

CIENCIA DE LAS PLANTAS

Producción de café en Nicaragua: un análisis desde la sanidad vegetal

Coffee production in Nicaragua: An analysis from a plant health perspective

Juan Carlos Morán Centeno

¹ Maestro en ciencia en Agroecología, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6135-7271> / juan.moran@ci.una.edu.ni
Universidad Nacional Agraria



RESUMEN

La caficultura en Nicaragua representa una actividad económica y social clave, especialmente para pequeños productores rurales. Este artículo analiza los sistemas de producción de café desde la perspectiva de la sanidad vegetal, destacando los desafíos fitosanitarios, sociales y ambientales que enfrenta el cultivo. Se identifican plagas como la roya (*Hemileia vastatrix*), considerada la más destructiva, con impactos severos en la productividad y economía de las familias productoras. El estudio resalta la importancia de la macrofauna edáfica en la salud del suelo y su influencia en la productividad de café, sin embargo, el uso intensivo de agroquímicos y la falta de manejo adecuado afectan negativamente a estos organismos beneficiosos. A nivel social, se observa una población productora envejecida, con bajo nivel educativo y escaso acceso a tecnologías, lo que limita la adopción de prácticas sostenibles. Las prácticas tradicionales, como el manejo de sombra y podas, siguen siendo fundamentales para reducir el uso de agroquímicos y mejorar la sanidad del cultivo. Asimismo, la introducción de variedades resistentes a la roya ha sido una estrategia clave, aunque limitada por la informalidad en su implementación. Se resalta la necesidad de fortalecer la investigación, la asistencia técnica

ABSTRACT

Coffee farming in Nicaragua represents a key economic and social activity, especially for small rural producers. This article analyzes coffee production systems from a plant health perspective, highlighting the phytosanitary, social, and environmental challenges facing the crop. Pests such as coffee rust (*Hemileia vastatrix*), considered the most destructive, are identified, with severe impacts on the productivity and economy of coffee-producing families. The study emphasizes the importance of soil macrofauna in soil health and its influence on coffee productivity; however, the intensive use of agrochemicals and the lack of proper management negatively affect these beneficial organisms. At the social level, the farming population is aging, with low levels of education and limited access to technology, which restricts the adoption of sustainable practices. Traditional practices, such as shade management and pruning, remain fundamental for reducing the use of agrochemicals and improving crop health. Likewise, the introduction of rust-resistant varieties has been a key strategy, although limited by the informal nature of its implementation. The need to strengthen research, technical assistance, and education for producers is highlighted to improve

Recibido: 18 de junio del 2025

Aceptado: 5 de noviembre del 2025



Los artículos de la revista La Calera de la Universidad Nacional Agraria, Nicaragua, se comparten bajo términos de la licencia Creative Commons: Reconocimiento, No Comercial, Compartir Igual. Las autorizaciones adicionales a las aquí delimitadas se pueden obtener en el correo donaud.juarez@ci.una.edu.ni

© Copyright 2025. Universidad Nacional Agraria (UNA).

CIENCIA DE LAS PLANTAS

y la educación de los productores para mejorar la sostenibilidad del sistema cafetalero, considerando la biodiversidad, el manejo integrado de plagas y enfermedades, y la adaptación al cambio climático.

Palabra clave: caficultura, sanidad vegetal, roya, macrofauna edáfica, manejo agroecológico, pequeños productores.

the sustainability of the coffee system, considering biodiversity, integrated pest and disease management, and adaptation to climate change.

Keywords: coffee growing, plant health, rust, soil macrofauna, agroecological management, small producers.

La producción de café (*Coffea arabica* L.) representa alrededor de 125 millones de empleos en el mundo, cultivándose en 80 países distribuidos en África, América Latina y Asia; esto lo convierte en el segundo producto comercializado después del petróleo, contribuyendo significativamente a la economía en los países productores, principalmente en aquellos en vía de desarrollo (Castro y Berrezueta, 2020; Enriquez *et al.*, 2020; Rojas-Ruiz *et al.*, 2020; Villalta-Villalobos y Gatica-Arias, 2019). Este cultivo se establece entre 500 y 1 800 metros de altitud (Leguizamo-Sotelo *et al.*, 2024), los agroecosistemas productivos son de importancia económica y ecológica a nivel mundial, debido a su impacto financiero y ambiental en especial en países en vías de desarrollo (Escamilla-Prado *et al.*, 2021; Siu Palma *et al.*, 2023), los que están en constante regeneración, sin embargo, cuando existe una intervención humana persistente, provoca desequilibrio ecológico, lo que crea condiciones favorables para diversos patógenos (Alhubaid e Ismal, 2024; Araaf y Ahaned, 2024).

En países como Nicaragua, la caficultura involucra a miles de pequeños productores y representa una fuente clave de empleo rural (Leguizamo-Sotelo *et al.*, 2024; Salazar y Jiménez, 2022), quienes utilizan tecnologías tradicionales en el manejo agronómico, siendo el uso de plaguicidas la primera opción, esto conlleva a invertir mayor cantidad de recursos económicos en cada ciclo agrícola, sin embargo, los productores han alcanzado el 60 % en eficiencia tecnológica, lo que representa una oportunidad de mejorar sus procesos productivos (Siu Palma *et al.*, 2023; Urbina, 2017). La demanda de café de mejor calidad hace necesario el estudio detallado de los sistemas de producción, desde el aspecto social, cultural, productivo y ambiental, al ser un refugio para la biodiversidad y su conservación (Lamí *et al.*, 2020; Morán-Centeno y Jiménez-Martínez, 2023; Rodríguez-del Toro *et al.*, 2023).

El funcionamiento eficiente de los sistemas de producción de café se destaca por ser complejo y dinámico. Estas relaciones dependen del manejo agronómico donde la mano de obra masculina, poco calificada, con edades mayores a los 40 años es predominante, otros aspectos relevantes son la mezcla de variedades y asociaciones con árboles de sombra, frutales y cultivos, que se traducen en incremento de afectaciones por plagas y enfermedades al cultivo cuando

no se tiene un manejo adecuado (Aviles Peralta *et al.*, 2022; Gasparín-García *et al.*, 2023).

Diversas investigaciones han abordado la relación entre el diseño de sistemas productivos de café y la diversidad de la macrofauna, destacando su potencial como bioindicador (Quiroz-Medina *et al.*, 2021; Vargas y Laguna, 2017). El estudio de las relaciones bióticas dentro del agroecosistema de café demuestra que existen diversos artrópodos y fitopatógenos que afectan hojas, tallos, raíces y frutos, sin embargo, también existen artrópodos que desempeñan un papel benéfico (Morán-Centeno y Jiménez-Martínez, 2024). Quiroz-Medina y Bárcenas-Lanzas (2023), indican que algunos artrópodos realizan funciones de depredación y parasitismo. Estos organismos son afectados directamente por el uso de productos químicos y la actividad antrópica de manera negativa (Lamí *et al.*, 2020).

La presencia de la macrofauna es importante para el funcionamiento adecuado del subsistema suelo, al reciclar material orgánico e influir significativamente en las características físicas y químicas del suelo, estos organismos crean condiciones adecuadas para el crecimiento y reproducción de la planta de cafeto por lo que su conservación, estudio y manejo son fundamentales para la sanidad del cultivo (Lamí *et al.*, 2020; Morán-Centeno y Jiménez-Martínez, 2024).

Algunos organismos patógenos afectan las plantas de café, siendo la roya (*Hemileia vastatrix*) la enfermedad más destructiva a nivel mundial en las últimas décadas, debido a los constantes cambios en el ambiente. Márquez y Julca (2015), hace mención que el manejo de la vegetación del estrato superior reduce los efectos negativos del clima en las plantas de café, sin embargo, si no se maneja adecuadamente, facilita la proliferación de enfermedades, que pueden afectar con mayor severidad a la especie arábica (Escamilla, 2016; Escamilla-Prado *et al.*, 2021; Libert-Amico y Paz-Pellat, 2018; Piloza-Mantuano *et al.*, 2022).

Esta enfermedad en caso de afectaciones severa pone en riesgo la estabilidad económica de las familias productoras, impactando directamente en la economía local, nacional y regional (Cardeña-Basilio *et al.*, 2019, 2023). Estudios de Amico (2016) y Escamilla (2016) mencionan que para evitar afectaciones por la enfermedad, en términos de calidad y cantidad de café los productores han adaptado diferentes estrategias de manejo, siendo el muestreo,

CIENCIA DE LAS PLANTAS

monitoreo, controles culturales y químicos, las principales, sin embargo, expresan que una de las desventajas del control químico es que no se realiza un registro sistemático de los agrotóxicos empleados y del comportamiento de la enfermedad en el ciclo agrícola del cultivo. El objetivo de esta investigación es realizar un análisis sobre los sistemas de producción de café en Nicaragua desde la perspectiva de los factores fitosanitarios, ecológicos y sociales que influyen en la sanidad vegetal del cultivo.

METODOLOGÍA

Estrategia de búsqueda de información. Se realizó la búsqueda de bibliografía científica durante los meses de noviembre 2024 a marzo 2025, en revistas científicas indexadas y bases de datos certificadas de la web (Google académico, Web of Science y Scielo); se condicionó la búsqueda únicamente a artículos científicos de los últimos diez años que abordan temas relacionados al estudio de sistemas productivos de café, macrofauna edáfica y sus funciones en el ecosistema de café, así como las afectaciones por roya. Se efectuó un análisis del material bibliográfico consultado, desde una perspectiva de la sanidad vegetal.

La información se organizó desde la perspectiva social, productiva, manejo y funciones ecológica de la macrofauna edáfica, así como, las afectaciones de roya en la planta de café. Las variables analizadas corresponden a aspectos sociales y productivos, variedades cultivadas, relación de la macrofauna edáfica y la sanidad del café e impacto de la roya en los sistemas de producción de café.

Aspectos sociales y productivos. Se revisó la literatura concerniente a los aspectos sociales y productivos de los sistemas de producción de café, en estudio de Guerrero-Carrera *et al.* (2020), publicaron que determinar los aspectos sociales y productivos de los productores de café, es determinante para el análisis del sistema.

Variedades cultivadas. La selección de la variedad a establecer dentro de las plantaciones de café se ha reportado como una estrategia ante los aspectos del cambio climático y las afectaciones de plagas y enfermedades (Gasparín-García *et al.*, 2023).

Relación de la macrofauna edáfica y la sanidad del café. Las prácticas de manejo del productor influyen directamente en el comportamiento de la macrofauna edáfica dentro de los sistemas de producción de café, esto es mencionado por Zhang *et al.* (2022) y Morel y Ortiz Acosta, (2022), quienes destacan la importancia del equilibrio ecológico en las áreas de producción de café.

Impacto de la roya en los sistemas de producción de café. Considerando la importancia de las enfermedades foliares

en el cultivo de café, en la reducción de los rendimientos, comprender su comportamiento es vital para los productores, en la búsqueda de estrategias de manejo, esto es señalado por Julca-Otiniano *et al.* (2023); Castillo *et al.* (2020), quienes destacan la roya como la de mayor importancia.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los sistemas de producción de café enfrentan una alta presión fitosanitaria, con presencia de plagas y enfermedades que afectan significativamente la producción y calidad del grano. Las plagas de mayor importancia corresponden a: broca del café (*Hypothenemus hampei*), nematodos fitoparásitos (*Pratylenchus* y *Meloidogyne*), minador de la hoja (*Leucoptera coffeella*) y gallina ciega (*Phyllophaga* spp.); en el caso de las enfermedades, la roya del café (*Hemileia vastatrix*) es la más extendida y dañina, seguida por ojo de gallo (*Mycena citricolor*), mal de hilachas (*Corticium koleroga*), mancha de hierro (*Cercospora coffeicola*), y en menor frecuencia la marchitez vascular (*Fusarium oxysporum*) (Jarquín y Jiménez, 2021; Leguizamo-Sotelo *et al.*, 2024).

Villarreyna *et al.* (2020); Santiago-Santiago *et al.* (2023), determinaron que la roya puede reducir los rendimientos en un 30 % y en algunos casos, pérdidas hasta de 50 %, lo que tiene un efecto directo sobre los ingresos de los pequeños productores, quienes son vulnerables antes estas afectaciones. En Nicaragua se identificó que los factores que favorecieron la roya en ciclo agrícola 2012 y 2013, fueron los aspectos sociales y de manejo; al no tener un nivel de conocimiento de la enfermedad, no emplearon estrategias de manejo adecuadas para mitigar el impacto de la enfermedad (Villarreyna *et al.*, 2020).

En el caso de *Cercospora coffeicola*, representa una amenaza significativa en Nicaragua y en diferentes regiones productoras de café en el mundo, debido a su amplio rango de hospederos y daños causado a la planta (De Souza *et al.*, 2025).

Aspectos sociales y productivos. Según el Ministerio Agropecuario [MAG], (2023), se registran 168 624 hectáreas de café, de las cuales el 84 % pertenecen a pequeños productores, y la mayoría de las áreas están ubicadas en los departamentos de Jinotega, Matagalpa y Nueva Segovia, en la zona Central Norte de Nicaragua, predominando parcelas menores o iguales a una hectárea. Al analizar las relaciones que existen en los sistemas de producción de café, Quiroz-Medina *et al.* (2021), mencionan que las interacciones que ocurren en estos sistemas productivos son complejas y dinámicas, por lo que se debe analizar desde diferentes perspectivas, siendo el conocimiento de las características de los productores crucial para desarrollar estrategias de manejo (González *et al.*, 2019; Leguizamo-Sotelo *et al.*, 2024). En los aspectos demográficos se destaca que los productores de café son mayores de 50 años, esto dificulta

CIENCIA DE LAS PLANTAS

las labores agrícolas que se traduce en bajos rendimientos, que se adapten nuevas tecnologías productivas y de manejo de plagas y enfermedades (Jaramillo-Villanueva *et al.*, 2022; Morán-Centeno y Jiménez-Martínez, 2023).

La experiencia de los productores de café en Nicaragua representa una oportunidad en cuanto a la adopción de estrategias de manejo, para mitigar los constantes cambios en los modelos productivos alcanzar la sostenibilidad; esto es ratificado Bro *et al.* (2017), al indicar que en el norte de Nicaragua la adopción de prácticas sostenibles en la producción de café es notoria entre los productores de mayor edad. Benavides y Rivillas, (2021); Jarquín y Martínez-Jiménez, (2021); Morán-Centeno y Jiménez-Martínez (2023) y Salazar Hitcher y Jiménez-Martínez (2022) señalan que el nivel académico dificulta la adopción tecnológica; así como la no organización de los productores, limitan el acceso a tecnologías, conocimientos técnicos y acceso a créditos, lo que tiene un efecto directo sobre la producción, comercialización y bienestar familiar.

Los sistemas agrícolas tradicionales, se caracterizan por tener una aplicación de conocimiento que se ha transmitido de generación en generación, los campesinos cafetaleros han creado el conocimiento suficiente para hacer frente a los problemas que se desarrollan dentro de sus cafetales (Cruz *et al.*, 2015). En algunas regiones productoras de café, la implementación de prácticas culturales continúan vigentes y son transmitidas a las siguientes generaciones, así como el uso de herramientas manuales; Morán Centeno y Jiménez-Martínez (2023), resaltan que la falta de planificación y asesoría técnica para el manejo del cultivo son una barrera para la producción y calidad del café; la utilización de herramientas manuales como machete, azadón, pala y otros instrumentos, constituyen el nivel tecnológico en las pequeñas explotaciones de producción de café, lo que representa un verdadero desafío productivo (Cruz *et al.*, 2015).

La producción de café en Nicaragua debe ser abordada desde los aspectos sociales, principalmente la formación técnica, ya que son los miembros de la familia, comunidad circundante, quienes están inmersos en las labores de manejo agronómico; al tener mayores competencias, pueden tomar decisiones basadas en aspectos técnicos y científicos que contribuyen a incrementar los rendimientos, los ingresos y el bienestar de las familias y comunidades rurales.

Algunos aspectos de los sistemas de producción de café son descritos por Bacon *et al.* (2021), quienes afirman que en Nicaragua muchas áreas de producción son pequeñas (≤ 3.5 hectáreas), cuentan con diversidad de cultivos entre los que destacan maíz (*Zea mays* L.), frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), frutas, hortalizas, plantas medicinales y árboles maderables, lo que confiere plantaciones sanas y sostenibles, sin embargo, se carece de cuantificación económica en

su totalidad, debido a que los productores consideran la rentabilidad del sistema únicamente con el rendimiento del grano de café (Burbano *et al.*, 2022).

Sanidad vegetal. Las plantas de café son afectadas por diversas enfermedades foliares y edáficas; Benavides y Rivillas, (2021); Bacon *et al.* (2021); Guzmán-Luna *et al.* (2022) y Palomino-Rizo *et al.* (2022) destacan que la nutrición y el manejo de sombra, humedad del suelo y de arvenses, son fundamentales para mantener las plantaciones libres de afectaciones. En Nicaragua las áreas de producción de café (en su mayoría), están bajo el sistema de sombra, las afectaciones por plagas y enfermedades son manejadas de forma tradicional, empleando en más del 60 % control químico, siendo los insecticidas, funguicidas y herbicidas los de mayor uso, en cambio, la implementación de prácticas culturales como las podas sanitarias, de formación y manejo de sombra se emplean en menor proporción, principalmente en el manejo de enfermedades foliares como la roya y mancha de hierro, así como el uso de trampas y pepena de granos de café para el manejo de plagas insectiles como la broca (Molina Ospina, 2019; Morán-Centeno y Jiménez-Martínez, 2023; Siu Palma y Morán Centeno, 2025; Siu Palma *et al.*, 2023). Esto no es diferente en otras regiones cafetaleras de Centro América y México, como lo mencionan Leguizamó-Sotelo *et al.* (2024), al indicar que la implementación de modelos productivos poco tecnificados (aplicación de agrotóxicos y manejo de sombra) se traducen en la obtención de bajos rendimientos.

Variedades cultivadas. En Nicaragua las variedades de café predominante son Caturra, Catuai, Catimor, Villa Sarchi, Lempira y Paca, estas variedades han sido introducida a los sistemas de producción como una estrategia de búsqueda de resistencia ante las afectaciones por roya, así como su adaptabilidad a las condiciones ambientales, edáficas y de manejo en las zonas productoras del país (Jarquín y Jiménez-Martínez, 2021; Ministerio Agropecuario y Forestal [MAGFOR], 2019; Morán-Centeno y Jiménez-Martínez, 2023; Piloza-Mantuano *et al.*, 2022; Salazar Hitcher y Jiménez-Martínez, 2022; Siu Palma *et al.*, 2023). Julca-Otiniano *et al.* (2023), mencionan que la variabilidad genética en el cultivo de café es producto de procesos de mejoramiento genético orientados a disminuir la susceptibilidad de la planta a la afectación por plagas y enfermedades, sin embargo, también indican que el desarrollo de una variedad puede tardar hasta 25 años, con un enorme gasto de dinero y tiempo por parte de los investigadores; por lo cual la estrategia adoptada por los países productores ha sido la introducción de variedades.

Benavides y Rivillas, (2021); Jarquín y Jiménez-Martínez (2021); Salazar Hitcher y Jiménez-Martínez

CIENCIA DE LAS PLANTAS

(2022); Siu Palma y Morán Centeno, (2025), destacan que la variedad Catimor, es cultivada en más del 80 % de los sistemas de producción; en su momento fue introducida en busca de resistencia a las afectaciones por roya y por su calidad (excelente tasa).

Prácticas de manejo.

Existen factores relevantes que determinan la percepción y las posibles medidas de adaptación de los sistemas productivos ante el cambio climático (Jezeer *et al.*, 2019). La variabilidad de los agentes del clima (radiación solar, temperatura, precipitaciones, humedad relativa, velocidad del viento, etc.) afectan la producción y calidad del café principalmente en el sabor y olor (Zavaleta *et al.*, 2025). El manejo en las plantaciones debe estar orientado a mantener la productividad y reducir las afectaciones por plagas y enfermedades, destacando las siguientes prácticas:

Manejo de sombra y podas. El manejo de sombra es una práctica que caracteriza a los sistemas de producción tradicional de café en Nicaragua. Jarquín y Jiménez-Martínez, (2021); Morán-Centeno y Jiménez-Martínez, (2023), reportan que, el manejo adecuado de la cobertura del estrato arbóreo superior, reduce los costos de producción, al disminuir la frecuencia y cantidad de aplicaciones de agrotóxicos en el manejo de plagas y enfermedades y se crean condiciones que favorecen al cultivo, al permitir mayor entrada de luz hasta los estratos inferiores y el suelo, estimular la emisión de nuevos brotes productivos, mayor circulación de aire y mantener la humedad relativa en porcentajes menores al 80 %, estas condiciones disminuyen las afectaciones por enfermedades foliares (Morán Centeno y Jiménez-Martínez, 2023; Siu Palma y Morán Centeno, 2025; Tablas *et al.*, 2021).

Manejo fitosanitario. El uso de productos químicos es predominante en las plantaciones de café manejados convencionalmente. Molina Ospina, (2019); Morán-Centeno y Jiménez-Martínez (2023) y Siu Palma *et al.* (2023), mencionan que la aplicación de sustancias químicas es elegida por el productor como la principal alternativa de manejo de plagas insectiles, y enfermedades causadas por microorganismos, debido a su rápido efecto y disponibilidad en el mercado nacional (Cuadro 1).

Cuadro 1. Estrategias de manejo de plagas y enfermedades en sistemas de producción de café, comparando a Nicaragua con Latino América y Centroamérica

Estrategias	Latino América	Centroamérica	Nicaragua	Referencia
Diversificación de variedades	✓	✓	✓	Siu Palma y Morán Centeno, (2025)
Sistemas de policultivo tradicional	✓	✓	✓	Siu Palma y Morán Centeno, (2025)
Prácticas culturales y de conservación	✓	✓	✓	Gasperín-García <i>et al.</i> (2023)
Fortalecimiento de la organización comunitaria		✓	✓	Venegas Sandoval <i>et al.</i> (2021)
Manejo de sombra	✓	✓	✓	Venegas Sandoval <i>et al.</i> (2021)
Podas de mantenimiento		✓	✓	Morán Centeno y Jiménez-Martínez, (2024)
Podas de formación	✓	✓	✓	Morán Centeno y Jiménez-Martínez, (2023)
Uso de bioplaguicidas	✓	✓	✓	Cardeña-Basilio <i>et al.</i> (2023)
Uso de caldos minerales		✓	✓	Siu Palma y Morán Centeno, (2025)

Relación de la macrofauna edáfica y la sanidad del café. Muñoz-Belalcázar *et al.* (2021), indican que, a una profundidad entre 12 cm y 15 cm, se encuentra la mayor parte de las raíces fisiológicamente activas que garantizan la absorción de agua y nutrientes, es en este espacio donde se encuentra la mayor cantidad de organismos con importantes funciones ecológicas. Zavaleta-Díaz, (2019), menciona que el manejo agroecológico en las plantaciones de café contribuye a conservar la biodiversidad y a mejorar la sanidad del cultivo.

Ferreira *et al.* (2024) mencionan que en los sistemas productivos de café es importante el análisis de la diversidad de la biota del suelo debido a que es un indicador de la calidad y su salud, que se refleja en la sanidad de la planta e influye directamente sobre la producción. La macrofauna edáfica, en los agroecosistemas de café, cumplen diversas funciones ecológicas como el reciclaje de materia orgánica, control de otros organismos y mayor aireación en la zona del sistema radicular (Vargas y Laguna, 2017; Zavaleta-Díaz, 2019).

Impacto de la roya en los sistemas de producción de café.

Los cambios en las condiciones climáticas han ocasionado efectos negativos en los sistemas de producción de café, principalmente por favorecer las condiciones ambientales para el desarrollo de la roya, que ha llegado a reducir, en algunas zonas, la producción hasta en un 95 % y ha tenido un marcado efecto en millones de hectáreas cafetaleras del mundo, reduciendo la superficie cultivada y las zonas aptas para este rubro (Gómez-De La Cruz *et al.*, 2018; Libert-Amico y Paz-Pellat, 2018).

La roya afecta principalmente las hojas del café, reduciendo su capacidad fotosintética y provocando la caída prematura del follaje. Esto se traduce en una disminución del rendimiento y calidad del grano. Las afectaciones severas

CIENCIA DE LAS PLANTAS

de roya provocan la muerte de ramas y en ocasiones hasta de la planta de café, reduciendo entre el 10 % y 60 % los rendimientos. Este patógeno ocasiona la muerte de tejido leñoso y bajo condiciones prolongadas llega a reducir hasta el 50 % la producción (Escamilla-Prado *et al.*, 2021).

Ramírez Dávila *et al.* (2023); Tablas *et al.* (2021), indican que la enfermedad inicia en las plantaciones mediante focos de infección, lo que dificulta su manejo, siendo las condiciones climatológicas y la edad de las plantaciones, factores condicionantes en la afectación. Estas afectaciones conllevan a diferentes impactos en el sistema de producción desde el punto de vista fitosanitario, económico y social.

En Centroamérica, la epidemia de roya provocó pérdidas de más de 4 millones de quintales de café y afectó a más de 700 mil empleos, en el 2012 y 2013. Es este mismo período en Nicaragua, se estimó una caída del PIB de hasta 2.5 %, la roya afectó el 32 % de las plantaciones de café, provocando pérdidas de 114.6 y 68.9 millones de dólares respectivamente (Bucardo Pérez, 2015).

Las afectaciones por roya tienen un efecto negativo en la economía de las familias productoras, especialmente en aquellas que dependen exclusivamente de la producción de café (Cardena-Basilio *et al.*, 2023; Morán Centeno y Jiménez-Martínez, 2024).

El manejo de los sistemas de producción de café debe ser abordado de forma holística considerando aspectos biológicos, sociales y económicos. La evidencia científica respalda su eficacia, pero su adopción a gran escala dependerá del fortalecimiento de capacidades locales, que integren tecnologías emergentes como sensores climáticos, inteligencia artificial y edición genética, sin embargo, estas deben complementarse con enfoques agroecológicos orientados hacia la sostenibilidad y equidad social.

CONCLUSIÓN

La producción de café en Nicaragua enfrenta desafíos significativos relacionados con la sanidad vegetal, el manejo agronómico y las condiciones socioeconómicas de los productores. La presencia de plagas y enfermedades afecta gravemente la productividad y sostenibilidad de los sistemas de producción. Es fundamental promover prácticas agroecológicas, fortalecer la asistencia técnica, fomentar la conservación de la biota edáfica y fortalecer las capacidades técnicas de los productores para mejorar la resiliencia del sistema cafetalero y garantizar su viabilidad económica, social y ambiental.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alhudaib, K., & Ismail, A. M. (2024). First occurrence of coffee leaf rust caused by *Hemileia vastatrix* on coffee in Saudi Arabia. *Microbiology Research*, 15(1), 164-173. <https://doi.org/10.3390/microbiolres15010011>
- Amico, A. L. (2016). *La roya del cafeto. Breves de políticas públicas*. Programa Mexicano del Carbono. <https://pmcarbono.org/pmc/descargas/proyectos/redd/Breves-de-Políticas-Publicas-No.1-Que-es-la-roya.pdf>
- Araaf, R. T., Minn, A., & Ahamed, T. (2024). Coffee leaf rust disease detection and implementation of an edge device for pruning infected leaves via deep learning algorithms. *Sensors*, 24(24), 8018. <https://doi.org/10.3390/s24248018>
- Avilés Peralta, Y., Alfaro Blandón, M., Palma Juárez, L. y Mairena Pérez, F. (2022). Determinantes de la oferta exportable del café en Nicaragua. *SUMMA*, 4(2), 1-10. <https://doi.org/10.47666/summa.4.2.11>
- Bacon, C. M., Sundstrom, W. A., Stewart, I. T., Maurer, E., & Kelley, L. C. (2021). Towards smallholder food and water security: Climate variability in the context of multiple livelihood hazards in Nicaragua. *World Development*, 143, 105468. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2021.105468>
- Benavides, P., Ángel, C. y Rivillas, C. (2021). Sanidad vegetal. En Centro Nacional de Investigaciones de Café, *Guía más agronomía, más productividad, más calidad* (3a ed). Cenicafe. https://doi.org/10.38141/10791/0014_9
- Bro, A. S., Clay, D. C., Ortega, D. L., & López, M. C. (2017). Determinants of adoption of sustainable production practices among smallholder coffee producers in Nicaragua. *Environment, Development and Sustainability*, 21(2), 895–915. <https://doi.org/10.1007/s10668-017-0066-y>
- Bucardo Pérez, C. J. (2015). *Impacto económico de la roya (Hemileia vastatrix) del café (Coffea arabica) en Nicaragua en los ciclos comprendidos entre el 2008/2009 – 2012/2013* [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Agraria]. Repositorio institucional. <https://repositorio.una.edu.ni/3131/>
- Burbano, P., Valencia, A. y Lagos-Burbano, T. (2022). Componentes de rendimiento en *Coffea arabica* L. en tres zonas altitudinales del sur de Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 13(1), 51 – 62. <https://doi.org/10.22490/21456453.4350>
- Cardena Basilio, I., Ramírez-Valverde, B., Juárez Sánchez, J. P., Huerta de la Peña, A. y Cruz León, A. (2019). Campesinos y sistema de producción de café ante el problema de la roya en el municipio de Hueytamalco, Puebla, [Peasants and coffee production system facing the coffee rust problem in the municipality of Hueytamalco, Mexico]. *Espacio Abierto*, 28(2), 51-70. <https://produccioncientificaluz.org/index.php/espacio/article/view/29574>
- Cardena-Basilio, I., Ramírez-Valverde, B., Juárez-Sánchez, J. P., Huerta de la Peña, A. y Cruz-León, A. (2023). Roya del café en Hueytamalco, Puebla. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 14(29), e3540. <https://doi.org/10.29312/remexca.v14i29.3540>

CIENCIA DE LAS PLANTAS

- Castillo, N. E. T., Melchor-Martínez, E. M., Sierra, J. S. O., Ramírez-Mendoza, R. A., Parra-Saldívar, R., & Iqbal, H. M. (2020). Impact of climate change and early development of coffee rust– An overview of control strategies to preserve organic cultivars in Mexico. *Science of the Total Environment*, 738, 140225. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140225>
- Castro, C. y Barrezueta, S. (2020). Aspectos sociales y económicos: caso productores de café en la provincia El Oro. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, 3(1), 71-75. <https://www.redalyc.org/pdf/7217/721778104012.pdf>
- Cruz, L. A., Cervantes, H. J., Ramírez, G. A., Sánchez, G. P., Damián, H. M. A. y Ramírez, V. B. (2015). La etnoagronomía en la construcción de propuestas de desarrollo rural para comunidades campesinas. *Ra Ximhai*, 5(11), 185-194. <https://www.redalyc.org/pdf/461/46142593010.pdf>
- De Souza, M. P. P., Cipriano, M. A. P., Braghini, M. T., de Sousa, L. P., Mondego, J. M. C., Patrício, F. R. A., & da Silveira, A. P. D. (2025). Beneficial bacteria improve seedling growth, nutrition and promote biological control of coffee diseases. *Journal of Applied Microbiology*, 136(3), <https://doi.org/10.1093/jambio/xfaf050>
- Enríquez, J. P., Retes-Cáliz, R. F. y Vásquez-Reyes, E. F. (2020). Importancia, genética y evolución del café en Honduras y el mundo. *Innovare: Revista de Ciencia y tecnología*, 9(3), 149–155. <https://doi.org/10.5377/innovare.v9i3.10649>
- Escamilla, E. (2016). Las variedades de café en México ante el desafío de la roya. *Breves de Políticas Públicas*, (4), 1-8. http://pmcarbono.org/pmc/breves_politicas_publicas/una_REDD_para_Salvar_la_Sombra_Sierra_Madre_Chiapas.php
- Escamilla-Prado, E., Tinoco-Rueda, J. Á., Pérez-Villatoro, H. A., Aguilar-Calvo, Á. J., Sánchez-Hernández, R. y Ayala-Montejo, D. (2021). Transformación socio ecológica en el agroecosistema café afectado por roya en Chiapas, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 44(4), 643–660. <https://doi.org/10.35196/rfm.2021.4.643>
- Ferreira, F., Barreto, P., Pérez, R., Marques, P., Rodríguez, F., Chaves, T. y Renato, M. (2024). Efectos de los sistemas de cultivo de café arábica en la biomasa microbiana del suelo tropical y la actividad en la región noreste de Brasil. *Agroforest System*, 98, 2397-2410. <https://doi.org/10.1007/s10457-024-01026-2>
- Gasparín-García, E. M., Platas-Rosado, D. E., Zetina-Córdoba, P., Vilaboa-Arróniz, J. y Dávila, F. M. (2023). Calidad de vida de los cafeticultores en las Altas Montañas de Veracruz, México. *Agronomía Mesoamericana*, 34(1), 50163. <https://doi.org/10.15517/am.v34i1.50163>
- Gómez-De La Cruz, I., Pérez-Portilla, E., Escamilla-Prado, E., Martínez-Bolaños, M. y Carrión-Villanovo, G., Hernández Leal, T. (2018). Selección in vitro de micoparásitos con potencial de control biológico sobre roya del café (*Hemileia vastatrix*). *Mexican Journal of Phytopathology*, 36(1) 172-183. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1708-1>
- González R. F. J., Sangerman, J. D. Ma., Rebollar, R. S., Omaña, S. J. M. y Hernández, M. J. L. (2019). El proceso de comercialización de café en el sur del Estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(6), 1195-1205. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i6.2057>
- Guerrero-Carrera, J., Jaramillo-Villanueva, J. L., Mora-Rivera, J., Bustamante-González, Á., Vargas-López, S. y Chulim-Estrella, N. (2020). Impacto del cambio climático sobre la producción de café. *Tropical and subtropical agroecosystems*, 23(71), 1 – 18. <https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/3288/1462>
- Guzmán-Luna, A., Bacon, C. M., Méndez, V. E., Flores Gómez, M. E., Anderzén, J., Terán Giménez Cacho, M., Hernández Jonapá, R., Rivas, M., Duarte Canales, H. A., & Benavides González, Á. N. (2022). Toward food sovereignty: Transformative agroecology and participatory action research with coffee smallholder cooperatives in Mexico and Nicaragua. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6, 810840. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.810840>
- Jaramillo-Villanueva, J. L., Guerrero-Carrera, J., Vargas-López, S. y Bustamante-González, A. (2022). Percepción y adaptación de productores de café al cambio climático en Puebla y Oaxaca, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 9(1), 1-13. <https://doi.org/10.19136/era.a9n1.3170>
- Jarquín, E. J. y Jiménez-Martínez, E. (2021). Caracterización socioeconómica y fitosanitaria de 25 sistemas de producción de café (*Coffea arabica* L.) en tres municipios de Matagalpa, 2020. *La Calera*, 21(37), 111-118. <https://doi.org/10.5377/calera.v21i37.12782>
- Jezeer, R. E., Verweij, P. A., Boot, R. G., Junginger, M., & Santos, M. J. (2019). Influence of livelihood assets, experienced shocks and perceived risks on smallholder coffee farming practices in Peru. *Journal of Environmental Management*, 242, 496-506. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.04.101>
- Julca-Otiniano, A., Alvarado-Huamán, L., Borjas-Ventura, R., Castro-Cepero, V., Rojas, F. L., Palacios, D. V. y Amez, S. B. (2023). Variedades de café (*Coffea arabica*), una revisión y algunas experiencias en el Perú. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 10(2), 134- 155. <https://doi.org/10.53287/ruyx4519vm15b>
- Lamí, D. S., Ricabal, P. M. S. y Cosío, E. C. (2020). El cultivo del café (*Coffea arabica* L.) y su susceptibilidad a la roya (*Hemileia vastatrix* Berkeley & Broome) en la provincia Cienfuegos. *Revista Científica Agroecosistemas*, 8(3), 109-114. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/421>
- Leguizamo-Sotelo, G., Salgado-Siclán, M. L. y Rubí-Arriaga, M. (2024). Análisis de la producción de café (*Coffea arabica* L.), en Amatepec, Estado de México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 11(1). e3840. <https://doi.org/10.19136/era.a11n1.3840>
- Libert-Amico, A. y Paz-Pellat, F. (2018). Del papel a la acción en la mitigación y adaptación al cambio climático: la roya del cafeto en Chiapas. *Madera y Bosques*, 24(Número especial), 1-24. <https://doi.org/10.21829/myb.2018.2401914>
- Márquez, F. R. y Julca, A. M. (2015). Indicadores para evaluar la sustentabilidad en fincas cafetaleras en Quillabamba. Cusco. Perú. *Saber y Hacer*, 2(1), 128–137. <https://revistas.usil.edu.pe/index.php/syh/article/view/45>

- Ministerio Agropecuario y Forestal de Nicaragua. (2019). *Mapa nacional del café*. MAGFOR. <https://www.mag.gob.ni/index.php/mapas-interactivos/mapa-nacional-de-cafe>
- Ministerio Agropecuario. (2023). *Ciclo agrícola 2022/2023 estos son los avances de la cosecha cafetalera en Nicaragua*. Ministerio Agropecuario de Nicaragua. <https://www.mag.gob.ni/index.php/noticias?view=article&id=53:cosecha-cafetalerareporta-un-avance-del-63-en-el-ciclo-2022-2023&catid=11>
- Molina Ospina, A. K. (2019). *A Guide to Common Coffee Pests & Diseases*. Perfect Daily Grind. <https://perfectdailygrind.com/2019/01/a-guide-to-common-coffee-pests-diseases/>
- Morán Centeno, J. C. y Jiménez-Martínez, E. (2023). Caracterización de sistemas productivos de café (*Coffea arabica* L.) en la Reserva Natural Tepec-Xomolth, Madriz, Nicaragua. *Siembra*, 10(1), e4402. <https://doi.org/10.29166/siembra.v10i1.4402>
- Morán Centeno, J. C. y Jiménez-Martínez, E. (2024). Macrofauna edáfica en agroecosistemas de *Coffea arabica* L., en Tepec-Xomolth, Nicaragua. *Agronomía Mesoamericana*, 35(1), 57626. <https://doi.org/10.15517/am.2024.57626>
- Morel, A. y Ortiz Acosta, O. (2022). Calidad del suelo en diferentes usos y manejo por medio de la macrofauna como indicador biológico. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 5(1), 996–1006. <https://doi.org/10.34188/bjaerv5n1-074>
- Muñoz-Belalcázar, J. A., Benevides-Cardona, C. A., Lagos-Burbano, T. C., & Criollo-Velázquez, C. P. (2021). Agronomic management on the yield and quality of coffee (*Coffea arabica*) Castillo variety in Nariño, Colombia. *Agronomía Mesoamericana*, 32(3), 750–763. <https://doi.org/10.15517/am.v32i3.44403>
- Palominos-Rizzo, T., Villatoro-Sánchez, M., Alvarado-Hernández, A., Cortés-Granados, V. y Paguada-Pérez, D. (2022). Dinámica temporal de erosión del suelo en café (*Coffea arabica*), Llano Brenes, Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*, 33(3), 49736. <https://doi.org/10.15517/am.v33i3.49736>
- Pilozo-Mantuano, W., Indacochea Ganchozo, B., Castro Landín, A., Vera Tumbaco, M. y Gabriel Ortega, J. (2022). Principales enfermedades causantes de la pérdida de rendimientos de los cultivos de café arábigo (*Coffea arabica* L.) en la zona sur de Manabí, Ecuador: principales enfermedades de café arábigo (*Coffea arabica* L.). *UNESUM-Ciencias*, 6(2), 117-134. <https://doi.org/10.47230/unesum-ciencias.v6.n2.2022.632>
- Quiroz-Medina, C. R. y Bárcenas-Lanzas, M. J. (2023). Caracterización y manejo del grado de complejidad de los componentes y biodiversidad y su efecto en las arvenses y macrofauna edáfica de tres fincas integrales en el occidente de Nicaragua. *Ecosistemas*, 32(3), 2591. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2591>
- Quiroz-Medina, C. R., Castellón, J. D., Cea Navas, N. E., Ortiz, M. S. y Zúñiga-González, C. A. (2021). Caracterización de la macrofauna edáfica en diferentes sistemas agroforestales, en el Municipio de San Ramón, Departamento de Matagalpa, Nicaragua. *Nexo Revista Científica*, 34(2), 572–582. <https://doi.org/10.5377/nexo.v34i02.11542>
- Ramírez Dávila, J. F., Pérez-Constantino, A., Gutiérrez-Rodríguez, F., y Pérez-López, D. de J. (2023). Comportamiento espacial de roya del café en Amatepec, Estado de México. *Acta Universitaria*, 33, 1–14. <https://doi.org/10.15174/au.2023.3870>
- Rodríguez-Del Toro, A., Sánchez-Ramos, M. A., Vargas-Batis, B., Gutiérrez-Vázquez, M., Pacheco-Jiménez, Z. y Hechavarria-Bandera, C. A. (2023). Indicadores de sitio y medioambiente en plantaciones de *Coffea canephora* en Tercer Frente, Cuba. *Revista UGC*, 1(2), 55-63. <https://universidadugc.edu.mx/ojs/index.php/rugc/article/view/14>
- Rojas-Ruiz, R., Alvarado-Huamán, L., Borjas-Ventura, R., Carbonell Torres, E., Castro-Cepero, V. y Julca-Otiniano, A. (2020). Caracterización de fincas productoras de café convencional y orgánico en el valle del Alto Mayo, región San Martín, Perú. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 7(2), 100-111. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2409-16182020000200013&lng=es&tlng=es
- Salazar Hitcher, R. A. y Jiménez-Martínez, E. S. (2022). Caracterización fitosanitaria de sistemas de producción de café (*Coffea arabica* L.) en Boaco, Nicaragua. *Wani*, 38(77), 25-38. <https://doi.org/10.5377/wani.v38i77.14989>
- Santiago-Santiago, M., Sánchez-Viveros, G., Hernández-Adame, L., Chiquito-Contreras, C. J., Salinas-Castro, A., Chiquito-Contreras, R. G., & Hernández-Montiel, L. G. (2023). Essential Oils and Antagonistic Microorganisms as Eco-Friendly Alternatives for Coffee Leaf Rust Control. *Plants*, 12(20), 3519. <https://doi.org/10.3390/plants12203519>
- Siu Palma, S. D., Jiménez-Martínez, E. S. y Morán Centeno, J. C. (2023). Alternativas biológicas para el manejo de *Hypothenemus hampei* (Ferrari), en *Coffea arabica* L., Jalapa, Nicaragua. *Siembra*, 10(2), e5306. <https://doi.org/10.29166/siembra.v10i2.5306>
- Siu Palma, S. D. y Morán Centeno, J. C. (2025). Análisis del sistema de producción de café (*Coffea arabica* L.), comunidad La Providencia, municipio de Jalapa, Nicaragua, 2024. *Revista Ciencia Y Tecnología El Higo*, 15(1), 200–214. <https://doi.org/10.5377/elhigo.v15i1.20609>
- Tablas, G. I., Guerrero, R. J. D., Aceves, R. E., Álvarez, C. M. N., Láinez, L. E. y Olvera, H. J. I. (2021). El cultivo del café en Ojo de Agua de Cuauhtémoc, Malinaltepec, Guerrero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12, 1031-1042. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i6.2736>
- Urbina, J. (2017). *Technical efficiency in coffee production: a stochastic frontier analysis for Nicaragua*. Banco Central de Nicaragua. <https://mpira.ub.uni-muenchen.de/id/eprint/82690>
- Vargas, J. E. y Laguna, M. J. (2017). *Diversidad de la macrofauna del suelo en relación con el diseño y manejo de los agroecosistemas cafetaleros en Matagalpa, Nicaragua* [Tesis de Ingeniería Agronómica, Universidad Nacional Agraria]. Repositorio institucional. <https://repositorio.una.edu.ni/3507/1/tnp34v297.pdf>

CIENCIA DE LAS PLANTAS

- Venegas Sandoval, A., Soto Pinto, L., Álvarez Gordillo, G., Alayón Gamboa, A. y Díaz Nigenda, E. (2021). La diversificación de estrategias socioambientales en la familia campesina: mecanismo de resiliencia ante la crisis del café en Chiapas. *Revista Pueblos Y Fronteras Digital*, 16, 1–31. <https://doi.org/10.22201/cimsur.18704115e.2021.v16.510>
- Villalta-Villalobos, J., & Gatica-Arias, A. (2019). A look back in time: Genetic improvement of coffee through the application of biotechnology. *Agronomía Mesoamericana*, 30(2), 577–599. <https://doi.org/10.15517/am.v30i2.34173>
- Villarreyna, R., Barrios, M., Vilchez, S., Cerda, R., Vignola, R., & Avelino, J. (2020). Economic constraints as drivers of coffee rust epidemics in Nicaragua. *Crop Protection*, 127, 104980. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2019.104980>
- Zavaleta Díaz, M. A. (2019). *Macrofauna y propiedades físicas y químicas del suelo en cultivos de café del Distrito de Jepelacio-Moyobamba, 2017*. <https://dspace.unitru.edu.pe/server/api/core/bitstreams/124911f1-a86d-4637-8b9d-3581a8fcd1d4/content>
- Zavaleta, J. G., Fuentes, M. Q., Sánchez, R. B. y Loyo, O. M. (2025). Factores agronómicos en el cultivo y producción de café arábica en Zongolica, Veracruz. *593 Digital Publisher CEIT*, 10(1), 652-667. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9966634>
- Zhang, Y., Peng, S., Chen, X., & Chen, H. Y. (2022). Plant diversity increases the abundance and diversity of soil fauna: a meta- analysis. *Geoderma*, 411, 115694. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2022.115694>