

Estrategias agroecológicas de adaptación y mitigación a la variabilidad y cambio climático para la producción de café (*Coffea Arabica*) en Trujillo, Valle del Cauca, Colombia

Agroecological strategies for adaptation and mitigation to climate variability and change for coffee (Coffea Arabica) production in Trujillo, Valle del Cauca, Colombia

Fra Filippo Casadiego-Arévalo

Universidad del Valle

Cali, Colombia

fra.casadiego@correounivalle.edu.co

 ORCID: 0009-0005-0620-2847

Juan Camilo Triana-Madrid

Universidad del Valle

Cali, Colombia

juan.camilo.triana@correounivalle.edu.co

 ORCID: 0000-0003-4818-5350

Yesid Carvajal-Escobar

Universidad del Valle

Cali, Colombia

yesid.carvajal@correounivalle.edu.co

 ORCID: 0000-0002-2014-4226

Información del artículo

Recibido: 11/03/2024

Revisado: 25/09/2024

Aceptado: 13/10/2024

Online: 04/06/2025

Publicado: 10/10/2025

ISSN 2340-8472

ISSNe 2340-7743

DOI 10.17561/at.28.8749

 CC-BY

© Universidad de Jaén (España).
Seminario Permanente Agua, Territorio y Medio Ambiente (CSIC)

RESUMEN

El café arábico es sensible a cambios en las variables climáticas predominantes tales como la precipitación, temperatura, brillo solar. La agroecología integra disciplinas ambientales y sociales con los saberes y tradiciones locales para mejorar la resiliencia socio-ecológica de un agroecosistema y adaptarlo a cambios en las condiciones ambientales. El objetivo de esta investigación es proponer estrategias agroecológicas de adaptación y mitigación a la variabilidad climática (VC) y cambio climático (CC) en fincas productoras de café arábico del municipio de Trujillo, Valle del Cauca, Colombia. Se realizaron entrevistas a la comunidad. Se empleó el diagrama de Elementos Preferidos para Revisiones Sistemáticas y Metaanálisis (PRISMA) para seleccionar 32 estudios y sugerir estrategias tales como la agroforestería, diversificación de cultivos, prácticas de uso eficiente y conservación del agua y del suelo. Estas técnicas permitirán disminuir la temperatura del sistema, diversificar los ingresos de las fincas y reducir las pérdidas de agua.

PALABRAS CLAVE: Adaptación y mitigación, Agroecología, Café arábico, Cambio climático, Variabilidad climática.

ABSTRACT

Arabic coffee is sensitive to changes in predominant climatic variables such as precipitation, temperature, and sunlight. Agroecology integrates environmental and social disciplines with local knowledge and traditions to improve the socioecological resilience of an agroecosystem and adapt it to changes in environmental conditions. The objective of this research is to propose agroecological strategies for adaptation and mitigation to climate variability (CV) and climate change (CC) in Arabic coffee producing farms in the municipality of Trujillo, Valle del Cauca, Colombia. Interviews were conducted with the community. The Preferred Elements for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) diagram was used to select 32 studies and suggest strategies such as agroforestry, crop diversification, efficient use practices, and water and soil conservation. These techniques will reduce the temperature of the system, diversify farm income and reduce water losses.

KEYWORDS: Adaptation and mitigation, Agroecology, Arabic Coffee, Climate change, Climate variability.

Estratégias agroecológicas para adaptação e mitigação à variabilidade e mudanças climáticas na produção de café (Coffea Arabica) em Trujillo, Valle del Cauca, Colômbia

RESUMO

O café arábica é sensível a mudanças nas variáveis climáticas predominantes, como precipitação, temperatura e luz solar. A agroecologia integra disciplinas ambientais e sociais com conhecimentos e tradições locais para melhorar a resiliência socioecológica de um agroecossistema e adaptá-lo às mudanças nas condições ambientais. O objetivo desta pesquisa é propor estratégias agroecológicas de adaptação e mitigação à variabilidade climática (VC) e às mudanças climáticas (CC) em fazendas produtoras de café arábico no município de Trujillo, Valle del Cauca, Colômbia. Foram realizadas entrevistas com a comunidade. O diagrama Preferred Elements for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) foi utilizado para selecionar 32 estudos e sugerir estratégias como agrofloresta, diversificação de culturas, práticas de uso eficiente e conservação da água e do solo. Estas técnicas reduzirão a temperatura do sistema, diversificarão o rendimento agrícola e reduzirão as perdas de água.

PALAVRAS-CHAVE: Adaptação e mitigação, Agroecologia, Café arábica, Mudanças climáticas, Variabilidade climática.

Stratégies agroécologiques d'adaptation et d'atténuation à la variabilité et au changement climatiques pour la production de café (Coffea Arabica) à Trujillo, Valle del Cauca, Colombie

RÉSUMÉ

Le café arabe est sensible aux changements des variables climatiques prédominantes telles que les précipitations, la température et l'ensoleillement. L'agroécologie intègre les disciplines environnementales et sociales aux connaissances et traditions locales pour améliorer la résilience socioécologique d'un agroécosystème et l'adapter aux changements des conditions environnementales. L'objectif de cette recherche est de proposer des stratégies agroécologiques d'adaptation et d'atténuation à la variabilité climatique (CV) et au changement climatique (CC) dans les

fermes productrices de café arabe de la municipalité de Trujillo, Valle del Cauca, Colombie. Des entretiens ont été menés avec la communauté. Le diagramme des éléments préférés pour les examens systématiques et les méta-analyses (PRISMA) a été utilisé pour sélectionner 32 études et suggérer des stratégies telles que l'agroforesterie, la diversification des cultures, pratiques d'utilisation efficaces et la conservation de l'eau et des sols. Ces techniques réduiront la température du système, diversifieront les revenus agricoles et réduiront les pertes d'eau.

MOTS-CLÉ: Adaptation et atténuation, Agroécologie, Café arabe, Changement climatique, Variabilité climatique.

Strategie agroecologiche per l'adattamento e la mitigazione della variabilità climatica e del cambiamento per la produzione di caffè (Coffea Arabica) a Trujillo, Valle del Cauca, Colombia

SOMMARIO

Il caffè arabico è sensibile ai cambiamenti delle variabili climatiche predominanti come precipitazioni, temperatura e luce solare. L'agroecologia integra le discipline ambientali e sociali con le conoscenze e le tradizioni locali per migliorare la resilienza socioecologica di un agroecosistema e adattarlo ai cambiamenti delle condizioni ambientali. L'obiettivo di questa ricerca è proporre strategie agroecologiche per l'adattamento e la mitigazione della variabilità climatica (CV) e del cambiamento climatico (CC) nelle aziende agricole produttrici di caffè arabico nel comune di Trujillo, Valle del Cauca, Colombia. Sono state condotte interviste con la comunità. Il diagramma PRISMA (Elementi preferiti per le revisioni sistematiche e le meta-analisi) è stato utilizzato per selezionare 32 studi e suggerire strategie come l'agroforestazione, la diversificazione delle colture, pratiche di utilizzo efficienti e la conservazione dell'acqua e del suolo. Queste tecniche ridurranno la temperatura del sistema, diversificheranno il reddito agricolo e ridurranno le perdite d'acqua.

PAROLE CHIAVE: Adattamento e mitigazione, Agroecologia, Caffè arabico, Cambiamento climatico, Variabilità climatica.

Introducción

Se estima que el sector agrícola reducirá su producción global en las próximas décadas debido al déficit hídrico causado por el cambio climático (CC). El aumento de temperaturas ya ha afectado la calidad de los cultivos e incrementado plagas y enfermedades. La variabilidad climática (VC) y el CC son fenómenos naturales acelerados por la actividad humana, que impactan negativamente a los seres vivos y sus ecosistemas. Según Hageback, Sundberg, Ostwald y otros¹ el CC se refiere a alteraciones a largo plazo (décadas, siglos) y a escala global, mientras que la VC se refiere a fluctuaciones a corto plazo (meses, años) relacionadas con condiciones meteorológicas naturales y características locales.

Un ejemplo de VC es el fenómeno El Niño Oscilación del Sur (ENOS), que se caracteriza por la fluctuación de las temperaturas del océano en el Pacífico tropical, asociado a cambios atmosféricos². Entre los efectos del CC se incluyen el aumento del nivel del mar y el incremento global de la temperatura³. ENOS tiene impactos negativos en las regiones Pacífica y Andina de Colombia, como incrementos en la temperatura, inundaciones y sequías⁴, que afectan la producción agrícola, incluido el café⁵. La Niña de 2010-11 causó pérdidas superiores a 7.800 millones de dólares, principalmente en el valle bajo del río Magdalena y la región del Pacífico⁶, mientras que la sequía de El Niño de 1997-98 provocó una caída del 10 % en la producción de café en el país⁷.

La agricultura industrial, que utiliza monocultivos, maquinaria y agrotóxicos para satisfacer la demanda alimentaria mundial⁸, es responsable de al menos el 25 % de las emisiones de gases de efecto invernadero⁹. Además, se verá fuertemente afectada por el CC, con una reducción del 10 % en la producción agrícola global para 2050¹⁰, lo que impactará la disponibilidad y acceso a los alimentos. En el caso del café, se estima que hacia 2050 habrá reducciones de más del 50 % en las áreas actualmente cultivables¹¹.

El café es la bebida favorita del mundo y la segunda materia prima más comercializada después del petróleo. Los principales países productores de café son: Brasil, Vietnam y Colombia, que entre los años 2021-22 representaron aproximadamente el 60 % de las exportaciones mundiales y las especies más producidas son arábica (*Coffea Arábica*) y robusta (*Coffea Robusta*).

Colombia es el segundo mayor productor de café arábica, con una participación del 13,5 % en 2022¹², cultivándose principalmente en la región andina, donde los suelos y la altitud son óptimos¹³. El café se cultiva en el país desde hace más de 100 años, formando parte de su cultura y patrimonio histórico¹⁴. Actualmente, hay alrededor de 540.000 productores, de los cuales el 96 % tienen menos de 5 ha, mientras que el 4 % (aproximadamente 21.600 productores) poseen más de 5 ha¹⁵. En 2018, el Valle del Cauca se posicionó en el sexto lugar en producción de café en Colombia¹⁶, con más de 22.000 familias dedicadas a la caficultura, que exportan cerca de 850.000 sacos al año¹⁷.

La especie arábica es sensible a los efectos del CC y la VC, como aumentos de temperatura superiores a 30° C, los cuales aceleran la madurez prematura de los cerezos, caída de las flores, cambios en la distribución geográfica de los polinizadores del café, del mismo modo que mayor presencia de plagas como la broca¹⁸. Por otro lado, ante incrementos en la precipitación se evidencia una mayor proliferación de enfermedades como la roya¹⁹.

Lo anterior, obligará a los productores a buscar nuevas áreas de mayor altitud que cuenten con temperaturas adecuadas²⁰, sin embargo, tal expansión puede amenazar zonas protegidas como bosques nativos que prestan importantes servicios ecosistémicos y ambientales en la regulación hídrica y que actúan como corredor biológico de aves y mamíferos²¹. Dada la severidad de los impactos que el CC y la VC están ocasionando sobre cultivos como el café, es imprescindible adoptar nuevos modelos agro-biodiversos, independientes del petróleo y de bajo impacto ambiental como los sistemas agroecológicos²².

¹ Hageback et al., 2005.

² Poveda, 2004.

³ IPCC, 2021.

⁴ Ávila et al., 2019. Cerón et al., 2022.

⁵ Bastianin et al., 2018.

⁶ Hoyos et al., 2013.

⁷ Poveda et al., 2001.

⁸ Altieri, 1999.

⁹ IPCC, 2021.

¹⁰ FAO, 2018.

¹¹ Ovalle-Rivera et al., 2015.

¹² Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, 2024.

¹³ Patiño-González; Psadeghian-Khalajabadi; Montoya-Restrepo, 2006.

¹⁴ Tirado et al., 2017.

¹⁵ Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2021.

¹⁶ Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2023a.

¹⁷ Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2023b.

¹⁸ DaMatta; Cochicho Ramalho, 2006. Imbach et al., 2017.

¹⁹ Parada-Molina et al., 2020. Imbach et al., 2017.

²⁰ Zullo et al., 2011.

²¹ Läderach et al., 2013.

²² Koohafkan; Altieri; Holt-Gimenez, 2012.

La agroecología combina ciencias ambientales y disciplinas sociales, integrando saberes locales para diseñar sistemas con seres vivos desde una perspectiva sistémica y transdisciplinaria²³. Los caficultores aplican principios que les permiten producir alimentos sin agroquímicos, reciclar nutrientes e incrementar la resiliencia socio-ecológica de sus agroecosistemas²⁴. La resiliencia socio-ecológica se refiere a la capacidad del agroecosistema para mantener su organización y productividad tras perturbaciones, sin comprometer los sistemas sociales y biológicos que lo rodean. Las prácticas agroecológicas más comunes para adaptar el café al CC y VC incluyen agroforestería²⁵, diversificación de cultivos²⁶, uso eficiente del suelo y agua²⁷, y la integración de saberes locales²⁸.

La agricultura es responsable del 70 % del consumo de agua dulce del mundo²⁹, por lo tanto, el uso eficiente del recurso agua es esencial en la agroecología como práctica alternativa a los procesos industrializados³⁰. Prácticas agroecológicas como el acolchado, el compostaje y la agroforestería son espacios de regeneración natural de la cobertura del suelo que permiten aprovechar hasta un 60 % del agua de la lluvia³¹, reduciendo los requerimientos de riego en los cultivos y disminuyendo su vulnerabilidad a sequías al incidir en variables como la temperatura y la evapotranspiración³². Lo anterior se debe a que las prácticas mencionadas permiten mejorar la nutrición, contenido de humedad e infiltración del suelo³³, la capacidad de recuperación y recarga de los acuíferos³⁴, al mismo tiempo que previene la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas al no usar agroquímicos³⁵.

El objetivo de esta investigación es proponer estrategias de adaptación y mitigación desde la agroecología para enfrentar los impactos climáticos en fincas cercanas al municipio de Trujillo, Valle del Cauca, Colombia. Las medidas identificadas permitirán una mejor planificación municipal, sin afectar una de sus principales actividades socioeconómicas³⁶, y contribuirán a la seguridad

alimentaria y al cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible relacionados con el objetivo 2 (hambre cero), 13 (acción por el clima) y 15 (vida en la tierra)³⁷.

Metodología

Localización y descripción de la zona de estudio

Este estudio se llevó a cabo en Trujillo, uno de los municipios del departamento del Valle del Cauca, Colombia, ubicado sobre la Cordillera Occidental en los andes colombianos, sus coordenadas geográficas son 4° 13' 1" Norte y 76° 19' 1" Oeste, su extensión es de 307 km², su población total es de 18.142 habitantes y su cabecera municipal se ubica a 1.260 msnm³⁸ (Figura 1).

El 59 % de los habitantes de Trujillo se dedican a actividades agrícolas³⁹, siendo el café uno de los cultivos más importantes en su economía⁴⁰. Lo anterior se debe principalmente a que la zona cuenta con rangos de altura de entre 888-3.389 msnm (Figura 1), una precipitación anual de 1.800 mm, una temperatura promedio de 21° C y suelos con acidez moderada⁴¹, que son rangos altitudinales y temperaturas ideales para la producción de la especie arábica⁴². Las variedades de café arábica más comunes en Trujillo son: Geisha, Tabi, Maragogipe, Borbón amarillo rojo, Castillo Supremo y Cenicafé 1⁴³.

Este estudio se llevó a cabo para 4 fincas productoras de café localizadas en la zona rural del municipio de Trujillo que fueron: Las Margaritas, La Espartana, Buenos Aires y La Luisa. Las fincas fueron seleccionadas bajo los siguientes criterios: disposición a permitir el ingreso de los investigadores a la finca, disposición a atender encuestas y talleres con una duración máxima de 2 horas y fincas accesibles físicamente.

Tipo de investigación

En este estudio se utilizó una metodología mixta, combinando enfoques cuantitativos y cualitativos⁴⁴. Primero, se consultó a los productores sobre sus percepciones

²³ Altieri, 1999. Gómez; Ríos; Eschenhagen, 2015.

²⁴ Giraldo; Rosset, 2021, Wezel et al., 2020. Altieri; Nicholls, 2012.

²⁵ Anhar et al., 2021.

²⁶ Hochachka, 2021.

²⁷ Viguera et al., 2019.

²⁸ Bukomeko et al., 2019.

²⁹ Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2020.

³⁰ Regalado; Rodríguez, 2020.

³¹ López; Ardón, 2010.

³² Anhar et al., 2021. Triana-Madrid et al., 2023.

³³ López; Ardón, 2010.

³⁴ López; Ardón, 2010. Altieri; Nicholls, 2012.

³⁵ López; Ardón, 2010. Altieri; Nicholls, 2012.

³⁶ Gutiérrez; Rosero, 2019.

³⁷ Organización de las Naciones Unidas, 2018.

³⁸ Departamento Administrativo Nacional de Estadística, 2005. Gutiérrez; Rosero, 2019.

³⁹ Departamento Administrativo Nacional de Estadística, 2005.

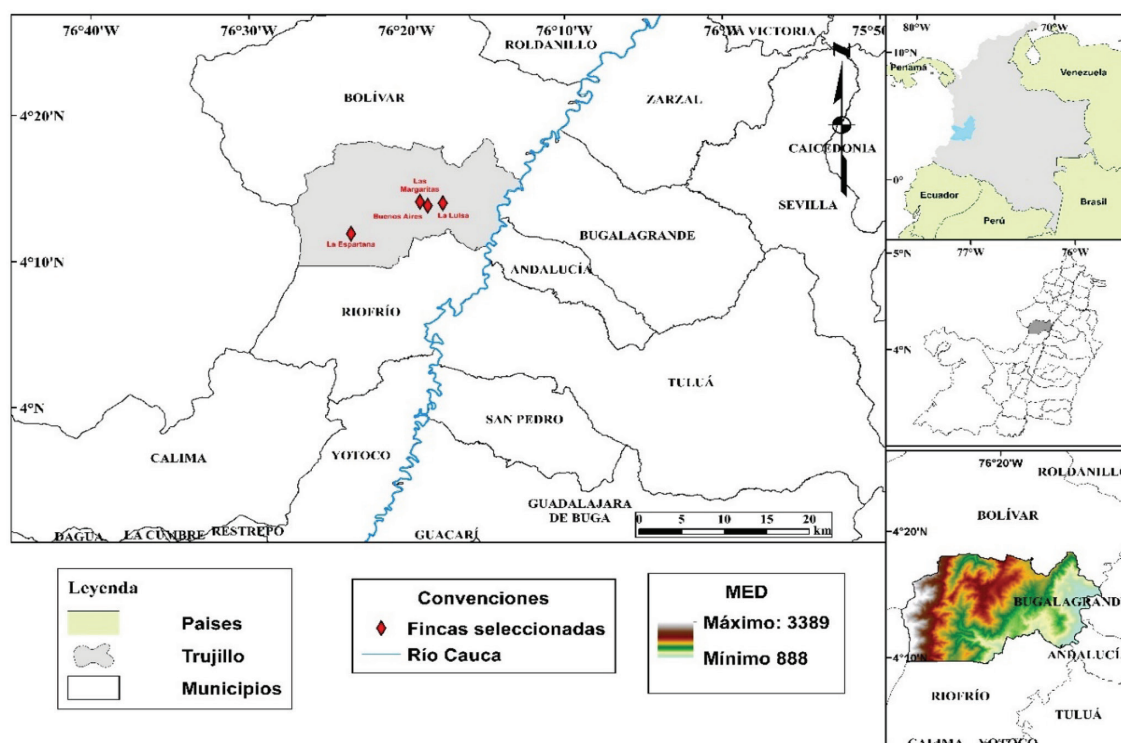
⁴⁰ Gutiérrez; Rosero, 2019.

⁴¹ Gutiérrez; Rosero, 2019. Patiño-González; Psadeghian-Khalajabadi; Montoya-Restrepo, 2006.

⁴² Jaramillo-Robledo, 2005.

⁴³ Gutiérrez et al., 2024.

⁴⁴ Ayala; Lane; Montufar, 2023.

Figura 1. Localización geográfica de la zona de estudio y fincas seleccionadas

MED=modelo elevación digital
Fuente: Elaboración propia.

del CC y VC, así como los impactos en el café arábico (*Coffea Arabica*), a través de entrevistas y encuestas (componente cualitativo). Luego, se realizó una revisión sistemática de la literatura (componente cuantitativo).

Vulnerabilidad al CC y VC de la zona de estudio

Se consultó mediante una entrevista a los productores de las 4 fincas seleccionadas datos socioeconómicos tales como tamaño promedio de los predios, ganancias promedio de las fincas, cantidad de café producido por hectárea. Luego, a partir de una encuesta estructurada se consultó a 40 productores del municipio de Trujillo sobre los efectos del CC y VC sobre la producción de café y su percepción.

Revisión de estrategias de adaptación y mitigación

Siguiendo la metodología propuesta por Quintero, Arce y Andrieu⁴⁵, se realizó una revisión cuantitativa

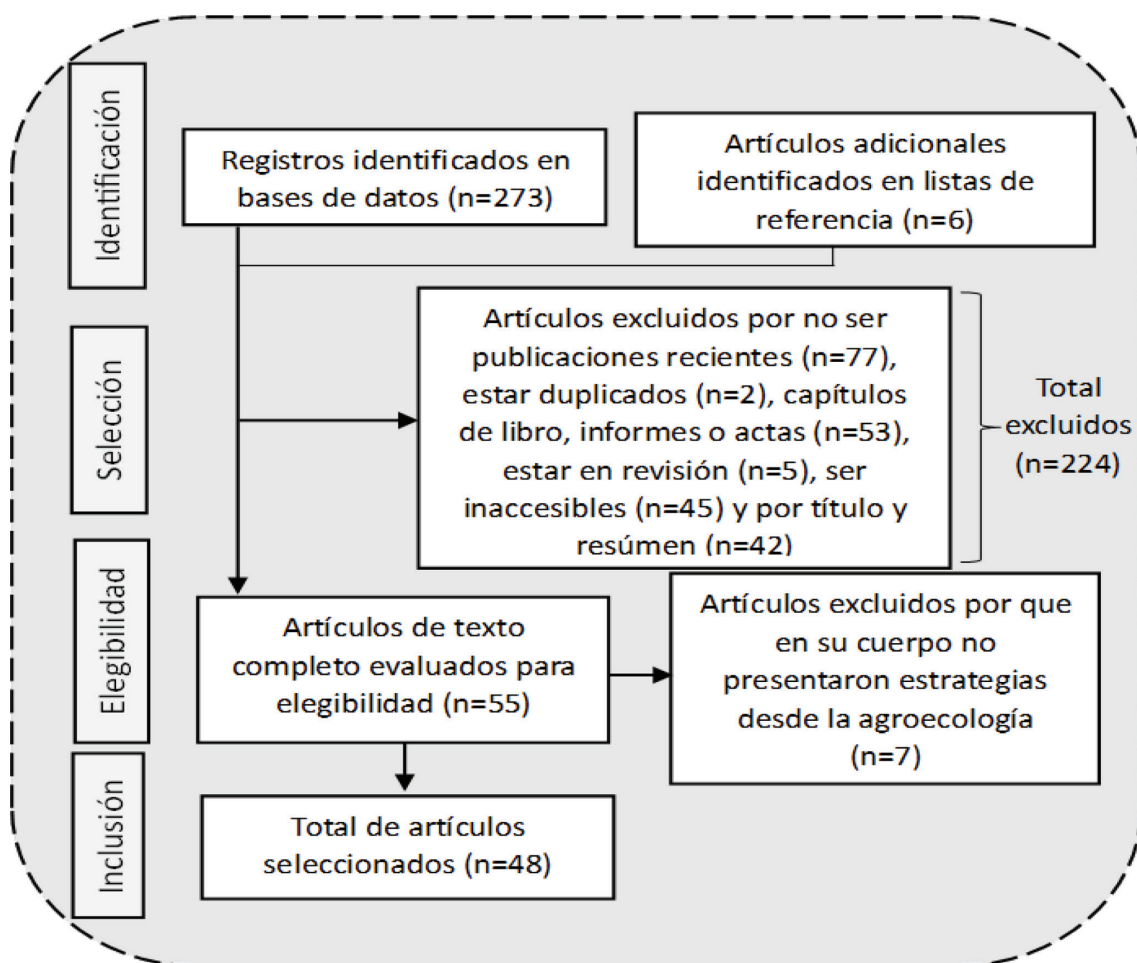
de la literatura académica sobre estrategias agroecológicas de adaptación y mitigación al CC y VC para el café arábico. Se hizo una búsqueda booleana en la base de datos de Scopus (www.scopus.com) en el mes de noviembre del 2023. La ecuación de búsqueda que arrojó los mejores resultados fue: ("climate change" OR "climate variability") AND ("adaptation" OR "mitigation") AND "coffee".

Se empleó el diagrama PRISMA⁴⁶ para seleccionar artículos relevantes para este estudio (Figura 2). A partir de la ecuación de búsqueda mencionada se obtuvieron 273 estudios y se añadieron 6 de listas de referencia. Únicamente se consideraron estudios de caso, revisiones sistemáticas, publicaciones recientes (menos de 5 años de su publicación), artículos ya publicados, publicaciones de libre acceso y publicaciones cuyo título y resumen estuvieran relacionados a estrategias de adaptación y mitigación al CC y VC desde la agroecología (Figura 2).

⁴⁵ Quintero; Arce; Andrieu, 2024.

⁴⁶ Moher et al., 2009.

Figura 2. Diagrama de flujo de análisis PRISMA



n= número de estudios

Fuente: Adaptado de Moher et al., 2009.

Resultados y discusión

Vulnerabilidad al CC y VC de los productores de Trujillo

De acuerdo con las entrevistas socioeconómicas realizadas a los productores de las 4 fincas seleccionadas, sus ganancias mensuales fueron entre 500-800 USD, lo cual contrasta con el promedio del caficultor colombiano (300 USD)⁴⁷. Los propietarios se consideraron medianos productores ya que la extensión de sus terrenos estaba entre 10-40 ha, que difiere del promedio representativo del 96 % nacional que cuentan en promedio con menos de 5 ha⁴⁸. La producción de café por cosecha de sus fincas iba desde los 725-1.500 kg/ha, lo que concuerda con los valores reportados por la Federación Nacional

de Cafeteros (FNC)⁴⁹. Las variedades de café arábica más comunes fueron: Geisha, Tabi, Maragogipe, Borbón amarillo rojo, Castillo Supremo y Cenicafe, las cuales se comercializan en mercados directos con cooperativas o asociaciones como la FNC⁵⁰.

Según encuestas a 40 productores de fincas en el municipio de Trujillo, han percibido un aumento de al menos 2° C en la temperatura media en los últimos 30 años y una reducción de hasta un 10 % en la producción de café arábica entre 1993 y 2023. Un estudio de Cortés-Castaño et al.⁵¹ indica que en Colombia la producción de café por área está disminuyendo debido a factores ambientales relacionados con el CC. Además, según CIAT, CVC⁵², y García-López, Laderach y Posada⁵³, Trujillo será uno de los municipios más afectados por el CC y la VC. Se prevén

⁴⁹ Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2021.

⁵⁰ Gutiérrez et al., 2024.

⁵¹ Cortés-Castaño et al., 2024.

⁵² Cortés-Castaño et al., 2024.

⁵³ García-López; Laderach; Posada, 2018.

⁴⁷ Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2021.

⁴⁸ Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2021.

aumentos de temperatura y precipitación media anual de 0,9° C y 6,5 %, respectivamente, para 2030, y hasta 2,5° C y 20 % para 2100⁵⁴. Estos escenarios ocasionarán pérdidas en la aptitud para cultivar café en la zona plana y de piedemonte de Trujillo desde 2030⁵⁵. El municipio es vulnerable al CC, con un 80 % de pobreza multidimensional y un 20 % de necesidades básicas insatisfechas⁵⁶.

Los productores también se refirieron a que las variables climáticas que más afectan la producción de café son brillo solar, la humedad, la temperatura, las lluvias y la velocidad del viento, presentando impactos tales como pérdidas en la floración, secado prematuro de los cerezos y una mayor incidencia de la enfermedad de la roya, coincidiendo con otros estudios que han determinado las variables que influyen sobre la producción de café arábico y sus efectos sobre el mismo⁵⁷.

Sobre esta cuestión hay diversos estudios que están recogidos en la Tabla 1. Estos han sido agrupados por países y temáticas abordadas.

Sistemas agroforestales cafeteros

Los Sistemas Agroforestales Cafeteros (SAFC) representan una opción prometedora para los pequeños productores de café en términos de adaptación y mitigación del CC y VC por aumentar la resiliencia socio-ecológica y biodiversidad en los agroecosistemas⁵⁸. De acuerdo con Cerda et al.⁵⁹ e Imbach et al.⁶⁰ adoptar esta técnica sirve para reducir el impacto de plagas y enfermedades, preservar el carbono del suelo y la biodiversidad.

Varios de los estudios⁶¹ han relacionado el café bajo sombra con microclimas favorables al interior de los agroecosistemas, los cuales presentan menores fluctuaciones de la temperatura del aire con temperaturas de entre 3-5° C más bajas, una disminución de la radiación solar hasta 29,4 %, el incremento de la humedad relativa hasta en un 74,5 % y una disminución en la velocidad del viento hasta en un 99 %, entre otros. Lo anterior es importante debido a los incrementos de temperatura y

Tabla 1. Principales características de los estudios de casos analizados

ESTUDIOS	LOCALIZACIÓN	PRÁCTICAS ENCONTRADAS
Libert et al. (2020), Ortiz-Ceballos et al. (2020), Ruiz-García et al. (2021), Quiroz-Guerrero et al. (2022), Chain-Guadarrama, Martínez-Rodríguez et al. (2019)	México	Agroforestería, prácticas de conservación de agua y suelo, Integración de los saberes locales
Yayeh-Ayal et al. (2023), Tesfay et al. (2022), Niguse et al. (2022), Olana-Jawo et al. (2023), Ginbo (2022)	Etiopía	Agroforestería, diversificación de cultivos, prácticas de conservación de agua y suelo, integración de los saberes locales
Canal-Daza y Andrade, (2019), Andrade, Segura y Suarez. (2023), Andrade y Zapata (2019) y Oviedo-Celis y Castro-Escobar (2021)	Colombia	Agroforestería
Gomes et al. (2020), Zaro et al. (2022)	Brasil	Agroforestería
Hochachka (2021), Viguera et al. (2019)	Guatemala	Diversificación de cultivos, agroforestería
Wagner et al. (2021), Mbawambo, Mourice y Tarimo (2021)	Tanzania	Agroforestería, prácticas de conservación de agua y suelo
Heryandi et al. (2022), Anhar et al. (2021)	Indonesia	Agroforestería, diversificación de cultivos
Cuni-Sanchez et al. (2022), Tschora y Cherubini (2020)	África	Agroforestería, diversificación de cultivos, prácticas de conservación de agua y suelo
Byrareddy et al. (2021), Nguyen y Drakou (2021)	Vietnam	Agroforestería, prácticas de conservación de agua y suelo
Bukomeko et al. (2019), Van Der Wolf et al. (2019)	Uganda	Integración de los saberes locales
Lara-Estrada, Rasche y Schneider (2023)	Nicaragua	Agroforestería
Agnoletti, Molina y Gonzalez (2022)	Cuba	Agroforestería, diversificación, Integración de los saberes locales
Aravind et al. (2022)	India	Agroforestería
Reyes y Serrano (2022)	Honduras	Prácticas de conservación de agua y suelo

Fuente: Adaptado de Quintero, Arce y Andrieu, 2024.

⁵⁴ Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca; Centro Internacional de Agricultura Tropical, 2018.

⁵⁵ Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca; Centro Internacional de Agricultura Tropical, 2018.

⁵⁶ Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca; Centro Internacional de Agricultura Tropical, 2018.

⁵⁷ Olana-Jawo et al., 2023. Viguera et al., 2019.

⁵⁸ Gomes et al., 2020. Hochachka, 2021. Libert; Ituarte-Lima; Elmqvist, 2020. Wagner et al., 2021.

⁵⁹ Cerda et al., 2020.

⁶⁰ Imbach et al., 2017.

⁶¹ Koutouleas et al., 2022. Vignola et al., 2022. Zaro et al., 2022.

precipitación experimentados por los productores alrededor del mundo⁶². Las variaciones del clima producen aumentos en plagas y enfermedades, incrementos en la evaporación del agua y pérdidas en la cosecha⁶³.

Para reducir hasta en un 75 % los impactos previstos hacia el 2050 del CC sobre el café, se recomienda mantener un porcentaje de cobertura de sombra de entre 10-70 % (a mayor altura menor cobertura)⁶⁴. Una cobertura de sombra del 60-80 % disminuye la tasa de evapotranspiración en el café porque afecta el microclima y la energía radiante dentro del sistema⁶⁵. Los SAFC evitan la migración del café a zonas protegidas como: bosques nativos y paramos, debido a que estos regulan la temperatura del sistema productivo⁶⁶.

Los SAFC sirven para mejorar los atributos sensoriales en el café como la acidez, el tamaño de grano y concentración de cafeína⁶⁷ y favorecen económicamente a los productores por la venta de la leña o madera producida en la finca⁶⁸. Además, de acuerdo con Chain-Guadarrama, Martínez-Salinas, et al.⁶⁹ existen especies de aves y hormigas que son depredadoras naturales de la plaga *Hypothenemus Hampei* (la broca). En SAFC en Costa Rica, se evidenció una reducción en la tasa de infestación de broca hasta en un 50 % por el control biológico de 2.187 pájaros de 97 especies, donde 52 fueron insectívoras⁷⁰. Asimismo, se ha demostrado que las hormigas en presencia de sombrío son más eficaces para controlar la broca, eliminando entre el 74-99 % de los adultos de la plaga⁷¹.

Los agricultores generalmente asocian al café con árboles nativos de la región que están adaptados a las condiciones de la zona⁷². Las especies nativas de la región cafetera de Colombia, donde se encuentra Trujillo, para dar sombra al café son: *Licania Campestre* (Carbonero), *Inga Densiflora Benth* (Guamo), *Cordia Alliodora* (Nogal cafetero), *Eucalyptus Grandis* (Eucalipto), *Erythrina Nodulana* (Cámbulo), *Hevea Brasiliensis* (Caucho)⁷³.

Varios estudios⁷⁴ mostraron que los SAFC pueden secuestrar hasta 40 toneladas de carbono por hectárea (TC ha⁻¹), mientras que los cultivos en monocultivo retienen menos de 17 TC ha⁻¹. Los indicadores que favorecen un mayor secuestro de carbono incluyen la densidad y volumen de biomasa (árboles y cultivos) y la biodiversidad funcional del agroecosistema⁷⁵, que generan sinergias entre adaptación y mitigación al CC y conservan la biodiversidad⁷⁶. Una especie asociada al café que ayuda a mitigar la huella de carbono es *Cordia Alliodora*⁷⁷, capaz de secuestrar más carbono del que emiten las plantas de café⁷⁸.

Los árboles también se utilizan como cercos y barreras vivas rompevientos para proteger a los cultivos frente a lluvias extremas, vendavales y reducir la pérdida de suelo debido a la erosión hídrica al disminuir la velocidad de escorrentía⁷⁹. Los agricultores utilizan diversas especies arbóreas a lo largo de las líneas de contorno del predio, disminuyendo así los costos de establecimiento, mantenimiento en comparación con los cercos muertos⁸⁰.

Prácticas de uso eficiente y conservación del suelo y del agua

Se encontró que los agricultores siembran en sus fincas cultivos en contorno, cultivan en terrazas y hacen compostaje para proporcionar nutrientes al suelo, proteger las fuentes de agua, controlar la erosión de fenómenos como la VC y CC⁸¹. Asimismo, los productores utilizan las hojas caídas de los árboles u otros materiales orgánicos para la preparación de compost⁸² y añaden materiales de cobertura como pasto cortado, arvenses, residuos de cultivos y hojas de árboles durante períodos de sequía⁸³, lo cual permite mantener la humedad del suelo, mejorar la estructura y la actividad biológica del mismo⁸⁴. En comparación con los fertilizantes sintéticos, el

⁶² Olana-Jawo et al., 2023. Viguera et al., 2019.

⁶³ Koh et al., 2020.

⁶⁴ Gomes et al., 2020. Lara-Estrada; Rasche; Schneider, 2023.

⁶⁵ Lin, 2010.

⁶⁶ Läderach et al., 2013.

⁶⁷ Ahmed et al., 2021. Koutouleas et al., 2022.

⁶⁸ Tschora; Cherubini, 2020.

⁶⁹ Chain-Guadarrama; Martínez-Salinas; et al., 2019.

⁷⁰ Martínez-Salinas et al., 2016.

⁷¹ Aristizábal; Metzger., 2019. Armbrrecht; Gallego, 2007.

⁷² Chain-Guadarrama, Martínez-Rodríguez, et al., 2019; Quiroz-Guerrero et al., 2022.

⁷³ Farfán, 2014; Zaro et al., 2022.

⁷⁴ Aravind et al., 2022. Heryandi et al., 2022. Niguse et al., 2022. Ortiz-Ceballos et al., 2020. Oviedo-Celis; Castro-Escobar, 2021.

⁷⁵ Abdissa-Chemeda et al., 2022. Heryandi et al., 2022. Tesfay et al., 2022.

⁷⁶ Canal-Daza; Andrade, 2019. Lara-Estrada; Rasche; Schneider, 2023.

⁷⁷ Andrade; Segura; Suárez, 2023. Andrade; Zapata, 2019.

⁷⁸ Andrade; Segura; Suárez, 2023.

⁷⁹ Chain-Guadarrama, Martínez-Rodríguez, et al., 2019. Nguyen; Drakou, 2021. Sauer et al., 2021.

⁸⁰ Ruiz-Gracia et al., 2019.

⁸¹ Olana-Jawo et al., 2023; Mbawambo; Mourice; Tarimo, 2021. Reyes; Serrano, 2022. Cuni-Sanchez et al., 2022.

⁸² Olana-Jawo et al., 2023. Nguyen; Drakou, 2021.

⁸³ Byrareddy et al., 2021. Olana-Jawo et al., 2023. Mbawambo; Mourice; Tarimo, 2021.

⁸⁴ Lal, 2016.

compostaje de material vegetal aumenta la productividad del suelo, evita su acidificación e incrementa la diversidad y la abundancia de varios grupos microbianos involucrados en el ciclo del nitrógeno, mejorando así la disponibilidad y fijación de este macroelemento en el suelo⁸⁵.

Para hacer un uso eficiente del agua, los productores utilizan especies arbóreas y arbustivas que no compiten por agua ni nutrientes con el café⁸⁶, del mismo modo, reutilizan el agua residual del procesamiento del café (lavado y despulpado) para el riego del cultivo⁸⁷. El riego fue identificado como otra medida de adaptación importante para el café ante los incrementos en la sequía⁸⁸, para evitar pérdidas de turgencia y, en casos extremos, la muerte de las plantas⁸⁹.

Diversificación de cultivos

La diversificación consiste en asociar al café con especies de doble propósito, que además de brindar sombrío al café, tienen otros usos como la producción de leña, madera o frutos, reduciendo la dependencia del café como la única fuente de ingresos⁹⁰. Varios estudios⁹¹ señalaron que los agricultores tienen en sus fincas huertos caseros y cultivos multipropósito tales como hortalizas, árboles frutales (plátanos, aguacates) o maderables.

Para Quiroz-Guerrero et al.⁹² y Verburg et al.⁹³ las fuentes adicionales provenientes de sistemas más diversos contribuyen a la resiliencia a perturbaciones externas y aumentan la seguridad alimentaria, permitiendo el funcionamiento a largo plazo del agroecosistema. Li et al.⁹⁴ demostró que los agroecosistemas diversificados presentaron una ventaja del 14 % sobre los no diversificados ante perturbaciones, como plagas y enfermedades. En SAFC de Costa Rica, los ingresos de la madera y árboles frutales contribuyen entre el 15-34 % de los ingresos adicionales de los hogares⁹⁵.

Las interacciones entre plantas leñosas y herbáceas en los SAFC también pueden mejorar la disponibilidad de nutrientes en el suelo⁹⁶. Los agricultores integran sus SAFC cultivos y árboles fijadores de nitrógeno tales como *Erythrina Poeppigiana* e *Inga Edulis*⁹⁷, pudiendo fijar hasta 555 kg/ha de nitrógeno⁹⁸.

Integración de los saberes locales

Integrar el conocimiento de los agricultores en la percepción del CC e incrementar su confianza en la información meteorológica podría mejorar la probabilidad de implementar medidas de adaptación más efectivas y conocer las condiciones agrícolas y los contextos socioeconómicos locales de los productores⁹⁹, que en su mayoría producen en predios pequeños y viven en regiones montañosas por lo que pueden presentar dificultades para acceder a financiación, crédito, recursos y tecnologías¹⁰⁰. Asimismo, es indispensable promover intercambios entre productores que no emplean prácticas agroecológicas con los que sí, para que puedan compartir sus experiencias¹⁰¹.

Estudios de Bukomeko et al.¹⁰² y Van Der Wolf et al.¹⁰³ obtuvieron que al fomentar el diálogo saberes de las comunidades para elegir variedades arbóreas nativas se pudieron establecer SAFC resilientes y adaptados a las condiciones de la zona. La participación de las comunidades en la toma de decisiones actualmente es reconocida como un punto clave para lograr la sostenibilidad en la gestión de los recursos naturales¹⁰⁴.

A modo de resumen, la Figura 3 muestra los principales beneficios planteados por implementar las estrategias analizadas en este trabajo.

Limitaciones para la implementación de las estrategias planteadas

Para lograr la adaptación al CC y VC es importante fortalecer las capacidades locales, mejorar el acceso a seguros, apoyo técnico y en general, implementar medidas económicas que fomenten la adopción de prácticas agroecológicas en la caficultura¹⁰⁵. Por ejemplo, el

⁸⁵ Tang et al., 2022.

⁸⁶ Ruiz-García et al., 2021.

⁸⁷ Ruiz-García et al., 2021.

⁸⁸ Byrareddy et al., 2021; Nguyen; Drakou, 2021.

⁸⁹ DaMatta; Cochicho Ramalho, 2006.

⁹⁰ Chain-Guadarrama; Martínez-Rodríguez; et al., 2019. Hochachka, 2021. Quiroz-Guerrero et al., 2022.

⁹¹ Anhar et al., 2021. Yayeh-Ayal et al., 2023. Chain-Guadarrama; Martínez-Salinas; et al., 2019. Olana-Jawo et al., 2023. Cuni-Sanchez et al., 2022.

⁹² Quiroz-Guerrero et al., 2022.

⁹³ Verburg et al., 2019.

⁹⁴ Li et al., 2019.

⁹⁵ Vaast et al., 2015.

⁹⁶ Agnoletti; Molina; Gonzalez et al., 2022.

⁹⁷ Vignola et al., 2022. Villarreyna; Avelino; Cerda, 2020.

⁹⁸ Leblanc; McGraw; Nygren, 2007. Nygren et al., 2012.

⁹⁹ Olana-Jawo et al., 2023; Ruiz-García et al., 2021.

¹⁰⁰ Klein et al., 2019.

¹⁰¹ Chain-Guadarrama; Martínez-Rodríguez; et al., 2019.

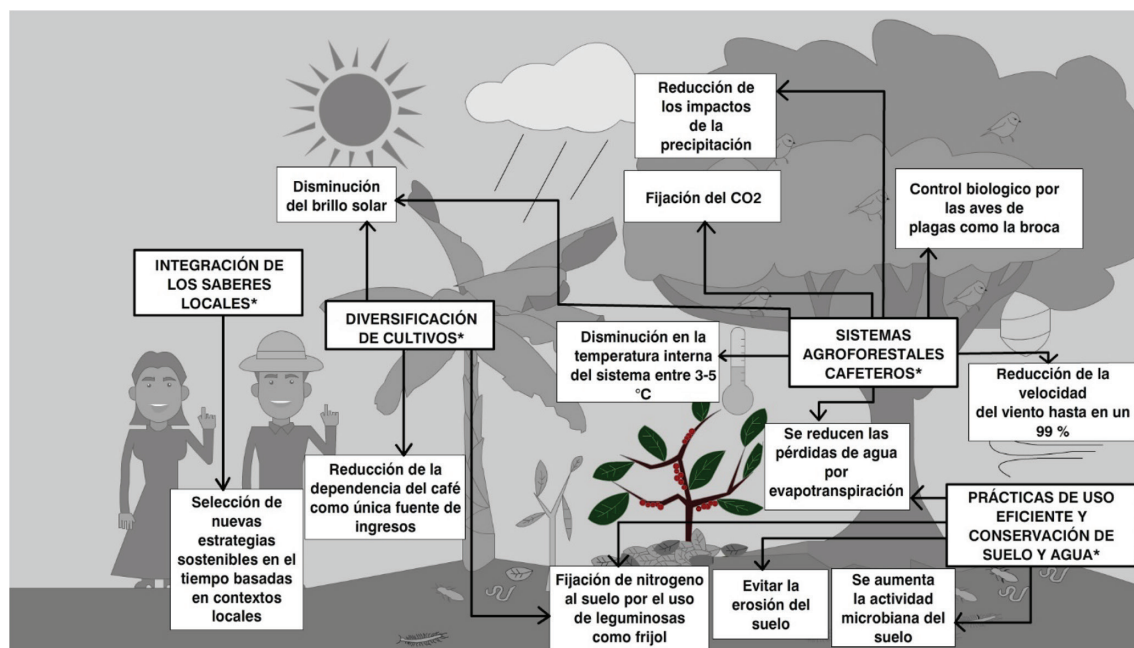
¹⁰² Bukomeko et al., 2019.

¹⁰³ Van Der Wolf et al., 2019.

¹⁰⁴ Datta; Chattopadhyay; Guha, 2012.

¹⁰⁵ Mbwapbo; Mourice; Tarimo, 2021. Nguyen; Drakou, 2021.

Figura 3. Algunos de los beneficios de implementar las estrategias planteadas ante los impactos del CC y VC sobre el café



Fuente: Elaboración propia.

*=Estrategia de adaptación

Programa Nacional de Alimentación Escolar en Brasil establece que el 30 % de los alimentos adquiridos por las escuelas deben ser producidos por pequeños productores en mercados locales¹⁰⁶. Además, la participación en cooperativas cafetaleras, el acceso a la tierra, servicios de crédito y educación y el conocimiento oportuno de la información sobre el CC también influyen positivamente en la adaptación y mitigación al mismo¹⁰⁷.

Actualmente la producción de café es vista por las nuevas generaciones como una actividad lucrativa que abarca todo, desde cultivar su propio café en las tierras de su familia hasta tostarlo y venderlo en sus propios establecimientos¹⁰⁸. No obstante, las limitaciones de tierra, la falta de fondos para invertir en semillas, insumos o tecnologías mejoradas, la falta de asistencia técnica y la poca capacitación agrícola son las principales limitaciones que presenta la implementación de medidas agroecológicas¹⁰⁹.

Conclusiones

De acuerdo con las percepciones de los agricultores de Trujillo, estos han percibido una disminución del 10 %

de la producción multianual, así como un incremento de temperatura de 2° C en los últimos 30 años. Además, estos reportaron que los impactos asociados a la VC y CC fueron: reducciones en la producción por la caída prematura de los cerezos, por el déficit hídrico y el incremento de la aparición de plagas y enfermedades. Asimismo, Trujillo tendrá varios desafíos para la producción de café desde el 2030, ya que ante escenarios de VC y CC será crucial implementar estrategias de adaptación y mitigación para dar respuesta pronta y oportuna para que no se vea afectada la principal actividad socioeconómica del municipio.

Los SAFC pueden reducir hasta un 75 % los efectos negativos del CC y la VC, ofreciendo beneficios importantes para el microclima interno del agroecosistema, como temperaturas de 3 a 5° C más bajas, una disminución de la radiación solar de hasta 29,4 % y un incremento de la humedad relativa de hasta 74,5 %. Además, los SAFC mejoran los atributos sensoriales del café, benefician económicamente a los productores y brindan condiciones de supervivencia a aves y hormigas que controlan plagas como la broca. Indicadores como la densidad y volumen de biomasa y la biodiversidad del agroecosistema están relacionados con un mayor secuestro de carbono.

Los agroecosistemas diversificados presentaron ventajas del 14 % sobre los no diversificados ante plagas

¹⁰⁶ Nicholls; Altieri, 2020.

¹⁰⁷ Ginbo, 2022. Olana-Jawo et al., 2023.

¹⁰⁸ Ruiz-de-Oña; Rivera-Castañeda; Merlín-Urbe, 2019.

¹⁰⁹ Verburg et al., 2019. Olana-Jawo et al., 2023. Reyes; Serrano, 2022.

y enfermedades y representan una fuente de ingresos adicional a los caficultores. Los agricultores integran al café multipropósito como árboles maderables, aguacate, plátano, cítricos y cacao, que pueden ser consumidos por la finca o vendidos, reduciendo la dependencia del café como única fuente de ingresos.

La participación de las comunidades en la toma de decisiones es clave para la sostenibilidad a largo plazo en la gestión de recursos naturales y poseen conocimientos ancestrales sobre las especies arbóreas más adecuadas para enfrentar el CC y VC. Las prácticas de conservación de suelo y agua más empleadas incluyen cultivos en contorno, terrazas, compostaje y barreras vivas, que mejoran la estructura del suelo, controlan la erosión y protegen los cultivos de vendavales y lluvias extremas.

Es importante fortalecer las capacidades locales, mejorar el acceso a seguros, apoyo técnico y en general, implementar medidas políticas que fomenten la adopción de prácticas agroecológicas en la caficultura. La participación en cooperativas cafetaleras, el acceso a la tierra, servicios de crédito y educación y el conocimiento oportuno de la información sobre el CC y VC influyen positivamente en su adaptación y mitigación.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad del Valle por el proyecto CI 8160 y al Ministerio de Ciencia de Colombia por financiar el proyecto de investigación “Fortalecimiento de la competitividad de los cafés especiales del centro del Valle del Cauca”. Además, los autores agradecen al grupo de investigación IREHISA de la Universidad del Valle por el desarrollo de este trabajo de investigación. Finalmente, los autores expresan su agradecimiento al IDEAM, CVC y Cenicafé por brindar información de las variables de la zona de estudio.

Contribución de los autores

Conceptualización: Fra Filippo Casadiego-Arévalo, Juan Camilo Triana-Madrid y Yesid Carvajal-Escobar. **Metodología:** Fra Filippo Casadiego-Arévalo, y Juan Camilo Triana-Madrid. **Análisis formal:** Fra Filippo Casadiego-Arévalo, Juan Camilo Triana-Madrid, y Yesid Carvajal-Escobar. **Investigación:** Fra Filippo Casadiego-Arévalo,

Juan Camilo Triana-Madrid, y Yesid Carvajal-Escobar. **Preparación del borrador original:** Fra Filippo Casadiego-Arévalo, y Juan Camilo Triana-Madrid. **Revisión y edición:** Fra Filippo Casadiego-Arévalo, Juan Camilo Triana-Madrid y Yesid Carvajal-Escobar. **Visualización:** Fra Filippo Casadiego-Arévalo, Juan Camilo Triana-Madrid, y Yesid Carvajal-Escobar. **Supervisión:** Juan Camilo Triana-Madrid, y Yesid Carvajal-Escobar. Todos los autores han leído y aceptado la versión final del manuscrito.

Referencias

- Abdissa-Chemeda, Beshea; Senbeta-Wakjira, Feyera; Birhane-Hizikias, Emiru. 2022: Tree diversity and biomass carbon stock analysis along altitudinal gradients in coffee-based agroforestry system of Western Ethiopia. *Cogent Food & Agriculture*, 8(1). <https://doi.org/10.1080/23311932.2022.2123767>
- Agnoletti, Mauro; Molina Pelegrín, Yenía; González Álvarez, Alejandro. 2022: The traditional agroforestry systems of Sierra del Rosario and Sierra Maestra, Cuba. *Biodiversity and Conservation*, 31(10), 2259-2296. <https://doi.org/10.1007/S10531-021-02348-8>
- Ahmed, Selena; Brinkley, Sarah; Smith, Erin; Sela, Ariella; Theisen, Mitchell; Thibodeau, Cyrena; Warne, Teresa; Anderson, Evan; Van Dusen, Natalie; Giuliano, Peter; Ionescu, Kim; Cash, Sean. 2021: Climate Change and Coffee Quality: Systematic Review on the Effects of Environmental and Management Variation on Secondary Metabolites and Sensory Attributes of *Coffea Arabica* and *Coffea Canephora*. *Frontiers in Plant Science*, 12, 708013. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.708013>
- Altieri, Miguel Ángel. 1999: *Agroecología. Bases científicas para una agricultura sustentable*. Montevideo (Uruguay), Editorial Nordan-Comunidad. <http://agroeco.org/wp-content/uploads/2010/10/Libro-Agroecologia.pdf>
- Altieri, Miguel Ángel; Nicholls, Clara Inés. 2012: Agroecología: Única esperanza para la soberanía alimentaria y la resiliencia socioecológica. *Agroecología*, 7(2), 65-83. <https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/182861>
- Andrade, Hernán J.; Segura, Milena A.; Suárez, Juan Carlos. 2023: Growth and carbon sequestration in biomass of *Cordia Alliodora* in Andean agroforestry systems with coffee. *Agroforestry Systems*, 97(8), 1435-1446. <https://doi.org/10.1007/S10457-023-00868-6>
- Andrade, Hernán J.; Zapata, Piedad C. 2019: Mitigation of Climate Change of Coffee Production Systems in Cundinamarca, Colombia. *Floresta e Ambiente*, 26(3), e20180126. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.012618>

- Anhar, Ashabul; Abubakar, Yusya; Widayat, Heru Prono; Muslih, Ali Muhammad; Baihaqi, Akmhamad. 2021: Altitude, shading, and management intensity effect on Arabica coffee yields in Aceh, Indonesia. *Open Agriculture*, 6(1), 254-262. <https://doi.org/10.1515/opag-2021-0220>
- Aravind, Purushothaman; Champatan, Vipin; Gopi, Girigan; Vijay, Vandit; Smit, Christian; Pande, S.; van den Broeke, L. J. P.; John, T. D.; Illathukandy, Biju; Suresh, A.; Shreedhar, S.; Nandakishor, Thamarassery; Purushothaman, S.; Posada, John; Lindeboom, Rick; Nampoothiri, Madhavan. 2022: Negative emissions at negative cost-an opportunity for a scalable niche. *Frontiers in Energy Research*, 10, 806435. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2022.806435>
- Aristizábal, Natalia; Metzger, Jean Paul. 2019: Landscape structure regulates pest control provided by ants in sun coffee farms. *Journal of Applied Ecology*, 56(1), 21-30. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13283>
- Armbrecht, Inge; Gallego, María Cristina. 2007: Testing ant predation on the coffee berry borer in shaded and sun coffee plantations in Colombia. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 124(3), 261-267. <https://doi.org/10.1111/J.1570-7458.2007.00574.X>
- Ávila, Álvaro; Cardona Guerrero, Fausuri; Carvajal-Escobar, Yesid; Justino, Flavio. 2019: Recent Precipitation Trends and Floods in the Colombian Andes. *Water*, 11(2), 379. <https://doi.org/10.3390/W11020379>
- Ayala, Michael; Lane, Maria; Montúfar, Rommel. 2023: Motivations to adopt Agroecology in rural communities of the Northern Andes of Ecuador. *ESPOCH Congresses: The Ecuadorian Journal of STEAM*, 3(1), 666-694. <https://doi.org/10.18502/espoch.v3i1.14479>
- Bastianin, Andrea; Lanza, Alessandro; Manera, Mateo. 2018: Economic impacts of El Niño southern oscillation: evidence from the Colombian coffee market. *Agricultural Economics*, 49(5), 623-633. <https://doi.org/10.1111/AGEC.12447>
- Bukomeko, Hannington; Jassogne, Laurence; Tumwebaze, Susan Balaba; Eilu, Gerald; Vaast, Philippe. 2019: Integrating local knowledge with tree diversity analyses to optimize on-farm tree species composition for ecosystem service delivery in coffee agroforestry systems of Uganda. *Agroforestry Systems*, 93(2), 755-770. <https://doi.org/10.1007/s10457-017-0172-8>
- Byraredy, Vivekananda; Kouadio, Louis; Mushtaq, Shahbaz; Kath, Jarrod; Stone, Roger. 2021: Coping with drought: Lessons learned from robusta coffee growers in Vietnam. *Climate Services*, 22, 100229. <https://doi.org/10.1016/J.CLISER.2021.100229>
- Canal-Daza, Diana; Andrade-Castañeda, Hernán. 2019: Adaptation to Climate Change in Coffee Production Systems in Tolima. *Floresta e Ambiente*, 26(3), e20171165. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.116517>
- Cerda, Ronaldo; Avelino, Jacques; Harvey, Celia A.; Gary, Christian; Tixier, Philippe; Allinne, Clémentine. 2020: Coffee agroforestry systems capable of reducing disease-induced yield and economic losses while providing multiple ecosystem services. *Crop Protection*, 134, 105149. <https://doi.org/10.1016/J.CROPRO.2020.105149>
- Cerón, Wilmar Loaiza; Andreoli, Rita Valeria.; Kayano, Mary Toshine; Canchala, Teresita.; Ocampo-Marulanda, Camilo; Avila-Diaz, Álvaro; Antunes, Jean. 2022: Trend Pattern of Heavy and Intense Rainfall Events in Colombia from 1981-2018: A Trend-EOF Approach. *Atmosphere*, 13(2), 156. <https://doi.org/10.3390/ATMOS13020156>
- Chain-Guadarrama, Adina; Martínez-Rodríguez, Ruth M.; Cárdenas, José Mario; Vilchez-Mendoza, Sergio; Harvey, Celia A. 2019: Use of Ecosystem-based Adaptation practices by smallholder coffee farmers in Central America. *Agro-nomía Mesoamericana*, 30(1), 1-18. <https://doi.org/10.15517/AM.V30I1.32615>
- Chain-Guadarrama, Adina; Martínez-Salinas, Alejandra; Aristizábal, Natalia; Ricketts, Taylor H. 2019: Ecosystem services by birds and bees to coffee in a changing climate: A review of coffee berry borer control and pollination. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 280, 53-67. <https://doi.org/10.1016/J.AGEE.2019.04.011>
- Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC); Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) 2018: Análisis de vulnerabilidad para el cultivo de café zona norte del Valle del Cauca. https://ecopedia.cvc.gov.co/sites/default/files/archivosAdjuntos/analisis_de_vulnerabilidad_cafe_norte_valle_del_cauca_0.pdf
- Cortés-Cataño, Carlos; Foronda-Tobón, Yennifer; Paez-Ricardo, Jairo; Parra-Herrera, Jairo; Cañon-Ayala, Mario. 2024: The effect of environmental variations on the production of the principal agricultural products in Colombia. *Plos one*, 19(7), e0304035. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0304035>
- Cuni-Sanchez, Aida; Twinomuhangi, Isaac; Berta, Abreham; Mwangi, Ben; Olaka, Lydia; Bitariho, Robert; Soromesa, Teshome; Castro, Brianna; Zafra-Calvo, Noelia. 2022: Everyday adaptation practices by coffee farmers in three mountain regions in Africa. *Ecology and Society*, 27(4), 32. <https://doi.org/10.5751/ES-13622-270432>
- DaMatta, Fabio M.; Cochicho Ramalho, José D. 2006: Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 18(1), 55-81. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202006000100006>
- Datta, Debajit; Chattopadhyay, Rabi N.; Guha, Proshanta. 2012: Community based mangrove management: A review on status and sustainability. *Journal of Environmental Management*, 107, 84-95. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2012.04.013>

- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE)** 2005: *Censo general 2005. Colombia*. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/censo-general-2005-1>
- Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA)** 2024: *Coffee: World Markets and Trade*. <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/downloads?tabName=default%2F>
- Farfán Valencia, Fernando**. 2014: Agroforestería y sistemas agroforestales con café. *Centro Nacional de Investigaciones del Café*. https://www.cenicafe.org/es/publications/Agroforester%C3%ADa_y_sistemas_agroforestales_con_caf%C3%A9.pdf
- Federación Nacional de Cafeteros (FNC)** 2021: *Ensayos sobre economía cafetera n° 35*. <https://federaciondefcafeteros.org/app/uploads/2022/08/Economia-Cafetera-No.-35-FINAL.pdf>
- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (FNC)** 2023a: *Estadísticas cafeteras*. <https://federaciondefcafeteros.org/wp/estadisticas-cafeteras/>
- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (FNC)** 2023b: *Nuestro Valle del Cauca es territorio de cafés sostenibles*. <https://valle.federaciondefcafeteros.org/cafe-de-cauca/>
- García-López, Juan; Laderach, Peter; Posada, Huver**. 2018: Valoración del cambio de aptitud del cultivo de café en Colombia por variación en los escenarios climáticos futuros. *Cenicafé*, 69(1), 91-111. <http://hdl.handle.net/10778/1095>
- Ginbo, Tsegaye**. 2022: Heterogeneous impacts of climate change on crop yields across altitudes in Ethiopia. *Climatic Change*, 170(1-2), 1-21. <https://doi.org/10.1007/s10584-022-03306-1>
- Giraldo, Omar Felipe; Rosset, Peter Michael**. 2021: Social principles of emancipatory agroecologies. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, 58, 708-732. <https://doi.org/10.5380/DMA.V58I0.77785>
- Gomes, Lucas; Bianchi, Felix; Cardoso, Irene; Fernandes, Raphael; Filho, Elpidio; Schulte, Roger**. 2020: Agroforestry systems can mitigate the impacts of climate change on coffee production: A spatially explicit assessment in Brazil. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 294, 106858. <https://doi.org/10.1016/J.AGEE.2020.106858>
- Gómez, Luis Fernando; Ríos-Osorio, Leonardo Alberto; Eschenhagen-Durán, María Luisa**. 2015: El concepto de sostenibilidad en agroecología. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 18(2), 329-337. <https://doi.org/10.31910/rudca.v18.n2.2015.157>
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC)** 2021: *Summary for Policymakers*. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/chapter/summary-for-policymakers/>
- Gutiérrez, Daniel; Bonilla-Granja, Mary; Viáfara-Vega, Ronald; Cárdenas, Heiber**. 2024: Caracterización molecular de accesiones de *Coffea Arabica* L. de Trujillo, Valle del Cauca, Colombia usando marcadores SSR. *Revista de Biología Neotropical / Journal of Neotropical Biology*, 21(1), 50-60. <https://revistas.ufg.br/RBN/article/view/78154>
- Gutiérrez, Luis Eduardo; Rosero, Tatiana Andrea**. 2019: *Plan de desarrollo comunal y comunitario de Trujillo, Valle del Cauca*. Gobernación del Valle del Cauca. <https://www.valledelcauca.gov.co/loader.php?IServicio=Tools2&ITipo=viewpdf&id=31744>
- Hageback, Johanna; Sundberg, Jenny; Ostwald, Madelene; Chen, Deliang; Yun, Xie; Knutsson, Per**. 2005: Climate variability and land-use change in Danangou watershed, China - Examples of small-scale farmers' adaptation. *Climatic Change*, 72(1-2), 189-212. <https://doi.org/10.1007/s10584-005-5384-7>
- Heryandi, Heryandi; Qurniati, Rommy; Darmawan, Airef; Yuliasari, Vita**. 2022: Agroforestry for biodiversity and climate change mitigation in Batuteji Protection Forest, Lampung, Indonesia. *Biodiversitas*, 23, 1611-1620. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d230352>
- Hochachka, Gail**. 2021: Integrating the four faces of climate change adaptation: Towards transformative change in Guatemalan coffee communities. *World Development*, 140, 105361. <https://doi.org/10.1016/J.WORLDDEV.2020.105361>
- Hoyos, Natalia; Escobar, Jaime; Restrepo, Juan; Arango, Ana; Ortiz, Juan Carlos**. 2013: Impact of the 2010-2011 La Niña phenomenon in Colombia, South America: The human toll of an extreme weather event. *Applied Geography*, 39, 16-25. <https://doi.org/10.1016/J.APGEOG.2012.11.018>
- Imbach, Pablo; Beardsley, Megan; Bouroncle, Claudia; Medellín, Claudia; Läderach, Peter; Hidalgo, Hugo; Alfaro, Eric; Van-Etten, Jacob; Allan, Robert; Hemming, Debbie; Stone, Roger; Hannah, Lee; Donatti, Camila**. 2017: Climate change, ecosystems and smallholder agriculture in Central America: an introduction to the special issue. *Climatic Change*, 141(1), 1-12. <https://doi.org/10.1007/s10584-017-1920-5>
- Jaramillo-Robledo, Álvaro**. 2005: Clima andino y café en Colombia. *Cenicafé*. <http://hdl.handle.net/10778/859>
- Klein, Julia; Tucker, Catherine; Steger, Cara; Nolin, Anne; Reid, Robin; Hopping, Kelly; Yeh, Emily; Pradhan, Meeta; Taber, Andrew; Molden, David; Ghate, Rucha; Choudhury, Dhrupad; Alcántara-Ayala, Irasema; Lavorel, Sandra; Müller, Birgit; Grêt-Regamey, Adrienne; Boone, Randall; Bourgeron, Patrik; Castellanos, Edwin; Yager, Karina**. 2019: An integrated community and ecosystem-based approach to disaster risk reduction in mountain systems. *Environmental Science & Policy*, 94, 143-152. <https://doi.org/10.1016/J.ENVSCI.2018.12.034>
- Koh, Ilyun; Garrett, Rachael; Janetos, Anthony; Mueller, Nathaniel**. 2020: Climate risks to Brazilian coffee production. *Environmental Research Letters*, 15(10), 104015. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ABA471>

- Koohafkan, Parviz; Altieri, Miguel Ángel; Holt-Gimenez, Eric. 2012: Green Agriculture: foundations for biodiverse, resilient and productive agricultural systems. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 10(1), 61-75. <https://doi.org/10.1080/14735903.2011.610206>
- Koutouleas, Athina; Sarzynski, Thuan; Bordeaux, Melanie; Bosselmann, Aske Skovmand; Campa, Claudie; Etienne, Hervé; Turreira-García, Nerea; Rigal, Clément; Vaast, Philippe; Cochicho Ramalho, José D.; Marraccini, Pierre.; Raebild, Anders. 2022: Shaded-Coffee: A Nature-Based Strategy for Coffee Production Under Climate Change? A Review. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6, 877476. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.877476>
- Läderach, Peter; Hagggar, Jeremy; Charlotte, Lau; Eitzinger, Anton; Ovalle, Oriana; Baca, María; Jarvis, Andy; Lundy, Mark. 2013: Mesoamerican coffee: building a climate change adaptation strategy. *CIAT Policy Brief*, 2. <https://hdl.handle.net/10568/29001>
- Lal, Rattan. 2016: Beyond COP 21: Potential and challenges of the "4 per Thousand" initiative. *Journal of Soil and Water Conservation*, 71(1), 20A-25A. <https://doi.org/10.2489/JSWC.71.1.20A>
- Lara-Estrada, Leonel; Rasche, Livia; Schneider, Uwe A. 2023: Exploring the cooling effect of shading for climate change adaptation in coffee areas. *Climate Risk Management*, 42. <https://doi.org/10.1016/J.CRM.2023.100562>
- Leblanc, Humberto; McGraw, Robert L.; Nygren, Pekka. 2007: Dinitrogen-fixation by three neotropical agroforestry tree species under semi-controlled field conditions. *Plant and Soil*, 291(1-2), 199-209. <https://doi.org/10.1007/s11104-006-9186-0>
- Li, Junxian; Huang, Lidong; Zhang, Jun; Coulter, Jeffrey; Li, Lingling; Gan, Yantai. 2019: Diversifying crop rotation improves system robustness. *Agronomy for Sustainable Development*, 39(4), 1-13. <https://doi.org/10.1007/s13593-019-0584-0>
- Libert, Antoine; Ituarte-Lima, Claudia; Elmqvist, Thomas. 2020: Learning from social-ecological crisis for legal resilience building: multi-scale dynamics in the coffee rust epidemic. *Sustainability Science*, 15(2), 485-501. <https://doi.org/10.1007/s11625-019-00703-x>
- Lin, Brenda B. 2010: The role of agroforestry in reducing water loss through soil evaporation and crop transpiration in coffee agroecosystems. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150(4), 510-518. <https://doi.org/10.1016/J.AGRFORMET.2009.11.010>
- López, Gabino; Ardón, Mario. 2010: Avances en cosecha, conservación y aprovechamiento de agua y humedad. *Revista LEISA*, 26(3), 28-29. <https://leisa-al.org/web/revista/volumen-26-numero-03/avances-en-cosecha-conservacion-y-aprovechamiento-de-agua-y-humedad/>
- Martínez-Salinas, Alejandra; DeClerck, Fabrice; Vierling, Kerri; Vierling, Lee; Legal, Luc; Vilchez-Mendoza, Sergio; Avelino, Jacques. 2016: Bird functional diversity supports pest control services in a Costa Rican coffee farm. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 235, 277-288. <https://doi.org/10.1016/J.AGEE.2016.10.029>
- Mbwambo, Susana G.; Mourice, Sixbert; Tarimo, Akwilin J. P. 2021: Climate Change Perceptions by Smallholder Coffee Farmers in the Northern and Southern Highlands of Tanzania. *Climate*, 9(6), 90. <https://doi.org/10.3390/CLI9060090>
- Moher, David; Liberati, Alessandro; Tetzlaff, Jennifer; Altman, Douglas; The PRISMA Group. 2009: Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *PLOS Medicine*, 6(7), e1000097. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PMED.1000097>
- Nguyen, Nga; Drakou, Evangelia G. 2021: Farmers' intention to adopt sustainable agriculture hinges on climate awareness: The case of Vietnamese coffee. *Journal of Cleaner Production*, 303, 126828. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2021.126828>
- Nicholls, Clara Inés; Altieri, Miguel. 2020: Caminos para la Amplificación de la Agroecología. *Revista agroecología*, 14(1), 41-54. <http://hdl.handle.net/10201/125384>
- Niguse, Gezahegn; Iticha, Birhanu; Kebede, Getenet; Chimdi, Achalu. 2022: Contribution of coffee plants to carbon sequestration in agroforestry systems of Southwestern Ethiopia. *The Journal of Agricultural Science*, 160(6), 440-447. <https://doi.org/10.1017/S0021859622000624>
- Nygren, Pekka; Fernández, María; Harmand, Jean-Michel; Leblanc, Humberto. 2012: Symbiotic dinitrogen fixation by trees: an underestimated resource in agroforestry systems? *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 94, 123-160. <https://doi.org/10.1007/S10705-012-9542-9>
- Olana-Jawo, Tariku; Kyereh, Dennis; Lojka, Bohdan. 2023: The impact of climate change on coffee production of small farmers and their adaptation strategies: a review. *Climate and Development*, 15(2), 93-109. <https://doi.org/10.1080/17565529.2022.2057906>
- Organización de las Naciones Unidas (ONU) 2018: *Informe de los objetivos de desarrollo sostenible*. <https://unstats.un.org/sdgs/files/report/2018/TheSustainableDevelopmentGoalsReport2018-es.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) 2018: *El futuro de la alimentación y la agricultura. Vías alternativas hacia el 2050*. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/3efa27f5-4ba0-4c39-a08b-2743f575dd7a/content>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) 2020: *Versión resumida de El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Superar los desafíos relacionados con el agua en la agricultura*. <https://doi.org/10.4060/cb1441es>

- Ortiz-Ceballos, Gustavo; Vargas-Mendoza, Mónica; Ortiz-Ceballos, Angel; Briseño, Mantín; Ortiz-Hernández, Gustavo.** 2020: Aboveground Carbon Storage in Coffee Agroecosystems: The Case of the Central Region of the State of Veracruz in Mexico. *Agronomy*, 10(3), 382. <https://doi.org/10.3390/AGRONOMY10030382>
- Ovalle-Rivera, Oriana; Läderach, Peter; Bunn, Christian; Obersteiner, Michael; Schroth, Gotz.** 2015: Projected Shifts in *Coffea Arabica* Suitability among Major Global Producing Regions Due to Climate Change. *PLOS ONE*, 10(4), e0124155. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0124155>
- Oviedo-Celis, Ricardo Andrés; Castro-Escobar, Edisson Steven.** 2021: Un análisis comparativo de la sostenibilidad de sistemas para la producción de café en fincas de Santander y Caldas, Colombia. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 22(3), e2230. https://doi.org/10.21930/rcta.vol22_num3_art:2230
- Parada-Molina, Paulo Cesar; Cerdán, Carlos; Ortiz-Ceballos, Gustavo; Barradas-Miranda, Víctor L.; Cervantes-Pérez, Juan.** 2020: Hemileia Vastatrix: una prospección ante el cambio climático. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 7(3), e2507. <https://doi.org/10.19136/era.a7n3.2507>
- Patiño-González, Alejandra; Psadeghian-Khalajabadi, Siahvosh; Montoya-Restrepo, Esther.** 2006: Caracterización de la fertilidad del suelo de la zona cafetera del Valle del Cauca mediante registros históricos. *Cenicafé*, 57(1), 7-16. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/182>
- Poveda, Germán.** 2004: La hidroclimatología de Colombia: una síntesis desde la escala inter-decadal hasta la escala diurna. *Revista de La Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 28(107), 201-221. [https://doi.org/10.18257/RACCE-FYN.28\(107\).2004.1991](https://doi.org/10.18257/RACCE-FYN.28(107).2004.1991)
- Poveda, Germán; Jaramillo, Alvaro; Gil, Martha María; Quiceño, Natalia; Mantilla, Ricardo.** 2001: Seasonally in ENSO-related precipitation, river discharges, soil moisture, and vegetation index in Colombia. *Water Resources Research*, 37(8), 2169-2178. <https://doi.org/10.1029/2000WR900395>
- Quintero, Carolina; Arce, Alejandra; Andrieu, Nadine.** 2024: Evidence of agroecology's contribution to mitigation, adaptation, and resilience under climate variability and change in Latin America. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 48(2), 228-252. <https://doi.org/10.1080/21683565.2023.2273835>
- Quiroz-Guerrero, Ismael; Pérez-Vázquez, Arturo; Landeros-Sánchez, Cesáreo; Gallardo-López, Felipe; Velasco-Velasco, Joel; Benítez-Badillo, Griselda.** 2022: Resilience of coffee agroecosystems in light of climate change. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 25(3), #104. <https://doi.org/10.56369/tsaes.4161>
- Regalado, Jorge; Rodríguez, Rodrigo.** 2020: Resistencias urbanas al cambio climático: Consumo crítico, agroecología y defensa del territorio en Guadalajara, Jalisco, México. *Agua y Territorio / Water and Landscape*, 16, 23-34. <https://doi.org/10.17561/at.16.5559>
- Reyes, José; Serrano, Annery.** 2022: Vulnerability to climate variability of productive livelihoods in the Tagua watershed, Honduras. *Discover Sustainability*, 3(1), 1-14. <https://doi.org/10.1007/s43621-022-00086-7>
- Ruiz-de-Oña, Celia; Rivera-Castañeda, Patricia; Merlín-Uribe, Yair.** 2019: Coffee, Migration and Climatic Changes: Challenging Adaptation Dichotomic Narratives in a Transborder Region. *Social Sciences*, 8(12), 323. <https://doi.org/10.3390/SOCS-8120323>
- Ruiz-García, Patricia; Conde-Álvarez, Cecilia; Gómez-Díaz, Jesus; Monterroso-Rivas, Alejandro.** 2021: Projections of local knowledge-based adaptation strategies of Mexican coffee farmers. *Climate*, 9(4), 60. <https://doi.org/10.3390/cli9040060>
- Ruiz-Gracia, Patricia; Gomez-Díaz, Jesus; Monterroso-Rivas, Alejandro; Uribe-Gomez, Miguel.** 2019: Tecnologías agroforestales para una Selva Baja Caducifolia: propuesta metodológica. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 10(55). <https://doi.org/10.29298/RMCFV10I55.589>
- Sauer, Thomas; Dold, Christan; Ashworth, Amanda J.; Nieman, Christine C.; Hernandez-Ramirez, Guillermo; Philipp, Dirk; Gennadiev, Alexander N.; Chendev, Yury G.** 2021: Agroforestry Practices for Soil Conservation and Resilient Agriculture, in Udawatta, Ranjith.P.; Jose, Shibu (Eds), *Agroforestry and Ecosystem Services*. Cham (Switzerland), Springer, 19-48. https://doi.org/10.1007/978-3-030-80060-4_2
- Tang, Quang; Cotton, Anne; Wei, Zhijun; Xia, Yongqiu; Daniell, Tim; Yan, Xiaoyuan.** 2022: How does partial substitution of chemical fertilizer with organic forms increase sustainability of agricultural production? *Science of The Total Environment*, 803, 149933. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2021.149933>
- Tesfay, Hafte; Negash, Mesele; Godbold, Douglas; Hager, Herbert.** 2022: Assessing Carbon Pools of Three Indigenous Agroforestry Systems in the Southeastern Rift-Valley Landscapes, Ethiopia. *Sustainability*, 14(8), 4716. <https://doi.org/10.3390/SU14084716>
- Tirado Mejía, Álvaro; López Díez, Juan Carlos; Álvarez Múnera, José Roberto; Vélez Vallejo, Roberto; Leibovich, José; González-Sanguino, Nancy.** 2017: *Federación Nacional de Cafeteros de Colombia 1927-2017, 90 años. Vivir el café y sembrar el futuro*. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia 1927-2017, 90 Años. Medellín (Colombia), Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, Universidad EAFIT. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/4277>

- Triana-Madrid, Juan Camilo; Ocampo-Marulanda, Camilo; Carvajal-Escobar, Yesid; Torres-Lopez, Wilmar; Triana, Josua; Canchala, Teresita. 2023: Estimation of monthly reference evapotranspiration with scarce information using machine learning in southwestern Colombia. *Meteorologica*, 48(2), e024. <https://doi.org/10.24215/1850468Xe024>
- Tschora, Heloise; Cherubini, Francesco. 2020: Co-benefits and trade-offs of agroforestry for climate change mitigation and other sustainability goals in West Africa. *Global Ecology and Conservation*, 22, e00919. <https://doi.org/10.1016/J.GECCO.2020.E00919>
- Vaast, Phillippe; Martínez, Mario; Boulay, Axelle; Castillo, Benito Dzib; Harmand, Jean-Michel. 2015: Diversifying central american coffee agroforestry systems via revenue of shade trees, in Ruf, François; Schroth, Götz (Eds.), *Economics and Ecology of Diversification: The Case of Tropical Tree Crops*, Versailles (France), Éditions Quæ, Springer Dordrecht, 271-281. https://doi.org/10.1007/978-94-017-7294-5_13
- Van Der Wolf, Just; Jassogne, Laurence; Gram, Gil; Vaast, Philippe. 2019: Turning local knowledge on agroforestry into an online decision-support tool for tree selection in smallholders' farms. *Experimental Agriculture*, 55(S1), 50-66. <https://doi.org/10.1017/S001447971600017X>
- Verburg, René; Rahn, Eric; Verweij, Pita; van Kuijk, Marijke; Ghazoul, Jaboury. 2019: An innovation perspective to climate change adaptation in coffee systems. *Environmental Science & Policy*, 97, 16-24. <https://doi.org/10.1016/J.ENVSCI.2019.03.017>
- Vignola, Raffaele; Esquivel, Jimena; Harvey, Celia; Rapidel, Bruno; Bautista-Solis, Pavel; Alpizar, Francisco; Donatti, Camila; Avelino, Jacques. 2022: Ecosystem-Based Practices for Smallholders' Adaptation to Climate Extremes: Evidence of Benefits and Knowledge Gaps in Latin America. *Agronomy*, 12(10), 2535. <https://doi.org/10.3390/AGRONOMY12102535>
- Viguera, Barbara; Alpizar, Francisco; Harvey, Celia A; Martínez-Rodríguez, Ruth M.; Saborío-Rodríguez, Milagro. 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>
- Villarreyna, Rogelio Antonio; Avelino, Jacques; Cerda, Rolando. 2020: Ecosystem-based adaptation: effect of shade trees on ecosystem services in coffee plantations. *Agronomía Mesoamericana*, 31(2), 499-516. <https://doi.org/10.15517/AM.V31I2.37591>
- Wagner, Sigrun; Jassogne, Laurence; Price, Elizabeth; Jones, Martin; Preziosi, Richard. 2021: Impact of Climate Change on the Production of Coffea Arabica at Mt. Kilimanjaro, Tanzania. *Agriculture*, 11(1), 53. <https://doi.org/10.3390/AGRICULTURE11010053>
- Wezel, Alexander; Herren, Barbara; Kerr, Rachel; Barrios, Edmundo; Gonçalves, André; Sinclair, Fergus. 2020: Agroecological principles and elements and their implications for transitioning to sustainable food systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 40, 1-13. <https://doi.org/10.1007/s13593-020-00646-z>
- Yayeh-Ayal, Desalegn; Nure, Ansha; Tesfay, Bechaye; Ture, Kassahu; Terefe, Tadesse. 2023: An appraisal on the determinants of adaptation responses to the impacts of climate variability on coffee Production: Implication to household food security in Nensebo Woreda, Ethiopia. *Climate Services*, 30, 100383. <https://doi.org/10.1016/J.CLISER.2023.100383>
- Zaro, Geovanna; Caramori, Paulo; Wrege, Marcos; Caldana, Nathan; Filho, Jorin; Morais, Heverly; Yada, George; Calamori, Daniel. 2022: Coffee crops adaptation to climate change in agroforestry systems with rubber trees in southern Brazil. *Scientia Agricola*, 80. <https://doi.org/10.1590/1678-992X-2021-0142>
- Zullo, Jurandir; Pinto, Hilton; Delgado, Eduardo; de Ávila, Ana. 2011: Potential for growing Arabica coffee in the extreme south of Brazil in a warmer world. *Climatic Change*, 109, 535-548. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0058-0>