

SISTEMAS AGROFORESTALES DE CAFÉ COMO ALTERNATIVA DE PRODUCCIÓN SUSTENTABLE PARA PEQUEÑOS PRODUCTORES DE MÉXICO

COFFEE AGROFORESTRY SYSTEMS AS A SUSTAINABLE PRODUCTION ALTERNATIVE FOR SMALL PRODUCERS OF MEXICO

Patricia **Ruiz-García**¹; Jesús David **Gómez-Díaz**²; Eduardo **Valdes-Velarde**³ y Alejandro Ismael **Monterroso-Rivas**⁴

Resumen

Los sistemas agroforestales de café son considerados como un modo de producción estratégico enfocado en el desarrollo sustentable, debido a que es el modo de subsistencia de pequeños productores y de alrededor de 30 grupos indígenas del país. A pesar de ello, existen múltiples amenazas sociales, económicas y ambientales que ocasionan una reducción en la superficie dedicada a este modo de producción. Por lo tanto, es indispensable resaltar los beneficios ambientales, sociales y económicos que generan estos sistemas en comunidades

marginadas para evitar que se reduzca aún más la superficie con dicho sistema. El objetivo del presente ensayo fue analizar el papel que juegan los sistemas agroforestales de café en el desarrollo sustentable de pequeños productores de México mediante la técnica de investigación documental para tener evidencia científica sobre los principales beneficios ambientales, sociales y económicos e identificar las principales amenazas con el objeto de ayudar a futuras investigaciones en el mejoramiento y conservación de los sistemas agroforestales de café. Se encontró que este sistema genera

¹ Posgrado en Agricultura Multifuncional para el Desarrollo Sostenible. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Km 38.5 carretera México-Texcoco, Chapingo, México C.P. 56230. E-mail: patyrug31@gmail.com

² Departamento de suelos. Universidad Autónoma Chapingo. Km 38.5 carretera México-Texcoco, Chapingo, México C.P. 56230. E-mail: dgomez@correo.chapingo.mx

³ Centro de Agroforestería para el Desarrollo Sustentable. Universidad Autónoma Chapingo. Km 38.5 carretera México-Texcoco, Chapingo, México C.P. 5623. E-mail: valdevela@gmail.com

⁴ Departamento de suelos. Universidad Autónoma Chapingo. Km 38.5 carretera México-Texcoco, Chapingo, México C.P. 56230. E-mail: aimrivas@correo.chapingo.mx

una gama de servicios ecosistémicos, entre los que resaltan el potencial de captura de CO₂ y la capacidad para la conservación de la biodiversidad nativa. El conocimiento tradicional de los campesinos influye en la conservación y mantenimiento de los sistemas agroforestales de café. A pesar de las múltiples amenazas sociales, los pequeños productores dedicados a este modo de producción se resisten a abandonar esta práctica porque es una vía para subsistir y mantener su sistema de reproducción social, sin importar los retos que se presenten. Los pequeños productores que han logrado un aumento significativo en su economía son aquellos que están organizados en cooperativas para producir cafés orgánicos especializados de alta calidad con un enfoque de exportación. La migración, edad avanzada de los productores, mal manejo del sistema, enfermedades fitosanitarias y el cambio climático son las principales amenazas identificadas. Existe una amplia evidencia científica sobre los beneficios ambientales que aportan los sistemas agroforestales de café en México; sin embargo, es necesario ampliar la información en el ámbito social y económico para obtener estrategias que ayuden a los pequeños productores de comunidades marginadas a alcanzar el desarrollo sustentable que tome en cuenta el mejoramiento de su calidad de vida, la reducción de las principales amenazas que lo aquejan y la disminución de la vulnerabilidad ante el cambio climático actual y futuro.

Palabras clave: servicio ecosistémico, beneficio ambiental, beneficio económico, amenazas, cooperativas.

Abstract

Coffee agroforestry systems are considered as a strategic mode of production focused on sustainable development, because it is the livelihood of small producers and about 30 indigenous groups in the country. Despite this, there are multiple social, economic and environmental threats that have generated a

reduction in the area dedicated to this mode of production. Therefore, it is essential to highlight the environmental, social and economic benefits that these systems have generated in marginalized communities to avoid further reducing the surface with said sustainable production system. The objective of this essay is to analyze the role that coffee agroforestry systems have played in the sustainable development of small producers in Mexico through the documentary research technique to have scientific evidence on the main environmental, social and economic benefits and identify the main threats to guide future research in order to improve and conserve coffee agroforestry systems. It was found that this system has generated a range of ecosystem services, among which the potential for CO₂ capture and the capacity for the conservation of native biodiversity stand out. Despite the multiple social threats, small producers dedicated to this mode of production are reluctant to abandon this practice because it is a way to survive and maintain their social reproduction system, regardless of the challenges that arise. The small producers that have managed to generate a significant increase in their economy are those who have organized in cooperatives to produce specialized organic coffees of high quality with an export focus. Migration, advanced age of producers, poor management of the system, phytosanitary diseases and climate change are the main threats identified. There is ample scientific evidence on the environmental benefits of coffee agroforestry systems in Mexico; however, it is necessary to expand the information in the social and economic field to obtain strategies that help small producers from marginalized communities to achieve sustainable development, taking care of improving their quality of life, reducing the main threats that afflict them and the reduction of vulnerability to current and future climate change.

Key words: ecosystem service, environmental benefit, economic benefit, threats, cooperatives.

INTRODUCCIÓN

El 90% de la superficie en México dedicada a la actividad cafetalera se centra en la utilización de árboles nativos e introducidos de interés económico para sombra del cafeto. Este modo de producción alternativo lo manejan principalmente pequeños productores y alrededor de 30 grupos indígenas del país (Escamilla y Díaz, 2016).

Se estima que el 95.4% de todos los productores se incluyen en la categoría de campesinos con superficies de cultivo que no sobrepasan las 5 ha. Los estados de Chiapas, Veracruz y Oaxaca son los principales productores de café bajo sombra (Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria [CEDRSSA, 2018]).

Así mismo, los sistemas agroforestales de café se consideran ejes del desarrollo comunitario y regional, ya que tienen la capacidad de mantener cadenas productivas, generar divisas, empleos, conservar la biodiversidad y proporcionar una serie de servicios ecosistémicos a la sociedad (Escamilla et al., 2005). Además de generar una gama de beneficios ambientales, sociales y económicos que merecen especial atención y mayor impulso (Ruelas-Monjardín, Nava-Tablada, Cervantes y Barradas, 2014). Sin embargo, a pesar de los múltiples servicios que proporciona, la cafecultura bajo sombra está perdiendo importancia, debido al aumento del cultivo a pleno sol, incremento de caña de azúcar y agricultura convencional (Machado y Ríos, 2016).

Por lo que el presente ensayo tiene como objetivo analizar el papel que juegan los sistemas agroforestales de café en el desarrollo sustentable de pequeños productores de México mediante la técnica de investigación documental para tener evidencia científica sobre los principales beneficios ambientales, sociales y económicos e identificar las principales amenazas con el objeto de ayudar a futuras investigaciones en el mejoramiento y conservación de los sistemas agroforestales de café.

MÉTODOS Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

Se empleó la técnica de investigación documental (Posada-González, 2017) para analizar el papel que juegan los sistemas agroforestales de café como alternativa de producción en el desarrollo sustentable de pequeños productores de México. Para ello, se sistematizó, organizó y analizó información de artículos originales e información oficial generados en México y reportados en la literatura científica en los últimos 15 años. En primera instancia, se decidió abordar el concepto y

evolución del desarrollo sustentable para dar pauta al análisis de la importancia de los sistemas agroforestales de café como alternativa de producción sustentable en comunidades marginadas. Posteriormente, se discutió sobre los beneficios ambientales, sociales y económicos que tienen los sistemas agroforestales de café en dichas comunidades; así mismo, se investigaron las principales amenazas que afectan a los sistemas agroforestales de café y de qué manera pueden ser minimizadas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Concepto y evolución del desarrollo sustentable

El concepto de desarrollo sustentable que se documentó en el informe de Brundtland en 1987 a pesar de tener definiciones e interpretaciones que eran controvertidas e incluso difusas, ayudaron a establecer el hecho de que los sistemas de producción deben considerar aspectos sociales, económicos y naturales para un mejor funcionamiento del sistema (Saura y Hernández, 2008).

A pesar de ello, el término de sustentabilidad bajo este enfoque no fue operativo, principalmente por la dificultad que implicó entender los aspectos filosóficos e ideológicos de la sustentabilidad en la capacidad de tomar decisiones al respecto (Aragonés, Izurieta y Raposo, 2003).

Por tal motivo, Sarandón et al. (2006) generaron una definición de agricultura sustentable, el cual considera un enfoque multidisciplinario y deja de lado la visión reduccionista. Dicha definición establece que la agricultura sustentable *“permite mantener en el tiempo un flujo de bienes y servicios que satisfagan las necesidades socioeconómicas y culturales de la población, dentro de los límites biofísicos que establece el correcto funcionamiento de los sistemas naturales (agroecosistemas) que lo soportan”*.

Esta definición, a pesar de ser más realista, olvidó el hecho de que existen elementos externos que afecta de alguna u otra manera al sistema natural que soporta al sistema. Por lo que, se generó una nueva corriente de pensamiento con una mirada holística, ética y sistémica, que analiza las relaciones que se dan entre el todo y las partes en la organización de un sistema y toma en cuenta las relaciones entre los ámbitos globales, locales y regionales (Urbaniec, Mikulcic, Rosen y Duic, 2017).

Es importante mencionar que esta nueva idea de desarrollo sustentable considera al cambio climático como un elemento externo, el cual, es una realidad que debe afrontarse desde el ámbito local, lo cual obliga a contemplar la sustentabilidad local y nacional en estrecha relación con las dinámicas de la globalización económica y con la problemática ecológica entendida en su escala macro (Murga-Menoyo y Novo, 2017).

Por esta razón, la Agenda 2030 para el Desarrollo Sustentable, establece una visión transformadora hacia la sustentabilidad económica, social y ambiental mediante la implementación de 17 objetivos de desarrollo sustentable, siendo el objetivo 13 el que insta a adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos (Naciones Unidas [NU, 2016]).

De acuerdo con el Panel intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, 2012) el avance hacia un desarrollo sustentable y resistente en el contexto de los fenómenos climáticos extremos cambiantes, puede mejorarse con enfoques destinados a la gestión de riesgo de desastres, adaptación y mitigación para fomentar nuevos patrones de respuesta. Por lo que es importante que estos aspectos sean considerados en investigaciones que impliquen fomentar el desarrollo sustentable.

Recientemente surgió un nuevo concepto denominado desarrollo territorial que Murga-Menoyo y Novo (2017) lo definen como un amplio mosaico de relaciones, nexos, vínculos económicos y sociales, que configuran una realidad compleja que está enfrentando problemas como el cambio climático.

El desarrollo territorial busca la transformación productiva e institucional desde el ámbito local para impulsar las políticas tecnológicas que fomentan las potencialidades de cada zona, y considera a los recursos ambientales como activos de desarrollo (Boisier, 2015). Sin embargo, la falta de una adecuada comprensión del territorio y sus implicaciones puede mermar la capacidad de incidencia de las políticas públicas en el presente, mientras que ignorar las consideraciones de sustentabilidad puede limitar los alcances de éstas en el futuro.

Tomando en consideración lo expuesto anteriormente, el actual gobierno de México, en la Gaceta Parlamentaria 2019-2024, estableció el eje transversal 3 denominado “Territorio y desarrollo sustentable”, que plantea que todas las acciones que se realicen en esta administración para apoyar a los sectores desprotegidos deberán ser sustentables económica, social y ambientalmente. De igual forma, menciona que toda política pública deberá contemplar, entre sus diferentes consideraciones, la vulnerabilidad ante el cambio climático, el fortalecimiento de la resiliencia y las capacidades de adaptación y mitigación, especialmente si impacta a las poblaciones o regiones más vulnerables (Plan Nacional de Desarrollo [PND, 2019]).

Una alternativa de producción que puede dar respuesta a las diversas políticas públicas y al concepto actual de desarrollo sustentable, son los sistemas agroforestales que pueden ayudar a las comunidades más vulnerables a tener herramientas para hacer frente a las diversas crisis tanto ambientales como económicas (Dendoncker et al., 2018). Debido a su capacidad para aumentar la contribución de la diversidad funcional y los servicios ecosistémicos a la producción (Duru, Therond y Fares, 2015).

Este es el caso de los sistemas agroforestales de café, los cuales, son considerados como ejes del desarrollo comunitario y regional, ya que tienen la capacidad de mantener cadenas productivas, generar divisas, empleos, conservar la biodiversidad y proporcionar una serie de servicios ecosistémicos a la sociedad (Escamilla et al., 2005).

Sistemas agroforestales de café y el desarrollo sustentable

Los sistemas agroforestales de café son un modo de producción estratégico que se enfoca en el desarrollo sustentable, debido a que es el modo de subsistencia de pequeños productores y de alrededor de 30 grupos indígenas del país; se estima que el 95.4% de todos los productores se incluyen en la categoría de campesinos con superficies de cultivo que no sobrepasan las 5 ha; los estados de Chiapas, Veracruz y Oaxaca son los principales productores de café bajo sombra (CEDRSSA, 2018).

Se sabe que estos sistemas son capaces de mantener la biodiversidad de la zona, generar beneficios del ecosistema y bienestar humano (Vallejo-Ramos, Moreno-Calles y Casas, 2016). El tipo de manejo que se realiza en la mayoría de las fincas cafetaleras bajo sistemas agroforestales es mediante técnicas tradicionales heredadas de generación en generación, con poca o nula tecnología agrícola, debido principalmente a la falta de recursos económicos y al marcado relieve que dificulta, en algunos casos, el acceso a las parcelas cafetaleras (Bautista, Ordaz, Gutiérrez, Gutiérrez y Cajuste, 2018).

De igual forma, existe una incorporación de elementos culturales y religiosos, así como una cosmovisión distinta sobre el manejo de su sistema, que permite que se genere de manera fortuita el desarrollo sustentable local que beneficia a las unidades familiares (Guevara, Téllez y Flores, 2015).

De acuerdo con Moguel y Toledo (1999) existen cinco formas de manejo de las fincas cafetaleras en México clasificadas como sistema de montaña, sistema de policultivo tradicional, sistema comercial, sistema especializado y sistema intensivo a pleno sol. Los dos primeros consisten en el uso de especies

nativas para sombra del café, la diferencia entre ellos es que el primero no tiene manejo, mientras que, en el segundo, el manejo es indispensable. En cuanto al sistema comercial, este consiste en la utilización de especies nativas o introducidas con alto valor comercial que funcionan para sombra del café.

El uso del sistema especializado consiste en la eliminación total de la diversidad de especies de sombra y promueve la introducción de nuevas variedades altamente productivas, mientras que el cultivo a pleno sol elimina completamente el uso de árboles para sombra. Sin embargo, la economía de los productores que implementan estos sistemas es altamente dependiente del café y por tanto vulnerable a los altibajos en el precio de éste (Escamilla y Díaz, 2016).

Los productores que a través del tiempo se han sostenido económicamente e incluso desarrollarse, son los que han impulsado los policultivos comerciales y tradicionales, cuyos ingresos netos son positivos y generan ventajas adicionales por los aportes en alimentación, medicina, vivienda y otros (Escamilla y Díaz, 2016). Esto se debe a que los sistemas de policultivo tradicional y comercial al ser considerados como sistemas agroforestales, tienen un enfoque integrado para el uso sustentable de la tierra, debido a su producción y beneficios ambientales (Nair, Kumar y Nair 2009).

A pesar de todos los beneficios que aportan los sistemas agroforestales de café para alcanzar el desarrollo rural sustentable, la promoción de la agricultura intensiva pone en peligro su permanencia. De acuerdo con datos del SIAP, a nivel nacional, la superficie sembrada de café bajo sombra disminuyó drásticamente de 2010 a 2017 de 781,015.99 ha a 717,388 ha (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2018). Por lo tanto, es indispensable resaltar los beneficios ambientales, sociales y económicos que generan estos sistemas en comunidades marginadas para evitar que se reduzca aún más la superficie con dicho sistema de producción sustentable.

Beneficios ambientales

En la mayoría de las regiones cafetaleras de México, el cultivo de café bajo sombra contribuye a la conservación de la biodiversidad de la vegetación nativa de la zona (Ruelas-Mojardín et al., 2014). Se considera que la riqueza de especies nativas preservadas en los sistemas agroforestales de café está influenciada por la riqueza existente en los bosques asociados, pero el principal impulsor es el pequeño productor que ha tratado de preservar los beneficios de los componentes y funciones de los ecosistemas (Vallejo-Ramos et al., 2016).

De acuerdo con diversos investigadores (De Beenhouwer, Aerstsb y Honnay, 2013; Machado y Ríos, 2016; Jha, Bacon, Philpott, Médez, Läderacg y Rice, 2014) los sistemas agroforestales de café proveen una gama de servicios

ecosistémicos entre los que destacan la polinización, control de plagas, regulación climática, secuestro de carbono, almacenamiento de nutrientes y conservación de la biodiversidad de especies nativas (*Tabla 1*).

Tabla 1. Principales servicios ecosistémicos proporcionados por los sistemas agroforestales de café en México

Servicio ecosistémico	Descripción	Fuente consultada
Polinización	-Aumento en la riqueza de especies y abundancia de polinizadores.	Moreno-Calles, Toledo y Casas (2013)
Control de plagas	-Mayor abundancia de individuos y especies de predadores -Disminución de plagas.	Hernández-Martínez y Velázquez-Premio (2016)
Regulación climática	-Reducción de la temperatura ambiente y del suelo. -Disminución de la radiación solar fotosintéticamente activa. -Velocidad del viento más baja. -Menores tasas de evaporación del suelo y evapotranspiración de la planta. -Regulación hídrica -Reducción de daños por heladas. -Disminución de fluctuaciones de temperatura y radiación solar.	Lin (2007) Ruelas-Monjardín et al. (2014)
Secuestro de carbono y almacenamiento de nutrientes	- Aumento en el almacenamiento de carbono sobre el suelo y carbono orgánico total.	Masuhara et al. (2015) Soto-Pinto y Jiménez-Ferrer (2018) Espinoza-Domínguez, Krishnamurthy, Vázquez-

Servicio ecosistémico	Descripción	Fuente consultada
Conservación de biodiversidad de especies	<ul style="list-style-type: none"> -Incremento en la mineralización de nitrógeno -Disminución de contaminación de nutrientes. -Mayor actividad microbiana en el suelo. -Aumento en el pH del suelo y capacidad de intercambio catiónico, calcio y magnesio. -Mayores concentraciones de nitrógeno en las hojas. -Incremento en la disponibilidad de fósforo disponibles para cultivos agrícolas. 	Alarcón y Torres-Rivera, (2012) Pineda-López, Ortiz-Ceballos y Sánchez-Velásquez (2016)
	<ul style="list-style-type: none"> -Incremento en la riqueza y abundancia de especies nativas de flora y fauna. 	Vallejo-Ramos et al. (2016) Leyequien y Toledo (2009) García, Valdez, Luna y López (2015) Macip-Ríos y Casas-Andreu (2008) Escamilla-Prado et al. (2012)

Según Bacon et al. (2014) la producción de café bajo sombra también genera oportunidades de recreación, esparcimiento, cultura, mejoramiento de la sustentabilidad y resiliencia de los sistemas agrícolas. Así mismo, son resistentes a los aumentos de temperatura esperados en el futuro cercano como resultado del cambio climático (Souza et al., 2012).

El potencial de captura de CO₂ que tienen los sistemas agroforestales de café para mitigar el cambio climático actual, genera que sea uno de los servicios ecosistémicos más estudiados en la literatura científica, gracias al contenido potencial de este elemento en las múltiples especies de árboles y arbustos que están íntimamente interrelacionados en el sistema (Masuhara et al. 2015). En algunos casos el carbono almacenado en la biomasa viva, materia orgánica

muerta y materia orgánica del suelo sobrepasa los 100 MgC/ha (Soto-Pinto y Jiménez-Ferrer, 2018).

El manejo tradicional de los sistemas agroforestales de café, aunado con un manejo moderno de la producción agrícola, pueden coexistir de manera conjunta para mantener y mejorar el sistema tradicional, con el objeto de mantener y aumentar los servicios ecosistémicos y la integridad del ecosistema al tiempo que mejora la calidad de vida de los pequeños productores de café (Vallejo-Ramos et al., 2016).

Un ejemplo, es el manejo que realizan las comunidades indígenas de la región montañosa de la parte norte del estado de Chiapas, en donde utilizan para sombra del cafetal a más de la mitad de los árboles de especies nativas diversificadas; aprovechan la sucesión secundaria para sombra temporal, lo que genera una conservación de la biodiversidad nativa y una serie de servicios ecosistémicos (Soto-Pinto et al. 2007).

Beneficios sociales

La crisis económica del café a principios de los 90s provocada por la inestabilidad del precio internacional del producto en conjunto con la desaparición del Instituto Mexicano del Café (INMECAFE) indujeron a que las comunidades marginadas que se dedicaban a esta actividad experimentarían una fuerte migración, principalmente de los integrantes más jóvenes. Esto ocasionó que los pequeños productores que quedaban tuvieran que realizar ajustes en sus modos de producción local (Murguía, Duran, Rivera y Barton, 2014).

Los productores que quedaron al frente de las fincas cafetaleras bajo sombra tienen una edad que sobrepasa los 45 años, con variaciones regionales de entre 43 y 54 años, lo cual muestra que su población está envejeciendo; tanto la migración como el envejecimiento poblacional constituyen un problema social que representa una amenaza para el sector (Escamilla et al., 2005).

Aunado a ello, el cultivo de café bajo sombra ya no es del interés de las nuevas generaciones, pues consideran que no es posible subsistir de dicho cultivo. Esta situación produce una desintegración social que pone en riesgo la conservación de costumbres y tradiciones culturales que propicia de alguna u otra manera el desarrollo sustentable (Morales, 2013).

A pesar de esto, la mayoría de los pequeños productores que utilizan a los sistemas agroforestales para producir café, se resisten a abandonar esta práctica porque es una vía para subsistir y mantener su sistema de reproducción social, sin importar los retos que se presenten (Sánchez, 2015).

A su vez un gran número de productores está organizado en cooperativas que buscan incorporar nuevas tecnologías para incorporarse al mercado de café orgánico y comercio justo, lo cual es una ruta de desarrollo alternativo que genera una reducción en la vulnerabilidad de sus modos de vida, lo que ayuda a estabilizar sus vidas comunitarias y reforzar el desarrollo alternativo sustentable (Rodríguez, 2014).

Los estados de la república en donde se han generado un gran número de cooperativas son Chiapas, Oaxaca, Veracruz y Puebla. Entre las organizaciones más exitosas están UCIRI, ISMAM, CEPCO, Majomut, MICHIZA, La Selva, Federación Indígena Ecológica, Tiemelonla Nich K Lum, Tosepan Titataniske, Unión Regional de Huatusco y REDCAFES, por citar algunas (CEDRSSA, 2018).

Beneficios económicos

Después de que desapareciera el INMECAFE la economía de los pequeños productores se vio severamente afectada, ya que al no tener una fuente de financiamiento y por sus escasos recursos económicos, no logran dar valor agregado a su café, debido a que al venderlo en forma de cereza y en el mejor de los casos en forma de pergamino, no pueden generar una ganancia significativa en su economía (González-Romo, González-Gómez y Sánchez-Torres, 2019). El problema se agudiza al no existir una organización entre los pequeños productores y al no haber una diferenciación del producto.

Los pequeños productores que han logrado tener ganancias económicas significativas son aquellos que están organizados en cooperativas para generar cafés especializados, principalmente orgánicos de la especie *Cofea arabica*, ya que tiene calidad con potencial de exportación (Escamilla et al., 2005).

Los principales estados exportadores son Chiapas, Oaxaca, Veracruz y Puebla, que exportan directamente a mercados de especialidad de Estados Unidos, Alemania, Holanda, Suiza, Japón, Italia, Dinamarca, España, Francia, Australia, Inglaterra y Bélgica (CEDRSSA, 2018). Esto convierte a México en el principal proveedor mundial de café orgánico especializado, ya que envía más de 28 mil toneladas a países europeos; anualmente se produce un volumen de 350 mil sacos de 60 kilos, lo que lo coloca como el segundo productor mundial de café orgánico de alta calidad (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA, 2017).

De acuerdo con Ferro-Soto y Mili (2013) los pequeños productores organizados en cooperativas reducen costos y obtienen mayores beneficios como consecuencia directa de las sinergias generadas por el reagrupamiento. Estos productores tienen como rasgo común la inversión de la prima del comercio justo,

por lo que los precios pagados son más altos en comparación con los canales convencionales. Por tal motivo, se incrementan los beneficios económicos y se integran elementos religiosos y modos culturales locales que refuerzan el desarrollo rural sustentable (Rodríguez, 2014).

De igual forma, al tener una diversidad de productos dentro del sistema, existe una mejor relación costo-beneficio frente a los sistemas convencionales y obtienen un ingreso mayor al 23% según datos obtenidos por Jezeer, Verweij, Santos y Boot (2017). Un ejemplo es que algunos productores del centro de Veracruz incorporan especies maderables como sombra del cafetal obteniendo ingresos adicionales, sin comprometer la calidad física del grano (Sánchez, Escamilla, Mendoza y Nazario, 2018).

Principales amenazas que afectan a los sistemas agroforestales de café

A pesar de que los sistemas agroforestales de café tienen múltiples beneficios que propician el desarrollo sustentable y reducen la vulnerabilidad de los pequeños productores ante diversas amenazas, no significa que estén exentos de ellas.

La migración y la edad avanzada de los pequeños productores dedicados a este sistema de producción alternativo, representa una amenaza social que limita la transmisión de conocimiento empírico, el cual es valioso para la producción, beneficiado y comercialización del café (Morales, 2013); así mismo, propicia al abandono de los cafetales y por consecuencia al cambio de uso del suelo que conlleva a la degradación del ecosistema (Guevara et al., 2015).

De acuerdo con Escamilla et al. (2005) las principales amenazas de manejo que provocan la baja productividad del sistema son la edad avanzada de las plantaciones, inadecuada poda de los cafetos, mala regulación de sombra, deficiente protección fitosanitaria y limitada aplicación de abonos.

La roya de la hoja del café (*Hemileia vastatrix*) es la principal amenaza fitosanitaria que genera una fuerte caída en la producción de grano, se sabe que afecta principalmente a plantaciones viejas, mal nutridas y que presentan otras afectaciones como nemátodos u otros hongos (Hernández-Martínez y Velázquez-Premio, 2016).

El daño ocasionado por este hongo es menor en los sistemas agroforestales de café con densidades entre 1500-2000 p/ha en comparación con cultivos a pleno sol, ya que el microclima y otros organismos que se encuentran en el sistema evitan que la plaga se desarrolle a tal grado de ocasionar daños severos; sin embargo, el cambio climático puede generar un ambiente propicio para el desarrollo descontrolado de este hongo (Libert, Ituarte-Lima y Elmqvist, 2019).

Ante esta problemática, se crearon variedades mejoradas de café que son tolerantes a la roya, esto podría ser una solución a corto plazo, pero de acuerdo con Libert et al. (2019) estas variedades de café pueden traer nuevos problemas si no se considera la compatibilidad con los ecosistemas locales.

De acuerdo con diversas investigaciones, los sistemas cafetaleros de México son altamente vulnerables ante el cambio climático (Brigido, Nikolskii, Terrazas y Herrera, 2015; Monterroso, Conde, Gómez y López, 2007; Gay, Estrada, Conde y Eakin, 2006). Lo que lo confiere como la principal amenaza climática que afecta a los sistemas agroforestales de café, a pesar de que el daño resulte menor en comparación con otros sistemas de producción. Ante ello, se hace indispensable implementar acciones de adaptación que disminuyan el impacto negativo del cambio climático actual y futuro (Lin, 2007).

La baja diversificación de productos dentro de las parcelas cafetaleras está directamente relacionada con la baja capacidad adaptativa de los pequeños productores. De acuerdo con lo anterior, se esperaría que al incrementar la diversidad de productos en los sistemas cafetaleros bajo sombra conllevaría a tener una alta capacidad adaptativa y una reducción en los efectos negativos del cambio en las variables del clima (Rahn et al., 2014).

Según De Sousa, Zonneveld, Holmgren, Kindt y Ordoñez (2019) las investigaciones actuales no consideran el impacto que tendrán los árboles utilizados para sombra del cafetal bajo las condiciones climáticas futuras, siendo altamente vulnerables ante dicho cambio, por lo que es urgente generar investigaciones con un enfoque planificador del uso de la tierra para evaluar nuevas combinaciones de especies agroforestales en las plantaciones de café, tomando en cuenta los efectos del cambio climático presente y futuro.

El uso adecuado de árboles para sombra del café, sobre todo de especies de lento crecimiento (Pérez, Jandl y Sánchez, 2007) y el mejoramiento de actividades silvícolas y agronómicas, pueden ayudar a aumentar el potencial de mitigación en los cafetales y reducir las emisiones de CO₂ de la atmosfera (Rahn et al., 2014).

De acuerdo con Soto-Pinto y Jiménez-Ferrer (2018) los sistemas agroforestales de café manejados en pequeña escala son estratégicos, ya que tienen un alto potencial de mitigación al cambio climático, genera una gama de productos diversificados y promueve la conservación de especies y funciones ecosistémicas. Sin embargo, para estos autores, existen limitantes en los beneficios económicos y necesidades de organización para el mercado. Por lo que se necesitan investigaciones en el diseño de sistemas agroforestales que consideren este rubro, sin descuidar la parte ambiental y social para tener éxito en los beneficios locales y globales.

CONCLUSIONES

Los sistemas agroforestales de café juegan un papel importante en el desarrollo sustentable de pequeños productores de México, los cuales incorporan elementos culturales y religiosos dentro del manejo del sistema. Existe una gama de servicios ecosistémicos generados por el uso del cultivo de café bajo sombra, entre los que destacan la polinización, control de plagas y enfermedades, regulación climática, conservación de la biodiversidad, almacenamiento de carbono y nutrientes.

Las crisis económicas por el precio del café, la migración, plagas y enfermedades y la vulnerabilidad ante el cambio climático son amenazas que limitan la transmisión de conocimiento empírico y conllevan al abandono de los cafetales. Sin embargo, el uso de este modo de producción representa para el campesino una vía para subsistir y mantener su sistema de reproducción social.

La organización por medio de cooperativas es la clave para que los pequeños productores se mantengan y logren ganancias económicas significativas a través de la incursión de la producción orgánica y comercio justo para la venta de cafés especializados con calidad de exportación. La incorporación de especies de usos múltiples logra una diversidad de productos para obtener beneficios económicos extra y conlleva a tener una alta capacidad adaptativa ante los efectos negativos del cambio climático.

Recomendaciones

Se tiene un mayor número de estudios enfocados a los servicios ecosistémicos que generan los sistemas agroforestales de café. Existen pocos trabajos que abordan el aspecto social y económico que generan dichos sistemas en México. Por lo tanto, se recomienda realizar estudios a nivel local que exploren el impacto directo que tiene la migración y el abandono de los cafetales sobre el tejido social de las comunidades dedicadas a este modo de producción; así como la importancia de las organizaciones a nivel cooperativa como alternativa para incrementar los beneficios económicos que ayudan a los pequeños productores de comunidades marginadas a alcanzar el desarrollo sustentable y mejorar su calidad de vida. De igual forma, se recomienda explorar con mayor detalle las principales amenazas climáticas y del manejo del sistema para generar estrategias a nivel local que permitan reducir las principales amenazas y disminuir la vulnerabilidad ante el cambio climático actual y futuro.

LITERATURA CITADA

- Aragonés, J. I., Izurieta C., y Raposo G. (2003). Revisando el concepto de Desarrollo Sostenible en el discurso social. *Psicothema*, 15 (2), 221–26.
- Bacon, C. M., Sundstrom, W. A., Flores, G. M. E., Méndez, V. E., Santos, R., Goldoftas, B., y Dougherty, I. (2014). Explaining the ‘hungry farmer paradox’: Smallholders and fair trade cooperatives navigate seasonality and change in Nicaragua’s corn and coffee markets. *Global Environmental Change*, 25, 133-149. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.02.005>
- Bautista, C. E. A., Ordaz, C. V. M., Gutiérrez, C. M. C., Gutiérrez, C. E. V., y Cajuste, L. B. (2018). Sistemas Agroforestales de Café En Veracruz, México: Identificación y Cuantificación Espacial Usando SIG, Percepción Remota y Conocimiento Local. *Revista Terra Latinoamericana*, 36 (3), 261–73. doi: <https://doi.org/10.28940/terra.v36i3.350>.
- Boisier, S. (2015). Bioregionalismo: Una Ventana Hacia El Desarrollo Territorial Endógeno y Sustentable. *Terra: Revista de Desarrollo Local*, 2015 (1), 42–66. doi: <https://doi.org/10.7203/terra.1.4589>.
- Brigido, J.G., Nikolskii I., Terrazas, L., y Herrera, S.S. (2015). Estimación del impacto del cambio climático sobre fertilidad del suelo y productividad de café en Veracruz, México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 6(4), 101-116. Recuperado de: <http://www.revistatyca.org.mx/ojs/index.php/tyca/articleCms/view/1182/1085>.
- Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria (CEDRSSA). (2018). El café en México Diagnóstico y Perspectiva. Recuperado de: <http://www.cedrssa.gob.mx/files/10/31El%20caf%C3%A9%20en%20M%C3%A9xico.pdf>.
- De Beenhouwer, M., Aerts, R., y Honnay, O. (2013). A global meta-analysis of the biodiversity and ecosystem service benefits of coffee and cacao agroforestry. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 175,1–7. doi: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.05.00>.
- De Sousa, K, van Zonneveld, M., Holmgren, M., kindt, R., Ordoñez, J.C. (2019). The future of coffee and cocoa agroforestry in a warmer Mesoamérica. *Scientific Reports*, 9, 8828. doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-45491-7>.

- Dendoncker, N., Boeraeve, F., Crouzat, E., Dufrêne, M., König, A., y Barnaud, C. (2018). How can integrated valuation of ecosystem services help understanding and steering agroecological transitions? *Ecology and Society*, 23(1),12. doi: <https://doi.org/10.5751/ES-09843-230112>.
- Duru, M., Therond, O., y Fares, M. (2015). Designing agroecological transitions: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(4), 1237-1257. doi: <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0318-x>.
- Escamilla, P. E. O., Ruiz R. G., Díaz, P. C., Landeros, S. D. E, Platas, R. A., Zamarripa, C., y González H. V. A. (2005). El Agroecosistema Café Orgánico en México. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología* (Costa Rica), 76, 5–16. Recuperado de: <http://www.cafeybiodiversidad.mx/archivos/A1853e.pdf>.
- Escamilla, P. E., y Díaz, S. C. (2016). Sistemas de cultivo de café en México. Huatusco, Veracruz. CENACAFE. Recuperado de: <http://www.cenacafe.org.mx>.
- Escamilla-Prado, E., Escamilla-Femat, S., Gómez-Utrilla, J. M., Tuxtla, A. M., Ramos-Elorduy, J., y Pino-Moreno, J. M. (2012). Uso Tradicional de Tres Especies de Insectos Comestibles En Agroecosistemas Cafetaleros Del Estado de Veracruz. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 15 (SUPPL. 2), S101-S109. Recuperado de: <http://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/index>.
- Espinoza-Domínguez, W., Krishnamurthy, L., Vázquez-Alarcón, A., y Torres-Rivera, A. (2012). Almacén De Carbono En Sistemas Agroforestales Con Café. *Revistas Chapingo Seria Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 18 (1), 57–70. doi: <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2011.04.030>.
- Ferro-Soto, C., y Samira, M. (2013). Desarrollo rural e internacionalización mediante redes de comercio justo del café. Un estudio del caso. *Cuadernos de Desarrollo Rural*, 10 (72), 267–89. doi: <https://doi.org/10.11144/Javeriana.cdr10-72.drim>.
- García, M. L. E., Valdez, H. J. I, Luna, C. M., y López, M. R. (2015). Structure and Diversity of Arboreal Vegetation in Coffee Agroforestry Systems in Sierra de Atoyac, Veracruz. *Madera y Bosques*, 21 (3), 69–82. Recuperado de: <http://www.scielo.org.mx/pdf/mb/v21n3/v21n3a5.pdf>.
- Gay, G. C., Estrada, F., Conde, C., y Eakin, H. (2006). Potential impacts of climate change on agriculture: A case of study of Coffee production in Veracruz, México. *Climatic Change*, 79, 259-288. doi: <https://doi.org/10.1007/s10584-006-9066-x>.

- González-Romo, A., González-Gómez, D. X., y Sánchez-Torres, Y. (2019). Pobreza y adversidades en los cafetaleros de la Sierra Otomí-Tepehua en México. *Ra Ximhai*, 15(2), 61-78. Recuperado de: <http://www.revistas.unam.mx/index.php/rxm/article/view/71718>.
- Guevara, R., M. L., Téllez, M. M. B. R., y Flores, L. M. L. (2015). Aprovechamiento Sustentable de Los Recursos Naturales Desde La Visión de Las Comunidades Indígenas: Sierra Norte Del Estado de Puebla. *Nova Scientia*, 7 (14), 511. doi: <https://doi.org/10.21640/ns.v7i14.94>.
- Hernández-Martínez, G., y Velázquez-Premio, T. (2016). Análisis integral sobre la roya del café y su control. *Revista Internacional de Desarrollo Regional Sustentable*, 1(1), 92-99. Recuperado de: <http://rinderesu.com/index.php/rinderesu/article/view/9>.
- Jha, S., Bacon, C. M., Philpott, S. M., Méndez, V. E., Läderach, P., y Rice, R. A. (2014). Shade coffee: Update on a disappearing refuge for biodiversity. *BioScience*, 64 (5), 416-428. doi: <http://dx.doi.org/10.1093/biosci/biu038>.
- Jezeer, R. E., Verweij, P. A., Santos, M. J., y Boot, R. G. A. (2017). Shaded Coffee and Cocoa – Double Dividend for Biodiversity and Small-scale Farmers. *Ecological Economics*, 140, 136-145. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.04.019>.
- Leyequien, E., y Toledo, V.M. (2009). Floras y aves de cafetales: Ensamblajes de biodiversidad en paisajes humanizados. CONABIO. Biodiversitas, 83, 7-10. Recuperado de: <http://bibliotecasibe.ecosur.mx/sibe/book/000047189>.
- Libert, A. A., Ituarte-Lima, C., y Elmqvist, T. (2019). Learning from Social–Ecological Crisis for Legal Resilience Building: Multi-Scale Dynamics in the Coffee Rust Epidemic. *Sustainability Science*. doi: <https://doi.org/10.1007/s11625-019-00703-x>.
- Lin, B. B. (2007). Agroforestry Management as an Adaptive Strategy against Potential Microclimate Extremes in Coffee Agriculture. *Agricultural and Forest Meteorology*, 144 (1–2), 85–94. doi: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2006.12.009>.
- Machado, V. M. M., y Ríos, O. (2016). Sostenibilidad en agroecosistemas de café de pequeños agricultores: Revisión sistemática. *IDESIA*, 32(2), 15-23. doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292016005000002>.
- Macip-Ríos, R., y Casas-Andreu, G. (2008). Los Cafetales En México y Su Importancia Para La Conservación de Los Anfibios y Reptiles. *Acta*

Zoológica Mexicana (N.S.), 24 (2), 143–59. doi: <https://doi.org/10.21829/azm.2008.242710>.

- Masuhara, A., Valdés, E., Pérez J., Gutiérrez, D., Vázquez, J., Salcedo, P. E., Juárez, H. M., y Merino, G. A. (2015). Carbono almacenado en diferentes sistemas agroforestales de café en Huatusco, Veracruz, México. *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología*, 4 (1), 66–93. Recuperado de: <https://revistas.proeditio.com/REVISTAMAZONICA/article/view/195>.
- Moguel, P., y Toledo V. M. (1999). Biodiversity Conservation in Traditional Coffee Systems of Mexico. *Conservation Biology*, 13 (1), 11–21. doi: <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1999.97153.x>.
- Monterroso, R. A., Conde, A. C., Gómez, D. J., y López, G. J. (2007). Vulnerabilidad y Riesgo en Agricultura por cambio climático en la Región Centro del Estado de Veracruz, México. *Zonas Áridas*, 11(1), 47–60. Recuperado de: <http://revistas.lamolina.edu.pe/index.php/rza/article/view/203>.
- Morales, B. I. (2013). La vida en torno al café: marginación social de pequeños productores en San Pedro Cafetitlán, Oaxaca, México. *Diálogos Revista Electrónica*, 14 (1), 79–96. doi: <https://doi.org/10.15517/dre.v14i1.8110>.
- Moreno-Calles, A.I., Toledo, V. M., y Casas, A. (2013). Los sistemas agroforestales tradicionales de México: Una aproximación biocultural. *Botanical Sciences*, 91(4), 375-398. Recuperado de: <http://www.monitoreoforestal.gob.mx/repositorioidigital/items/show/539>.
- Murga-Menoyo, A., y Novo, M. (2017). Sostenibilidad, desarrollo glocal y ciudadanía planetaria. Referentes de una pedagogía para el desarrollo sostenible. *Ediciones Universidad de Salamanca*, 29 (1), 55-78. doi: <http://dx.doi.org/10.14201/teoredu20172915578>.
- Murguía, V. A., Durán, M. E., Rivera, R., y Barton, B. D. (2014). Cambios En La Cobertura Arbolada de Comunidades Indígenas Con y Sin Iniciativas de Conservación, En Oaxaca, México. *Investigaciones Geográficas*, 83 (83), 55–73. doi: <https://doi.org/10.14350/rig.34975>.
- Nair, P. K. R., Kumar, B. M., y Nair, V. D. (2009). Agroforestry as a strategy for carbon sequestration. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 172, 10–23. doi: <https://doi.org/10.1002/jpln.200800030>.
- Naciones Unidas (UN). (2016). Objetivos de desarrollo sostenible. Recuperado de: www.un.org/sustainabledevelopment/es.
- Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC). (2012). Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change

- Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA.
- Pérez, P. S., Jandl, R., y Rubio, S.A. (2007). Modelación del secuestro de carbono en sistemas forestales: efecto de la elección de especies. *Ecología*, 21, 341-352. Recuperado de: <http://oa.upm.es/48573/>.
- Plan Nacional de Desarrollo (PND). (2019). Gaceta parlamentaria. Año XXII. Número 5266-XVIII. México: Cámara de diputados. Recuperado de: <https://www.gob.mx/shcp/prensa/comunicado-no-021-plan-nacional-de-desarrollo-2019-2024>.
- Pineda-López, M. R., Ortiz-Ceballos, G., y Sánchez-Velásquez, L. R. (2016). Los Cafetales y Su Papel En La Captura de Carbono: Un Servicio Ambiental Aún No Valorado En Veracruz. *Madera y Bosques*, 11 (2), 3–14. doi: <https://doi.org/10.21829/myb.2005.1121253>.
- Posada-González, N. L. (2017). Algunas Nociones y Aplicaciones de La Investigación Documental Denominada Estado Del Arte. *Investigación Bibliotecológica*, 31 (73), 237–63. doi: <https://doi.org/10.22201/iibi.24488321xe.2017.73.57855>.
- Rahn, E, Laderach, P, Baca, M, Cressy, C, Schroth, G, Malin, D, Rikxoort, H, y Shriver, J. (2013). Climate change adaptation, mitigation and livelihood benefits in coffee production: where are the synergies? *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 19, 1119-1137. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/257623275_Climate_change_adaptation_mitigation_and_livelihood_benefits_in_coffee_production_where_are_the_synergies.
- Rodríguez, M. J. R. (2014). ¿Es posible desarrollarse en torno al café orgánico? Las perspectivas de un negocio local-global en comunidades Mayas. *Antipoda*, 19, 217–41. doi: <https://doi.org/10.7440/antipoda19.2014.10>.
- Ruelas-Monjardín, L. C., Nava-Tablada, M. E., Cervantes, J., y Barradas, V. L. (2014). Importancia ambiental de los agroecosistemas cafetaleros bajo sombra en la zona central montañosa del estado de Veracruz, México. *Madera y Bosques*, 20 (3), 27–40. doi: <https://doi.org/10.21829/myb.2014.203149>.
- Sánchez, H., Escamilla, P. E., Mendoza, B. M., y Lezama M. N. (2018). Calidad del café (*coffea arabica* L.) en dos sistemas agroforestales en el centro de Veracruz, México. *Agroproductividad*, 11, 80–86. Recuperado de:

<http://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/274>.

- Sánchez, J. G. K. (2015). Participación campesina en el mercado global de café. Cafeticultores organizados en Chiapas. Nóesis. *Revista de Ciencias Sociales y Humanidades*, 24 (47–2), 1–19. doi: <https://doi.org/10.20983/noesis.2015.13.1>.
- Sarandón, S. J., Marasas, M. E., Dipietro, F., Belaus, A., Muiño, W., y Oscares, E. (2006). Evaluación de la sustentabilidad del manejo de suelos en agroecosistemas de la provincia de La Pampa, Argentina, mediante el uso de indicadores. *Revista Brasileira de Agroecología*, 1(1), 497-500. Recuperado de: <http://revistas.aba-agroecologia.org.br/index.php/rbagroecologia/article/view/5931>.
- Saura, C. P., y Hernández, P. M. (2008). La Evolución Del Concepto de Sostenibilidad y Su Incidencia En La Educación Ambiental. *Teoría de la Educación*, 20, 179–204. doi: <https://doi.org/10.14201/ted.989>.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2018). Avance de siembras y cosechas. Resumen por estado. Recuperado de: <https://www.gob.mx/siap/articulos/cafe-datos-preliminares-a-2017-indican-una-produccion-nacional-de-839-mil-toneladas>.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). (2017). Principales estados productores de café. Recuperado de http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/distritofederal/boletines/Paginas/JAC_00264_03.aspx.
- Soto-Pinto, L., y Jiménez-Ferrer, G. (2018). Contradicciones socioambientales en los procesos de mitigación, asociados al ciclo del carbono en sistemas agroforestales. *Madera y Bosques*. doi: <https://doi.org/10.21829/myb.2018.2401887>.
- Soto-Pinto, L., Villalvazo-López, V., Jiménez-Ferrer, G., Ramírez-Marcial, N., Montoya, G., y Sinclair, F. L. (2007). The role of local knowledge in determining shade composition of multistrata coffee systems in Chiapas, Mexico. *Biodiversity and Conservation*, 16 (2), 419–36. doi: <https://doi.org/10.1007/s10531-005-5436-3>.
- Souza, H. N., Ron G.M., Brussaard, G. L., Cardoso, I. M., Duarte, E. M.G., Fernandes, R. B. A., Gomes, L. C., y Pulleman, M. M. (2012). Protective shade, tree diversity and soil properties in coffee agroforestry systems in the atlantic rainforest biome. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 146 (1), 179–96. doi: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.11.007>.

- Urbaniec, K., Mikulcic, H., Rosen, M., Duic, N. (2017). A holistic approach to sustainable development of energy, water and environment systems. *Journal of cleaner production*, 155(1), 1-11. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.01.119>.
- Vallejo-Ramos, M., Moreno-Calles, A. I., y Casas, A. (2016). TEK and Biodiversity Management in Agroforestry Systems of Different Socio-Ecological Contexts of the Tehuacán Valley. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 12 (1), 1–15. <https://doi.org/10.1186/s13002-016-0102-2>.
- Velázquez-Premio, G., Hernández-Martínez, T. (2016). Análisis integral sobre la roya del café y su control. *Revista internacional de Desarrollo Regional Sustentable*, 1 (351), 92–99. Recuperado de: <http://rinderesu.com/index.php/rinderesu/article/view/9>.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). A la Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Fitotecnia y Suelos, así como al Programa de Doctorado en Agricultura Multifuncional para el Desarrollo Sustentable. A los revisores anónimos cuyos comentarios ayudaron a mejorar el manuscrito.

SÍNTESIS CURRICULAR

Patricia Ruiz García

Maestra en Ciencia en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible. Estudiante de doctorado en Agricultura Multifuncional del Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, México. Sus intereses de investigación incluyen sinergias entre la adaptación y la mitigación al cambio climático en los sistemas agrícolas y naturales. Autor para correspondencia: patyruig31@gmail.com.

Jesús David Gómez Díaz

Maestro en Ciencias del suelo. Doctor en Edafología. Profesor e investigador de tiempo completo en el Departamento de Suelos de la Universidad Autónoma Chapingo, México. Sus intereses de investigación incluyen la vulnerabilidad al

cambio climático y el impacto en los recursos agrícolas y naturales, también la gestión sustentable de la tierra y los servicios del medio ambiente. Correo electrónico: dgomez@correo.chapingo.mx.

Eduardo Valdes Velarde

Maestro en ciencias en Agroforestería para el desarrollo sostenible. Doctor en Ciencias Agrícolas con Especialidad en Edafología. Profesor e investigador de tiempo completo en el Departamento de Fitotecnia. Director del Centro de Agroforestería para el Desarrollo Sostenible. Sus intereses de investigación incluyen el estudio de sistemas agroforestales para el desarrollo sustentable. Correo electrónico: valdevela@gmail.com.

Alejandro Ismael Monterroso Rivas

Maestro y Doctor de Geografía. Profesor e investigador de tiempo completo en el Departamento de Suelos de la Universidad Autónoma Chapingo, México. Sus intereses de investigación incluyen la vulnerabilidad al cambio climático y el impacto en los recursos agrícolas y naturales. Correo electrónico: aimrivas@correo.chapingo.mx.