N., Schmidt, M., Maeda, P., Equihua Zamora, M., Pérez Maqueo, O., & Equihua Benítez, J. (2016). *Sistema nacional de monitoreo de la biodiversidad. Monitoreo de degradación y cambios en la diversidad biológica*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. https://www.biodiversidad.gob.mx/media/1/monitoreo/snmb/files/SNMB_preliminar.pdf

Getachew, M., Verheyen, K., Tolassa, K., Tack, A. J. M., Hylander, K., Ayalew, B., Boeckx, P., Landuyt, D., & De Frenne, P. (2023). Effects of shade tree species on soil biogeochemistry and coffee bean quality in plantation coffee. *Agriculture, Ecosystems & Environment, 347*, Article 108354. https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108354

Gliessman, S. R. (2002). *Agroecología. Procesos ecológicos en agricultura sostenible*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.

Gómez Navarro, D. A. (2019). Uso de las tecnologías de la información y la comunicación por universitarios mayas en un contexto de brecha digital en México. *Región y Sociedad, 31*, Artículo e1130. https://doi.org/10.22198/rys2019/31/1130

Hausermann, H. (2014). Maintaining the coffee canopy: understanding change and continuity in Central Veracruz. *Human ecology, 42*, 381–394. https://doi.org/10.1007/s10745-014-9644-x

Infante, G. S., & Zarate de Lara, G. P. (2013). *Métodos estadísticos. Un enfoque interdisciplinario* (3ª ed.). Colegio de Postgraduados.

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2023). *Climate change 2023. Synthesis report. Summary for policy makers*. https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_SPM.pdf

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (s.f.a). *Climatología*. Recuperado el 10 de octubre, 2018 de https://www.inegi.org.mx/temas/climatologia/

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (s.f.b). *Edafología*. Recuperado el 10 de octubre, 2018 de https://www.inegi.org.mx/temas/edafologia/

International Coffee Organization. (n.d.). *Total production by all exporting countries*. Retrieved May 28, 2023 from https://www.ico.org/historical/1990%20onwards/PDF/1a-total-production.pdf

Hicks Masterson, J., Gillis Peacock, W., Van Zandt, S. S., Grover, H., Field Schwarz, L., & Cooper, T. C. (2014). *Planning for community resilience. A handbook for reducing vulnerability to disasters*. Island Press.

Jardel Peláez, E. J. (2015). *Guía para la caracterización y clasificación de hábitats forestales*. Comisión Nacional Forestal, & Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/49/6661Gu%C3%ADa%20web%20para%20la%20caracterizaci%C3%B3n%20y%20clasificaci%C3%B3n%20final.pdf

Jurburg, S. D., Shek, K. L., & McGuire, K. (2020). Soil microbial composition varies in response to coffee agroecosystem management. *FEMS Microbiology Ecology, 96*(9), Article fiaa164. https://doi.org/10.1093/femsec/fiaa164

Kliem, L., & Sievers-Glotzbach, S. (2022). Seeds of resilience: the contribution of commons-based plants breeding and seed production to the social-ecological resilience of the agricultural sector. *International Journal of Agricultural Sustainability, 20*(4), 595–614. https://doi.org/10.1080/14735903.2021.1963598

Kusumastuti, R. D., Viverita, Husodo, Z. A., Suardi, L., & Danarsari, D. N. (2014). Developing a resilience index towards natural disasters in Indonesia. *International Journal of Disaster Risk Reduction, 10*, 327–340. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2014.10.007

Leyva Mir, G. (2010). Principales enfermedades del café (*Coffea arabica* L.). *AgroProductividad, 3*(2), 12–23. https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/590

Libert-Amico, A., & Paz-Pellat, F. (2018). Del papel a la acción en la mitigación y adaptación al cambio climático: la roya del cafeto en Chiapas. *Madera y Bosques, 24*(Esp), Article e2401914. https://doi.org/10.21829/myb.2018.2401914

Lin, B. B. (2011). Resilience in agriculture through crop diversification: Adaptive management for environmental change. *Bioscience, 61*(3), 183–193. https://doi.org/10.1525/bio.2011.61.3.4

Mancini Teixeira, H., Bianchi, J. J. A. F., Cardoso, I. M., Titonell, P., & Peña-Claros, M. (2021). Impact of agroecological management on plant diversity and soil-based ecosystem services in pasture and coffee systems in the Atlantic forest of Brazil. *Agriculture, Ecosystem & Environment, 305*, Article 107171. https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107171

Morales-Hernández, R. (2015). Análisis regional de la marginación en el estado de Guerrero, México. *Papeles de Población, 84*, 251–274. https://rppoblacion.uaemex.mx/article/view/8322/6993

Nord, A., Bekunda, M., McCormack, C., & Snapp, S. (2022). Barriers to sustainable intensification: overlooked disconnects between agricultural extension and farmer practice in maize-legume cropping systems in Tanzania. *International Journal of Agricultural Sustainability, 20*(4), 576–594. https://doi.org/10.1080/14735903.2021.1961416

Nyberg, Y., Wetterlind, J., Jonsson, M., & Öborn, I. (2021). Factors affecting smallholder adoption of adaptation and coping measures to deal with rainfall variability. *International Journal of Agricultural Sustainability, 19*(2), 175–198. https://doi.org/10.1080/14735903.2021.1895574

Organista, J., Sandoval Silva, M., McAnally Salas, L., & Lavinge, G. (2016). Estimación de las habilidades digitales con propósito educativo de estudiantes de dos universidades públicas mexicanas. *EDUCATEC. Revista Electrónica de Tecnología Educativa, 57*, 46–62. https://doi.org/10.21556/edutec.2016.57.673

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2009). *Guía para la descripción de suelos* (4ª ed.). https://www.fao.org/3/a0541s/a0541s.pdf

Peralta Solorio, E. F. (2016). La productividad de la población económicamente activa (PEA) en México: historia, panorama actual y perspectiva. *Entreciencias, 4*(10), 165–175. https://doi.org/10.21933/J.EDSC.2016.10.180

Pérez, G. (2021). *Impactos sociales de los caminos rurales en Mesoamérica* (Serie Comercio Internacional N° 165). Comisión Económica para América Latina y el Caribe. https://hdl.handle.net/11362/47566

Perfecto, I., Hajian-Forooshani, Z., Iverson, A., Irizarry, A. D., Lugo-Perez, J., Medina, N.,Vaidya, C., White, A., & Vandermeer, J. (2019). Response of coffee farms to hurricane Maria: Resistance and resilience from and extreme climatic event. *Scientific Reports, 9*, Article 15668. https://doi.org/10.1038/s41598-019-51416-1

Peterson, C. A., Eviner, V. T., & Gaudin, A. C. M. (2018). Ways forward for resilience research in agroecosystems. *Agricultural Systems, 162*, 19–27. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.01.011

Qasim, S., Qasim, M., Prasad Shrestha, R., Nawaz Khan, A. N., Tun, K., & Ashraf, M. (2016). Community resilience to flood hazards in Khyber Pukhthunkhwa province of Pakistan. International. *Journal of Disaster Risk Reduction, 18*, 100–106. http://dx.doi.org/10.1016%2Fj.ijdrr.2016.03.009

Quiroz Guerrero, I., Pérez Vázquez, A., Landeros Sánchez, C., Gallardo López, F., Velasco Velasco, J., & Benítez Badillo, G. (2021). Análisis bibliométrico del conocimiento científico sobre resiliencia de agroecosistemas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 12*(4), 617–628. https://doi.org/10.29312/remexca.v12i4.2516

Ramírez Soto, A. F., Hernández Martínez, G., & Gutiérrez Sosa, G. H. (Eds.). (2022). *Regiones cafetaleras de Veracruz. Aroma de la biodiversidad*. Pronatura México A. C. https://www.pronaturaveracruz.org/sellodebiodiversidad/resources/folletos/regiones_cafetaleras.pdf

Renard, M.-C. (2010). The Mexican coffee crisis. *Latin America Perspectives, 37*(2), 21–33. https://doi.org/10.1177/0094582X09356956

Rocha, J. C., Peterson, G., Bodin, Ö., & Levin, S. (2018). Cascading regime shift within and across scales. *Science, 362*(6421), 1379–1383. https://doi.org/10.1126/science.aat7850

Rodríguez Suárez, L., Cuarán Pinto, S. P., & Suárez Salazar, J. C. (2019). Soil macrofauna and edaphic properties in coffee production systems in Southern Colombia. *Floresta e Ambiente, 26*(3), Article e20180334. https://doi.org/10.1590/2179-8087.033418

Rodríguez Toledo, L. E., Cárcamo Mallen, R. W., & Álvarez Macías, A. (2019). La opción de la producción orgánica ante la crisis del café: el caso de los pequeños productores de Chilón, Chiapas, México. *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente, 19*(37), 45–72. https://sociedadesruralesojs.xoc.uam.mx/index.php/srpma/article/view/409/389

Rose, A. (2007). Economic resilience to natural and man-made disasters: Multidisciplinary origins and contextual dimensions. *Environmental Hazards 7*(4), 383–398. https://doi.org/10.1016/j.envhaz.2007.10.001

Rose, A. Z. (2009). *Economic resilience to disasters*. University of Southern California.

Roy, R., Gain, A. K., Samat, N., Hurlbert, M., Leong Tan, M., & Weng Chan, N. (2019). Resilience of coastal agricultural systems in Bangladesh: assessment for agroecosystem stewardship strategies. *Ecological indicators, 106*, Article 105525. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105525

Salgado García, S., Palma López, D. J., Lagunes Espinoza, L. D. C., & Castelán Estrada, M. (2013). *Manual para el muestreo de suelos, plantas y aguas e interpretación para la producción sostenible de alimentos*. Colegio de Postgraduadados.

Schmitt, L., & Perfecto, I. (2021). Coffee leaf litter decomposition: Short term home-field advantage in shaded coffee agroecosystems. *Applied Soil Ecology, 161*, Article 103854. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103854

Schmuck, A. (2000). An act of Allah: religious explanations for floods in Bangladesh as survival strategy. *International Journal of Mass Emergencies & Disasters, 18*(1), 85–95. https://doi.org/10.1177/028072700001800105

Secretaría del Bienestar. (2023). *Informe anual sobre la situación de pobreza y rezago social 2023. Veracruz. Tezonapa*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/795812/30173-Tezonapa23.pdf

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2022, diciembre). *Avance de siembras y cosechas. Café cereza*. https://nube.siap.gob.mx/avance_agricola/

Silici, L., Ndabe, P., Friedrich, T., & Kassam, A. (2011). Harnessing sustainability, resilience and productivity through conservation agriculture: the case of Likoti in Lesotho. *International Journal of Agricultural Sustainability, 9*(1), 137–144. https://doi.org/10.3763/ijas.2010.0555

Simane, B., Zaitchik, B. F., & Ozdogan, M. (2013). Agroecosystem analysis of the Choke Mountain watersheds, Ethiopia. *Sustainability, 5*(2), 592–616. https://doi.org/10.3390/su5020592

Singh, R. P., Prasad, P. V. V., & Reddy, K. R. (2015). Climate change: Implications for stakeholders in genetic resources and seed sector. *Advances in Agronomy 129*, 117–180. https://doi.org/10.1016/bs.agron.2014.09.002

Solano-Alonso, R., Altamirano-Cárdenas, R. J., Santoyo-Cortés, V. H., & Muñoz-Rodríguez, M. (2021). El seguro agropecuario como instrumento de política pública para la gestión de riesgos en México. *Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional, 31*(57), 1–25. https://doi.org/10.24836/es.v31i57.1100

Titonell, P. (2013). Livelihood strategies, resilience, and transformability in African agroecosystems. *Agricultural systems, 126*, 3–14. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2013.10.010

Twigg, J. (2007). *Características de una comunidad resiliente ante los desastres*. Departamento para el Desarrollo Internacional del Gobierno del Reino Unido.

Viguera, B., Alpizar, F., Harvey, A. C., Martínez-Rodríguez, M.R., Saborío-Rodríguez. M., & Contreras, L. (2019). Percepciones de cambio climático y respuestas adaptativas de pequeños agricultores en dos paisajes guatemaltecos. *Agronomía Mesoamericana, 30*(2), 313–331. https://doi.org/10.15517/am.v30i2.33938

Viguera, B., Alpizar, F., Harvey, A, C., Martínez-Rodríguez, R., & Saborío-Rodríguez, M. (2019). Percepciones de cambio climático y respuestas adaptativas de caficultores costarricenses de pequeña escala. *Agronomía Mesoamericana, 30*(2), 333–351. https://doi.org/10.15517/am.v30i2.32905

Walker, B., Holling, C. S., Carpenter, S. R., & Kinzig, A. (2004). Resilience, adaptability and transformability in social-ecological systems. *Ecology and Society, 9*(2), Article 5. http://www.ecologyandsociety.org/vol9/iss2/art5/

World Coffee Research. (s.f.). *Catálogo de variedades de café. Un catálogo de las variedades de café Arábica y Robusta de todo el mund*o. Recuperado el 28 de mayo, 2023 de https://varieties.worldcoffeeresearch.org/es

Zamarripa Colmenero, A., & Escamilla Prado, E. (2002). *Variedades de café en México: origen, características y perspectivas*. Universidad Autónoma Chapingo.