

Agroecological characterization of the coffee agroecosystem in La Revolucion, Tila, Chiapas, Mexico

Hernández-Gómez Carlos¹
Flores-Sánchez Diego^{1*}
Navarro-Garza Hermilo¹
Morales-Reyes Etztil Itzel²
Vicent-Fequiére Ulrick¹

Abstract

Coffee (*Coffea arabica* L.) is a crop of great socio-economic relevance in various regions of Mexico, with the state of Chiapas standing out as the country's leading producer. However, coffee production in the region faces environmental, agronomic, economic, and social challenges that affect both yield and quality. This study aims to characterize the coffee agroecosystem and its management practices, in order to identify production limitations and propose viable alternatives. A mixed-methods approach was employed, including field visits and surveys with 35 coffee-producing families, along with the evaluation of agroecological indicators on 33 coffee plots in the community of La Revolución. Findings reveal that coffee plays a central socio-economic, ecological, and cultural role for the families involved. It is cultivated within agroforestry systems that offer a range of benefits to households. Yields range from 150 to 860 kg per hectare, and 84 % of the agroecosystems assessed exhibit characteristics that support soil health, biodiversity, and crop health. In addition to these findings, common management practices were identified, along with opportunities to enhance the coffee agroecosystem—opportunities that are shaped by each household's specific social, economic, and environmental conditions.

Keywords: Agroecological indicators, coffee management practices, biodiversity, Indigenous smallholder families

Caracterización agroecológica del agroecosistema café en La Revolución, Tila, Chiapas, México

Resumen

El café (*Coffea arabica* L.) es un cultivo de gran relevancia socioeconómica en distintas regiones de México. El Estado de Chiapas se destaca por ser el mayor productor del país. Sin embargo, enfrenta retos ambientales, productivos, económicos y sociales que afectan su producción y calidad. Esta investigación tiene como objetivo caracterizar el agroecosistema del café y las prácticas de manejo utilizadas, para identificar limitaciones en la producción y proponer alternativas. Se utilizaron métodos cualitativos y cuantitativos, realizando visitas de campo y encuestas a 35 familias productoras, además de evaluar indicadores agroecológicos en 33 predios cafetaleros de la localidad La Revolución. Los resultados mostraron que el café tiene un papel fundamental en términos socioeconómicos, ecológicos y culturales de las familias. El café se cultiva en sistemas agroforestales, que favorecen diversos beneficios a las familias. La producción de café varía entre 150 y 860 kg por hectárea y el 84 % de los agroecosistemas evaluados muestra características que benefician al suelo, biodiversidad y la salud del cultivo. Se identificaron prácticas comunes en el manejo del café y áreas de oportunidad que pueden promover cambios en el agroecosistema de café, que dependen de las condiciones sociales, económicas y ambientales de cada familia.

Palabras clave: Indicadores agroecológicos, prácticas de manejo, biodiversidad, familias indígenas

¹Colegio de Postgraduados, Posgrado en Agroecología y Sustentabilidad, km 36.5 carretera Federal México-Texcoco, Texcoco Edo de México, C. P. 56264 México.

²Colegio de Postgraduados, Posgrado en Hidrociencias km 36.5 carretera Federal México-Texcoco, Texcoco Edo. De México, C P. 56264 México.

*Corresponding author: dfs@colpos.mx

Introduction

The coffee agroindustry is one of the most dynamic sectors of the global economy (Muñoz González & Mero Loor, 2020). Coffee (*Coffea arabica* L.) is one of the most widely consumed agricultural commodities (Vázquez-López et al., 2022) and serves as a key source of employment and income for families across various segments of the supply chain (Chain-Guadarrama et al., 2019; Muñoz González & Mero Loor, 2020). In Latin America, coffee farming often involves smallholder strategies aimed at generating income while conserving biodiversity, soil, and water resources (Harvey et al., 2021). In Mexico, coffee cultivation holds significant socio-economic and environmental relevance (Agri-Food and Fisheries Information Service [SIAP], 2024), a role it has played since the crop was first introduced to the country (Higuera Ciapa & Rivera Ramírez, 2018). In 2022, Mexico ranked eleventh among the world's producers of quality coffee. Chiapas, the leading state among Mexico's 14 coffee-producing states, accounted for 41 % of national production. The state provides ideal edaphoclimatic conditions for coffee cultivation (Higuera Ciapa & Rivera Ramírez, 2018) and supports the livelihoods of 180,156 producers—most of whom are Indigenous (61 %)—working on plots averaging less than 0.5 hectares, distributed across 13 coffee-growing regions (Montoya & Toledo, 2020; Instituto del Café de Chiapas, 2022). Generally, coffee is cultivated under a sustainable management approach (Ministry of Agriculture and Rural Development [SADER], 2022; Villa-Herrera Adán et al., 2023), in shaded cropping systems that provide multiple environmental services, cultural identity, and economic support for farming families (Ruelas-Monjardín et al., 2014). However, coffee production faces numerous challenges, particularly those related to climate: rising temperatures, shifting rainfall patterns, prolonged droughts, and extreme weather events such as landslides and floods. These conditions affect plant growth and development, flowering periods, and fruit ripening, while also increasing the prevalence of pests and diseases. Limited access to training and technical assistance further exacerbates these issues. Altogether, these factors contribute to declining yields and crop quality, alongside difficulties related to coffee prices and market access (Higuera & Rivera, 2018; Escamilla

Introducción

La agroindustria cafetalera es parte de los sectores económicos más dinámicos a nivel mundial (Muñoz González & Mero Loor, 2020). El café (*Coffea arabica* L.) es uno de los productos agrícolas más consumidos (Vázquez-López et al., 2022), y también es una actividad que genera empleos y divisas para las familias de diversos subsectores de la cadena de suministro (Chain-Guadarrama et al., 2019; Muñoz González & Mero Loor, 2020). En América Latina, el manejo de los cafetales incluye estrategias campesinas para obtener ingresos, así como para la conservación de la biodiversidad, suelo y agua (Harvey et al., 2021). El cultivo de café en México es una actividad que tiene una notable relevancia socioeconómica y ambiental (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2024), desde que se introdujo al país (Higuera Ciapa & Rivera Ramírez, 2018). En el año 2022, el país se posicionó en el undécimo lugar como productor de café de calidad. Chiapas, siendo el principal de los 14 estados productores, aportó el 41 % de la producción nacional. Este estado cuenta con condiciones edafoclimáticas ideales para el cultivo del café (Higuera Ciapa & Rivera Ramírez, 2018). Representa el sustento de 180 156 productoras/res, en su mayoría indígenas (61 %), quienes tienen una superficie promedio inferior a 0.5 ha, distribuidas en 13 regiones cafetaleras (Montoya & Toledo, 2020; Instituto del Café de Chiapas, 2022). De manera general, el café se cultiva bajo un enfoque de manejo sostenible (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural [SADER], 2022; Villa-Herrera Adán et al., 2023), en sistemas de cultivo bajo sombra, que ofrecen diversos servicios ambientales, identidad cultural y sustento económico a las familias productoras (Ruelas-Monjardín et al., 2014). Sin embargo, el café enfrenta varios retos, destacando aquellos de naturaleza climática como temperaturas elevadas, cambio en los ciclos de lluvia, sequía prolongada y precipitaciones torrenciales (deslaves e inundaciones), afectando el crecimiento y desarrollo de las plantaciones, el periodo de floración y la maduración de grano, la proliferación de plagas y enfermedades, y la carencia de capacitación y asesoría técnica; en conjunto, estos factores inciden en la disminución de la producción y la calidad de las cosechas, además de las problemáticas derivadas de los precios de café y el acceso a los mercados (Hi-

et al., 2021; Ocampo et al., 2022; Hernández-Ayón et al., 2023; Contreras et al., 2023). Although efforts have been made to address these challenges (Medina-Meléndez et al., 2016), the diverse soil, climate, and cultural conditions across Chiapas call for localized studies of coffee agroecosystems throughout the state (Morales-Reyes & Adame-Martínez, 2021).

The municipality of Tila is located in the northern region of the state of Chiapas and is inhabited by *Ch'ol* and *Tzeltal* Indigenous peoples. Tila is one of the nine municipalities that make up the Palenque District. In 2023, a total of 38,683 hectares of coffee were cultivated in the municipality, yielding 47,320.42 metric tons, with an average yield of 1.30 t·ha⁻¹ (SIAP, 2024). The community of La Revolución, within Tila, recorded an average yield of 442 kg·ha⁻¹, which adversely affects family incomes, as coffee is one of their main sources of livelihood. An exploratory study conducted in La Revolución revealed that families face multiple constraints in coffee production, including low yields, limited agronomic management, insufficient technical assistance, and restricted access to marketing channels. This study aimed to characterize the coffee agroecosystem and its management practices; to apply agroecological indicators to identify factors limiting coffee production; and to define alternative management strategies.

Methodological Approach

The study was conducted in the community of La Revolución, located in the municipality of Tila (7° 18' 02" N latitude and 92° 25' 33" W longitude), in the northern region of Chiapas. This area is part of Region XIV, *Tulijá-Tzeltal-Ch'ol* (Figure 1). The municipality covers an area of 801 km² (INEGI, 2010) and is situated at an elevation of 1,062 meters above sea level (INEGI, 2017). Approximately 68 % of the municipality has a warm humid climate, while the remaining 32 % has a temperate humid climate, with year-round precipitation. Temperatures range from 16 to 28 °C, and annual precipitation varies between 1,500 and 5,000 mm. The predominant soils are Luvisol (54 %), Ferralsol (19 %), and Leptosol (19 %).

The population is predominantly of *Ch'ol* and *Tzeltal* origin and totals 83,505 inhabitants (INEGI, 2020). Approximately 82 % of the economically active population is employed in agriculture (Centro

guera & Rivera, 2018; Escamilla et al., 2021; Ocampo et al., 2022; Hernández-Ayón et al., 2023; Contreras et al., 2023). Se han hecho esfuerzos para atender la problemática (Medina-Meléndez et al., 2016), sin embargo, considerando la diversidad edafoclimática y cultural del Estado de Chiapas, son necesarios estudios de los agroecosistemas de café en los distintos territorios (Morales-Reyes & Adame-Martínez, 2021).

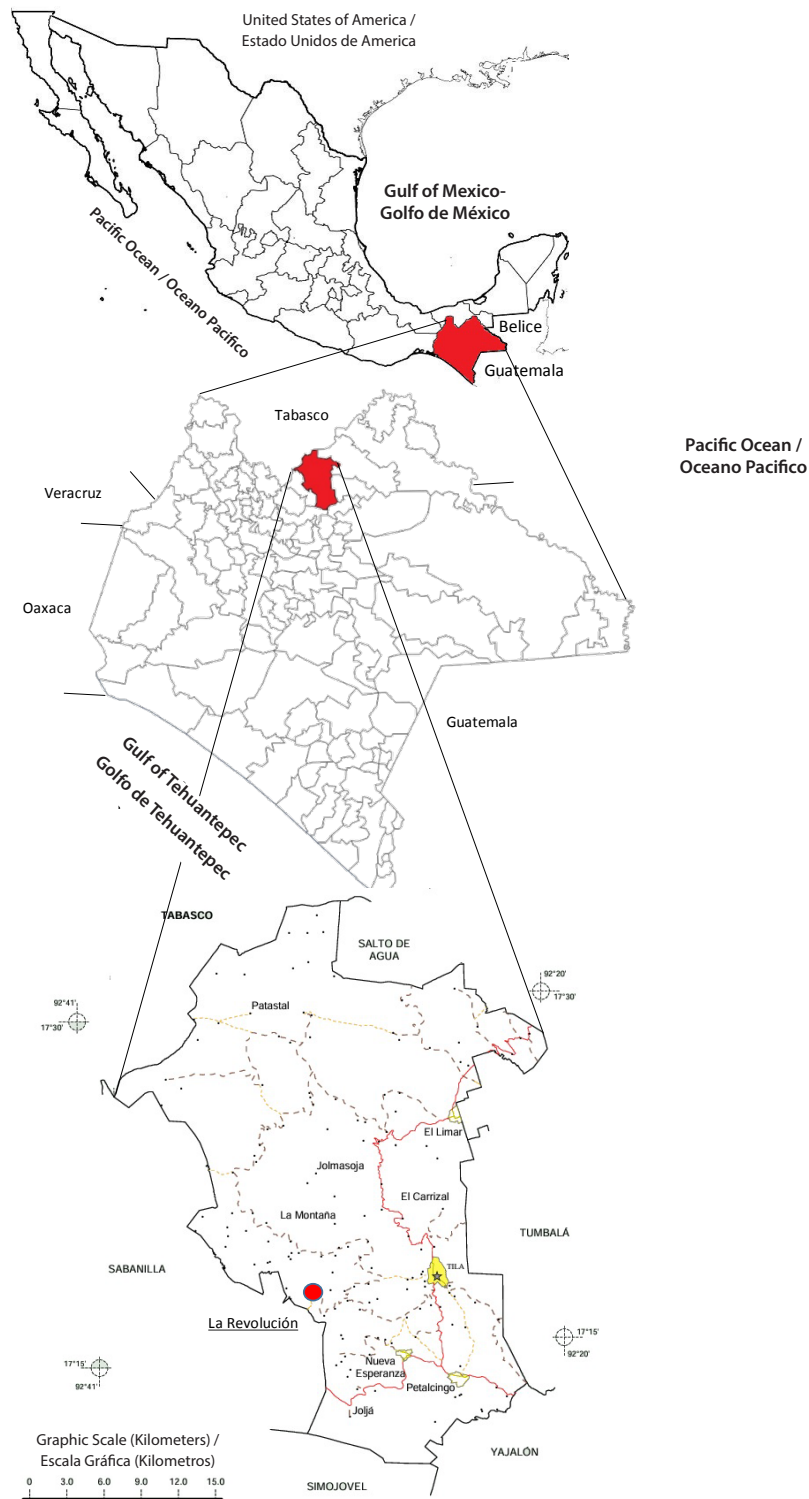
El municipio de Tila se localiza en la región norte del estado de Chiapas, donde habitan las etnias *Choles* y *Tseltales*. Tila es uno de los nueve municipios que integran el Distrito Palenque; en el año 2023 se cultivaron 38 683 ha de café, con una producción de 47 320.42 t y un rendimiento promedio de 1.30 t·ha⁻¹ (SIAP, 2024). La comunidad de La Revolución, perteneciente al municipio de Tila, tiene un rendimiento promedio de 442 kg·ha⁻¹ lo cual genera un impacto negativo en la economía familiar, dado que el café es una de las principales fuentes de ingreso. En un estudio exploratorio realizado en La Revolución, Tila, se observó que las familias enfrentan varias limitaciones en la producción del café, destacando baja productividad, escaso manejo agronómico, insuficiente asesoría técnica, escasos canales de comercialización, entre otros. El presente estudio tuvo como objetivos caracterizar el agroecosistema café y sus prácticas de manejo, aplicar indicadores agroecológicos para identificar los factores que limitan la producción de café y definir alternativas de manejo.

Enfoque Metodológico

El estudio se realizó en la comunidad La Revolución, del municipio de Tila (7° 18' 02" latitud norte y 92° 25' 33" longitud oeste), ubicado en la región norte de Chiapas y es parte de la región XIV Tulijá-Tzeltal-Chol (Figura 1). El municipio, tiene una extensión de 801 km² (INEGI, 2010), y una altura de 1 062 msnm (INEGI, 2017). En 68 % del municipio predomina un clima cálido húmedo y en el 32 % restante, templado húmedo, con lluvias todo el año. La temperatura oscila entre 16 y 28 °C, y un rango de precipitación de 1500 a 5000 mm. Los suelos dominantes son Luvisol (54 %), Ferrasol (19 %) y Leptosol (19 %).

La población pertenece a la etnia *Chol* y *Tzeltal* y cuenta con 83 505 habitantes (INEGI, 2020). El 82 % de la población activa se dedica a la agricultura (Centro de Investigación en Geografía y Geomática,

Figure 1. Location of the municipality of Tila and the community of La Revolución, Chiapas
Figura 1. Ubicación del municipio de Tila y la localidad La Revolución, Chiapas



Source: National Institute of Statistics and Geography (INEGI, 2010).

Fuente: (Instituto Nacional de Geografía e Informática [INEGI], 2010).

de Investigación en Geografía y Geomática, 2016). In 2022, 27,874 hectares were cultivated with corn for grain, coffee, beans, oranges, and macadamia nuts. Among these, corn (48 %) and coffee (33 %) were the most important crops in terms of cultivated area (SIAP, 2023).

The study employed a mixed-methods approach, integrating both quantitative and qualitative methodologies (Moscoso, 2017; Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018). It followed a descriptive, cross-sectional, and exploratory design (du Toit, 2015): *descriptive* in examining the characteristics of coffee agroecosystems; *cross-sectional* in collecting data at a single point in time with no follow-up; and *exploratory* due to the limited prior research on the community. This approach allowed researchers to understand, describe, explore, and analyze the current state of coffee agroecosystems among smallholder farming families.

The qualitative instruments included field visits, participant and non-participant observation, and interviews with key informants.

The quantitative component involved the use of a structured questionnaire organized into two main sections: (1) socioeconomic characteristics of coffee producers, including age, level of education, economic activities, land area devoted to agricultural and livestock production, cropping and livestock systems, government support, access to credit, training, organizational affiliation, production destination, and marketing; and (2) technical characteristics—specifically, socio-technical practices and challenges within the coffee agroecosystem—including varieties cultivated, plant density, coffee seedbeds/nurseries, planting and renovation of coffee plants, pruning, shade management and regulation, fertilization, weed control, pest and disease management, soil and water conservation, harvesting, and commercialization. The questionnaire was administered to 35 coffee-producing families who agreed to participate in the study.

A complementary tool was used to assess agroecological indicators proposed by Venegas et al. (2018), related to biodiversity, soil properties, and crop health. These indicators were selected and adapted to the specific conditions of the coffee plots. Each indicator was rated on a three-level scale:

2016). En el 2022 se cultivaron 27 874 ha de maíz para grano, café, frijol, naranja y macadamia. Los cultivos de mayor importancia por su superficie cultivada son el maíz (48 %) y el café (33 %) (SIAP, 2023).

La investigación tuvo un enfoque mixto, integró métodos cuantitativos y cualitativos (Moscoso, 2017; Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018), con un diseño descriptivo, transversal y exploratorio (du Toit, 2015). Descriptivo, al estudiar las características de los agroecosistemas de café. Transversal, al realizarse en un tiempo específico sin seguimiento posterior. Exploratorio, considerando que no había suficientes antecedentes de la comunidad estudiada. Este diseño permitió conocer, describir, explorar y analizar la situación actual de los agroecosistemas de café de familias campesinas.

Los instrumentos cualitativos aplicados fueron recorridos de campo, observación participante y no participante, y entrevistas con informantes clave.

El componente cuantitativo consideró la aplicación de un cuestionario estructurado en dos ejes: 1) características socioeconómicas de los productores(as) de café: edad, escolaridad, actividades económicas, superficie para actividades agropecuarias, patrón de cultivos y ganadería, apoyos gubernamentales, acceso a crédito, capacitación, organización, destino de la producción y comercialización; 2) características técnicas (prácticas socio técnicas) y problemática del agroecosistema de café: variedades, densidad de población, semillero-vivero de café, siembra/renovación de las plantas de café, podas, manejo y regulación de la sombra de café, fertilización, manejo de hierbas, plagas y enfermedades, conservación de suelo y agua, cosecha y comercialización. El cuestionario se aplicó a 35 familias productoras de café, quienes aceptaron colaborar en la investigación.

Se utilizó un instrumento complementario para determinar indicadores agroecológicos, propuestos por Venegas et al., (2018), relacionados con la biodiversidad, propiedades del suelo y la salud del cultivo, los cuales fueron seleccionados y adaptados a las condiciones de las parcelas de café. Estos indicadores presentaron tres niveles de ocurrencia: (1) valor bajo, (5) valor intermedio y (10) valor alto. Los indicadores que alcanzaron valores cercanos a 10 sugieren que las prácticas son adecuadas según los principios

(1) low, (5) intermediate, and (10) high. Scores approaching 10 indicate that the management practices are consistent with agroecological principles. In addition, shade cover in the coffee plantations was estimated using the Visual Shade Template (VST) developed by Farfán (2015). Both the indicators and the shade assessment were applied to the coffee agroecosystems managed by the participating families.

Data were systematized and analyzed using Excel and JASP for statistical processing. Results were presented in tables and figures. For the agroecological indicators, radar charts and bar graphs were used to illustrate trends across the three levels of occurrence.

Results and Discussion

Socioeconomic profile of production units

The average age of coffee producers was 38, with 66 % of respondents between the ages of 30 and 59. Approximately 29 % of family production units are managed by young individuals aged 19 to 29. Adult producers are primarily responsible for managing coffee production units—a trend also observed in other coffee-producing regions of Chiapas (Escamilla et al., 2005; Escamilla et al., 2021). Youth participation remains limited, as many tend to migrate and become involved in non-agricultural activities.

Regarding the educational level of the families, fewer than 50 % had completed basic education, and 14 % had no formal schooling—figures similar to those reported by Escamilla et al. (2021). Indigenous monolingual families in Chiapas, with limited proficiency in Spanish and low levels of formal education, face significant barriers to community self-management. Consequently, more educated non-Indigenous individuals often assume responsibility for addressing local needs (Vargas, 2007). In this context, Núñez (2017) notes that illiteracy in Chiapas is influenced by household income, which limits access to basic education and contributes to the region's persistent poverty and inequality.

The surveyed families engage in up to six economic activities, with agriculture—specifically coffee cultivation and *milpa* farming—being the primary livelihood, practiced by 100 % of respondents. This is followed by day labor (34 %) and skilled trades (20 %). Additionally, 20 % of families receive income

agroecológicos. Asimismo, se realizó la estimación de la sombra del cafetal utilizando la Plantilla Visual de Sombras (PVS), propuesta por Farfán (2015). Los indicadores y la estimación de la sombra se aplicaron a los agroecosistemas de café de las familias participantes en la investigación.

La sistematización y análisis de datos se realizó mediante Excel, El Jasp para el análisis estadístico, los resultados se presentaron en tablas y gráficas; en el caso de los indicadores se utilizó una gráfica de radar y gráficas de barras para cada indicador para visualizar las tendencias de los tres niveles de ocurrencia.

Resultados y Discusión

Perfil socioeconómico de las unidades productivas

La edad promedio de los(as) productores(as) fue de 38 años, y el 66 % de los(as) encuestadas está en el grupo de edad de 30 a 59 años. Alrededor de un 29 % de las unidades de producción familiar son gestionadas por jóvenes, cuyas edades fluctúan entre 19 y 29 años. Las personas adultas son responsables de las unidades de producción de café, una tendencia observada en varias regiones productoras en Chiapas (Escamilla et al., 2005; Escamilla et al., 2021). La participación de los jóvenes es escasa porque este grupo suele emigrar y se involucran en actividades ajenas a la agricultura.

En cuanto al nivel educativo de las familias, se encontró que menos del 50 % tienen educación básica, el 14 % carece de educación formal, cifras similares a las reportadas por Escamilla et al. (2021). Las familias indígenas monolingües de Chiapas que tienen escaso dominio del español y carecen de estudios básicos, enfrentan limitaciones en la autogestión comunitaria, dejando a personas no indígenas con más preparación para gestionar sus requerimientos (Vargas, 2007). En este sentido, Núñez, (2017) indica que el analfabetismo en Chiapas es influenciado por los ingresos familiares, un aspecto que dificulta el acceso a la alfabetización desde la educación básica, lo que resulta en altos niveles de pobreza y desigualdad en la región.

Las familias encuestadas tienen hasta seis actividades económicas, siendo la agricultura (el cultivo de café y la milpa) la principal, realizada por el 100 % de la población estudiada, seguida por la actividad de

from federal social programs. Although coffee production generates income for all families, it is insufficient to meet their basic needs. As a result, families have diversified their economic activities both within and beyond their communities to supplement household income (Fletes & Hernández, 2023). Studies conducted in coffee-growing regions of Chiapas and Oaxaca have shown that income from coffee sales accounts for only about 19 % of total household income, while the largest share—approximately 40 %—comes from wage labor or remittances (Barham et al., 2011).

On average, families manage 3.14 hectares of land cultivated under agroforestry systems, typically including coffee (0.89 ha on average) intercropped with maize (86 %) in traditional polycultures—one of the most widespread farming systems in the country (Higuera Ciapa & Rivera Ramírez, 2018). Coffee plots commonly feature associations of timber and fruit trees (e.g., pineapple, banana), annual crops (e.g., maize, beans, squash, sweet potato, chayote, chaya, among others), and a variety of *quelites* (edible wild greens), which serve as dietary supplements for the family. The promotion of agrobiodiversity within coffee plots is a strategy that enables families to access multiple resources—food, energy, construction materials, and medicinal plants—and represents a common feature in coffee-growing regions of Chiapas (Escamilla et al., 2021).

In addition to agriculture, families engage in small-scale livestock farming. Backyard poultry raising is practiced by 83 % of households, while pig and cattle farming are less common, at 20 % and 11 %, respectively. All family members participate in livestock care and management. Cattle are primarily raised for commercial purposes and sold within the region, whereas poultry and pigs are mainly intended for family consumption. However, when there are surpluses, they are sold in local markets, helping to supplement household income.

Characteristics of the coffee agroecosystem

Management practices in the coffee agroecosystem

Coffee production in the state of Chiapas is managed and preserved by small-scale Indigenous and mestizo farming units, which often participate in local

jornaleros con un 34 % y los oficios con un 20 %. Sin embargo, es importante señalar que el 20 % de las familias reciben ingresos de los programas sociales de carácter federal. Aunque la producción de café proporciona ingresos a todas las familias, no satisface sus necesidades básicas. Razón por la que las familias han diversificado sus actividades económicas tanto dentro como fuera del territorio para complementar sus fuentes de ingresos (Fletes & Hernández, 2023). Varios estudios en regiones cafetaleras de Chiapas y Oaxaca han mostrado que los ingresos provenientes de la venta del café representan alrededor del 19 %, y la mayor parte del ingreso (40 %) proviene de trabajo asalariado o remesas (Barham et al., 2011).

Las familias tienen en promedio una superficie de 3.14 ha, cultivadas bajo sistemas agroforestales, que generalmente incluyen el café (promedio de 0.89 ha) combinado con maíz (86 %) en un policultivo tradicional, uno de los sistemas más comunes en el país (Higuera Ciapa & Rivera Ramírez, 2018). En los cafetales predominan asociaciones entre especies maderables, frutales (piña, plátano), cultivos anuales (maíz, frijol, calabaza, camote, chayote, chaya, entre otras), y diversos *quelites*, que se utilizan como complemento alimenticio en la dieta familiar. El fomento de esta agrobiodiversidad en los cafetales es una estrategia que posibilita a las familias obtener diferentes beneficios (alimentos, energía, construcción, medicinas); constituyendo un elemento común en las regiones cafetaleras de Chiapas (Escamilla et al., 2021).

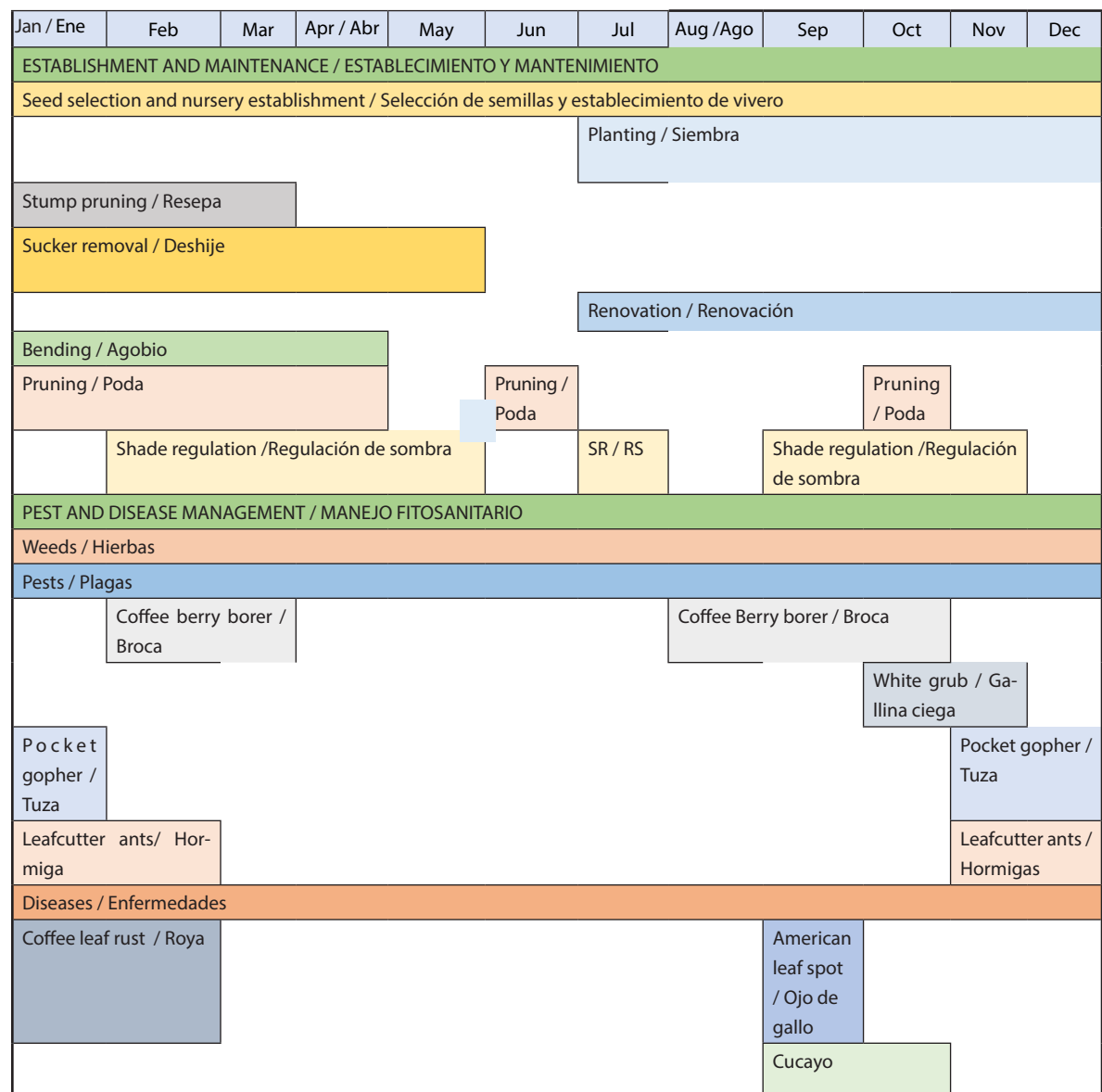
Además de la agricultura, las familias practican la ganadería a pequeña escala; la crianza de aves de traspatio es realizada por el 83 % de las familias, en menor proporción se crían cerdos (20 %) y ganado bovino (11 %). En el manejo y cuidado del ganado participan todos los miembros de la familia. El ganado bovino se utiliza con fines comerciales para la venta en la región, mientras que las aves y cerdos son destinados al autoconsumo familiar, sin embargo, cuando hay excedentes, se venden en el mercado local, lo que ayuda a incrementar los ingresos de la familia.

Características del agroecosistema de café

Prácticas de manejo del agroecosistema de café

La cultura cafetalera en el Estado de Chiapas es manejada y preservada por pequeñas unidades de producción indígenas o mestizas. Siendo, participantes

Figure 2. Coffee agroecosystem management practices in La Revolución, Tila, Chiapas, Mexico.
Figura 2. Prácticas de manejo del agroecosistema de café en La Revolución, Tila, Chiapas, México.

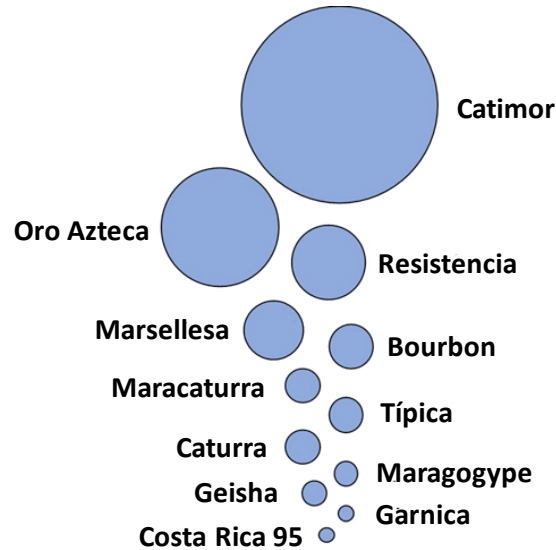


initiatives aimed at promoting Mexican coffee cultivation (Toledo & Moguel, 2012). As a result, families have adopted a range of common practices to manage their coffee agroecosystems. The agroecosystem management was defined based on the most commonly implemented practices among the surveyed families. In the community of La Revolución, eleven practices were identified in addition to harvesting and marketing (Figure 2). Eight of these relate to establishment and maintenance, including nursery establishment, planting, stump pruning (*recepta*), sucker removal (*deshije*), renovation, bending (*agobio*),

de iniciativas locales que fomentan la caficultura mexicana (Toledo & Moguel, 2012). Esto ha llevado, a que las familias adopten varias prácticas comunes para gestionar los agroecosistemas cafetaleros. El manejo del agroecosistema de café se definió de acuerdo con las prácticas más comunes realizadas por las familias estudiadas. En la localidad de La Revolución se identificaron once prácticas, además de la cosecha y comercialización (Figura 2). En el establecimiento y mantenimiento se identificaron 8 prácticas, que incluyen establecimiento de vivero, siembra, recepta, deshije, renovación, agobio poda,

Figure 3. Coffee varieties cultivated in the agroecosystems of Tila, Chiapas. The size of each circle indicates the proportion in which each variety is grown.

Figura 3. Variedades de café cultivadas en los agroecosistemas de Tila, Chiapas. El tamaño de círculo indica la proporción en que es cultivada cada variedad.



pruning, and shade regulation. The remaining three are associated with phytosanitary management: weed control, pest control, and disease control.

Seed selection and the establishment of home-based coffee nurseries are practices that can be carried out throughout the year. However, only 43 % of surveyed families reported having their own nurseries. The remaining 57 % obtain seedlings directly from their coffee plots, where they sprout from fallen seeds, and use them for planting or renewing their coffee stands. Additionally, 97 % of families carry out planting or transplanting between July and December, which corresponds to the rainy season.

One notable aspect is the diversity of coffee varieties cultivated by the families, with twelve identified (Figure 3). However, in 50 % of households, the most common varieties are *Catimor* (91 %) and *Oro Azteca* (55 %). These varieties are high-yielding, require careful agronomic management, and are resistant to coffee leaf rust, but they are susceptible to Anthracnose (Escamilla et al., 2015; Escamilla, 2016; National Coffee Association [ANACAFÉ], 2019). Other varieties are grown in smaller proportions, ranging from 33 % (*Resistencia*, a local name for a *Catimor*-type variety) to 3 % (*Garnica* and *Costa Rica 95*). Overall, these varieties tend to be susceptible to coffee leaf rust (Esca-

regulación de sombra; el manejo fitosanitario incluye tres intervenciones: hierbas, plagas y enfermedades.

La selección de semilla y el establecimiento de viveros propios de café son prácticas que se pueden realizar todo el año. Sin embargo, solo el 43 % de las familias encuestadas tienen sus propios viveros. El 57 % restante indica haber obtenido plántulas de los mismos cafetales, a partir de semillas caídas, que se utilizan para la siembra o renovación del cafetal. El 97 % de las familias hacen la siembra o trasplante entre julio y diciembre; periodo con mayor precipitación.

Un aspecto por resaltar es la diversidad de variedades cultivadas por las familias; se identificaron doce variantes (Figura 3), sin embargo, en el 50 % de las familias las más comunes son *Catimor* (91 %) y *Oro Azteca* (55 %). Estas variedades son productivas, requieren un cuidadoso manejo agronómico, son resistentes a la roya, pero, son susceptibles al ojo de gallo (Escamilla et al., 2015; Escamilla, 2016; Asociación Nacional del Café [ANACAFÉ], 2019). Las demás variedades son sembradas en proporciones que oscilan entre el 33 % (*Resistencia*, nombre local de una variedad tipo *catimor*) y 3 % (*Garnica* y *Costa Rica 95*). En términos generales, estas variedades son susceptibles al ataque de roya (Escamilla, 2016; ANACAFÉ, 2019). Desafíos como la incidencia de pla-

milla, 2016; ANACAFÉ, 2019). Challenges such as pest and disease outbreaks (Medina-Meléndez et al., 2016), drought, excessive rainfall, and extreme temperatures (Higuera Ciapa & Rivera Ramírez, 2018), among others, have significantly affected the coffee sector in this region. As a result, families have opted to incorporate new coffee varieties into their routines.

The average plant density in the coffee plots is 3,769 plants·ha⁻¹, with a range from 2,133 to 5,333 plants·ha⁻¹. A study conducted in five municipalities of Chiapas found that coffee plantation densities varied between 3,334 and 4,444 plants·ha⁻¹ (Medina-Meléndez et al., 2016). The average value observed in La Revolución falls within this range; however, the lowest recorded figure is 64 % lower than that reported by Medina-Meléndez et al. (2016). According to Escamilla et al. (2021), the highest planting densities are found in the regions of Ángel Albino Corzo and Motozintla, Chiapas, while lower values are reported in Bochil and Pichucalco. These differences are attributed to agroecological conditions, cropping systems, pruning management, and the type of coffee variety grown.

Seventy-one percent of families reported engaging in some form of tissue management, including stump pruning (*recepta*), bending (*agobio*), sucker removal (*deshije*), and branch pruning. The remaining 29 % reported not practicing any of these methods. It is generally observed that after seven years, coffee plantations tend to show a decline in productivity, making tissue management essential to stimulate the emergence of new shoots or vigorous growth, thereby enhancing coffee production (TechnoServe et al., 2021).

Tissue management practices are carried out year-round, depending on the growth stage and development of the coffee plants. The practice known as *recepta* or *zoca* is applied when plants are no longer productive and show signs of exhaustion. It involves cutting the main stem at a 45° angle, approximately 40 cm above the ground, to stimulate the emergence of new shoots. *Agobio* is performed on two-year-old plants and consists of bending the stem and securing it with a wooden stick (*garabato*) or a banana trunk, tying it with raffia to create a 45° angle toward the planting row. This technique encourages the development of new shoots along the bent stem (Coffee Research Center [CEDICAFÉ], 2015).

gas y enfermedades (Medina-Meléndez et al., 2016), sequía, lluvias abundantes, temperaturas extremas, (Higuera Ciapa & Rivera Ramírez, 2018) entre otros, son eventos que han impactado la agroindustria del café en esta región. Esto lleva a que las familias elijan incorporar nuevas variedades.

La densidad de población promedio del cafetal es de 3 769 plantas·ha⁻¹, con un rango que va de 2 133 a 5 333 plantas·ha⁻¹. En una investigación realizada en cinco municipios del estado de Chiapas, se encontró que las densidades de población de plantaciones de café fluctuaban entre 3 334 y 4 444 plantas·ha⁻¹ (Medina-Meléndez et al., 2016). El valor promedio de la localidad La Revolución se ubica dentro del intervalo encontrado en el estudio mencionado, sin embargo, la densidad de población más baja es un 64 % menor que la reportada por Medina-Meléndez et al. (2016). De acuerdo con Escamilla et al. (2021), las plantaciones de café en las zonas de Ángel Albino Corzo y Motozintla Chiapas presentan las densidades de población más elevadas, mientras que en Bochil y Pichucalco se hallaron densidades más bajas. Estas diferencias se deben a las condiciones agroecológicas, el sistema de cultivo, manejo de podas y el tipo de variedad de café.

El 71 % de las familias afirman llevar a cabo algún tipo de manejo de tejidos: *recepta*, *agobio*, *deshije* y poda de ramas; el 29 % restante indica no llevar a cabo estas prácticas. Se indica que, a partir de los siete años, las plantaciones de café sufren una disminución en su rendimiento, lo que requiere el manejo de los tejidos, con el fin de estimular la aparición de nuevos brotes o tejidos vigorosos y aumentar la producción de café (TechnoServe et al., 2021).

Las prácticas de manejo de tejidos se realizan a lo largo del año, considerando el estado de crecimiento y desarrollo de las plantas de café. La *recepta* o *zoca*, ocurre cuando las plantas dejan de ser productivas y se observa un agotamiento. Se realiza un corte de 45° en el tallo de la planta a 40 cm del suelo para estimular nuevos brotes. La práctica conocida como *agobio*, se realiza en plantas que tienen dos años; consiste en doblar el tallo de la planta, sujetándolo con madera (*garabato*) o un tronco de plátano y amarrándolo con rafia hasta formar un ángulo de 45° hacia el lado del surco de las plantaciones. Esto induce la emisión de brotes en el tallo agobiado (Centro

The removal of suckers (*deshije*) is carried out at various stages: in productive bent-over (*agobiadas*) plantations, in young bent-over plants—where three suckers are selected—and in pruned (*recepados*) stems. In all cases, healthy, vigorous suckers that are well distributed along the plant stems are selected.

Pruning is a practice that can be carried out at three points during the year—after the harvest and mid-year. It involves removing old branches and those affected by pests or diseases. The aim is to stimulate the development of new shoots and improve fruit production. Pruning is also associated with shade regulation, as shaded coffee plantations create a microclimate that must be managed through proper shade control. This involves removing stems to allow for greater light penetration and air circulation, thereby reducing conditions that favor the emergence of pests and diseases (Vargas, 2007; CEDICAFÉ, 2015).

In the studied coffee plantations, the shade canopy is diverse, including timber species, legumes, fruit trees, and others. Optimal shade levels range from 20 % to 70 %, depending on local agroecological factors such as temperature, rainfall, elevation, annual sunlight hours, and soil nutrient availability. For this reason, pruning—a practice highlighted by 91 % of the families—is considered essential for pest and disease management, improved yields, plant health, and the production of high-quality fruit (Villarreyna & Avelino, 2016; TechnoServe et al., 2022).

Weed management is an activity that can be carried out throughout the year; however, it is typically performed at least three times annually. Some families do not weed their coffee plots, either due to the advanced age of family members or, more notably, because their children have migrated elsewhere and are no longer available to help.

In the coffee agroecosystems studied, pest management is conducted from August through April. The most frequently reported pests include the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei* Ferrari), cited by 74 % of producers; pocket gophers (*Heterogeomys hispidus* Le Conte), reported by 57 %; white grubs (*Phyllophaga* spp.), mentioned by 48 %; and leaf-cutter ants (*Atta* spp.), noted by 46 %. These species form part of the typical pest complex found in coffee plantations in Chiapas (Escamilla et al., 2021). Con-

de Investigaciones en Café [CEDICAFÉ], 2015).

El deshierbe se realiza en diversos momentos: en plantaciones agobiadas en producción; en plantaciones jóvenes agobiadas se seleccionan tres hijos, y en tallos recepados. En los tres casos se seleccionan los brotes sanos, vigorosos y que se encuentren bien distribuidos en los tallos de las plantas.

La poda es una práctica que se puede llevar a cabo en tres momentos durante el año, después de la cosecha y a la mitad del año. Se eliminan las ramas viejas y con una afectación por plagas y enfermedades. Con esta práctica se busca estimular nuevos brotes y favorecer la producción de frutos. La poda está asociada a la regulación de sombra; los cafetales bajo sombra favorecen un microclima que debe ser regulado mediante el manejo de la sombra. Esta práctica consiste en eliminar tallos para promover la entrada de luz y circulación de aire como medida para reducir las condiciones que favorecen la aparición de plagas y enfermedades (Vargas, 2007; CEDICAFÉ, 2015).

En los cafetales estudiados, el tipo de sombra es variado, incluyendo especies maderables, leguminosas, frutales, entre otras. La sombra necesaria oscila entre el 20 y el 70 %, dependiendo de factores agroecológicos del lugar, tales como la temperatura, precipitación, altura, horas luz en el año y los nutrientes presentes en el suelo. Por eso, la relevancia de las podas, mencionada por el 91 % de las familias, es una práctica que ayuda en el manejo de plagas, enfermedades, mejora de rendimiento, plantas saludables y frutos de calidad (Villarreyna & Avelino, 2016; TechnoServe et al., 2022).

El manejo de hierbas es una actividad que se puede realizar a lo largo del año; sin embargo, esta se lleva a cabo al menos tres veces al año; no obstante, algunas familias, no deshieran el cafetal, debido a su edad, y especialmente, por falta del apoyo de los hijos, que emigran a otros lugares.

En los agroecosistemas de café estudiados el manejo de plagas se lleva a cabo desde el mes de agosto hasta abril. Las plagas con mayor incidencia son la broca (*Hypothenemus hampei* Ferrari), mencionada por el 74 %, la tuza (*Heterogeomys hispidus* Le Conte) indicada por el 57 % de los cafetaleros/as, la gallina ciega (*Phyllophaga* sp.) con un 48 %, y hormigas (*Atta* sp.) reportada por el 46 %. Las especies reportadas se ubican dentro del complejo de plagas encontrado en

control methods include mechanical practices, chemical products such as Arrivo (cypermethrin) and Foley (ethyl chlorpyrifos), and traps containing ethyl alcohol, soap, and ash. In some cases, no control measures are implemented due to a lack of knowledge about pest management.

In the case of diseases, two periods of incidence were identified: the first between September and October, and the second between January and February. A total of 80 % of families reported problems with coffee leaf rust (*Hemileia vastatrix* Berk. & Broome), 60 % with American leaf spot (*Mycena citricolor* Berk. et Curt. Sacc.), and around 43 % mentioned cucayo, a fungal disease of unknown etiology. According to producers, visible symptoms include the gradual wilting of leaves, eventually leading to the death of the entire plant. White mycelium is observed in the root zone. Its occurrence is associated with limited sunlight and excessive moisture. To prevent its development, lime is applied at the base of the trees and trenches are dug to facilitate drainage and reduce soil humidity.

As a general disease control measure, branches exhibiting signs of fungal damage are removed mechanically.

The harvest period takes place from October to February, during which at least four rounds of ripe cherry picking are carried out. Yields for the 2023–2024 cycle varied across family plots. For comparison purposes, yields were extrapolated to kilograms per hectare. Households with one hectare reported an average yield of 442 kg·ha⁻¹, with a range from 150 kg to 860 kg·ha⁻¹. Families with less than one hectare achieved an average yield of 221 kg·ha⁻¹. Yields in La Revolución are significantly lower than the state average reported for Chiapas—1,630 kg·ha⁻¹ (SIAP, 2024)—highlighting the area's low productivity.

Once the coffee cherries are harvested, they are taken home for pulping. The beans are then fermented and washed; after cleaning, the parchment coffee is dried for at least three days. Once the drying process is complete, the coffee is ready for sale. About 25 % of families sold their harvest to the YAXCOFFEE Cooperative Society, which operates a collection center in the community and a warehouse in Yajalón, Chiapas. It is worth noting that these families are not cooperative members. The remaining 75 % sold

los cafetales de Chiapas (Escamilla et al., 2021). Para el manejo de estos insectos, se implementan prácticas mecánicas, uso de productos químicos como Arrivo (cipermetrina), Foley (clorpirifos etil), trampas con alcohol etílico, jabón y ceniza. En algunos casos no se realiza ningún tipo de control debido a la falta de conocimiento sobre el manejo.

En el caso de enfermedades, hay dos periodos de incidencia, el primero ocurre entre septiembre y octubre, y el segundo entre enero y febrero. El 80 % de las familias mencionaron tener problemas con la roya (*Hemileia vastatrix* Berk. & Broome), el 60 % tienen incidencia de ojo de gallo (*Mycena citricolor* Berk. et Curt. Sacc.), y cerca del 43 % mencionó al cucayo, una enfermedad de origen fúngica, cuyo agente causal es desconocido. Los productores mencionan que los síntomas visibles son el marchitamiento gradual de las hojas hasta que la planta entera se seca. En la zona radicular se observan micelios de color blanco. Su aparición la asocian con la falta de luz y el exceso de humedad. Para prevenir su aparición, se aplica cal en la base de los árboles y se excavan zanjas para facilitar el drenaje y disminuir la humedad del suelo.

Como medidas de control general para las enfermedades, se eliminan de manera mecánica las ramas que presentan algún tipo de daño causado por hongos.

El periodo de cosecha se realiza entre el mes de octubre y febrero, durante el cual se registran al menos cuatro cortes de café cereza madura. El rendimiento encontrado en el ciclo 2023-2024, muestra variabilidad entre las parcelas de las familias; con fines comparativos se extrapoló el rendimiento a kilogramos por hectárea, las que tienen una hectárea reportan una producción promedio de 442 kg·ha⁻¹ con rango que fluctúa entre 150 kg y 860 kg·ha⁻¹. Las familias con menos de una hectárea obtienen un rendimiento promedio de 221 kg·ha⁻¹. Los rendimientos encontrados en La Revolución son notablemente menores que el valor promedio reportado para el Estado de Chiapas, 1 630 kg·ha⁻¹ (SIAP, 2024), lo que resalta la baja productividad.

Una vez que los frutos son cosechados, se trasladan a la casa para realizar el despulpado. Posteriormente se deja fermentar, después se lava; una vez que está limpio, el café en pergamino se seca por lo menos tres días. Una vez que el café está listo, se procede a su comercialización. El 25 % de las familias

their coffee to a local intermediary from neighboring communities.

Coffee cultivation requires year-round agronomic management, and families face uncertainties in both production and market prices. Since the 1990s, coffee prices have remained persistently low and volatile (Henderson, 2019). These trends have prompted families to diversify their income sources in order to meet basic needs, which has, in turn, led to a simplification of coffee management practices. As a result, coffee plots have been somewhat neglected, as producers increasingly turn to more stable and better-paying forms of wage labor (Vázquez-López et al., 2022).

Biodiversity in coffee plots and its common uses

Plant biodiversity in coffee plots is essential for local families. Shade-grown coffee systems are typically diverse environments where smallholder families interplant forest, fruit, medicinal, and vegetable species, among others. In recent years, the benefits of shade-grown coffee have become increasingly recognized, as these systems serve as refuges for both flora and fauna (Manson et al., 2028), while also providing food for families and fulfilling various other functions. In the coffee agroecosystems of La Revolución, families have identified up to 60 plant species. Figure 4 shows the 26 most common species found in these plots. This diversity includes both native and introduced species, which serve up to seven functions: shade, firewood, food, boundary demarcation, medicine, construction, and fencing. The three most frequently occurring genera are *Inga* and *Musa*, found in over 70 % of the coffee agroecosystems. More than 90 % of the species are used for shade and cooking fuel, while 44 % are used for food and home construction. Less than 7 % are used for medicinal purposes, fencing, or as boundary markers. In this context, coffee agroecosystems are not only a source of income for families but are also regarded as multifunctional spaces that provide vital ecosystem services—particularly provisioning and environmental services.

Within these agroecosystems, more than half (36) of the plant species identified in the coffee plots serve at least three common purposes, including shade, firewood, food, construction, fencing, boundary demarcation, and medicinal use. Species such as

vendieron sus cosechas a la Sociedad Cooperativa de YAXCOFFEE, un centro de acopio de la comunidad y bodega en Yajalón, Chiapas. Cabe mencionar que las familias no son socias de la cooperativa. El 75 % vendieron a un intermediario local de comunidades vecinas.

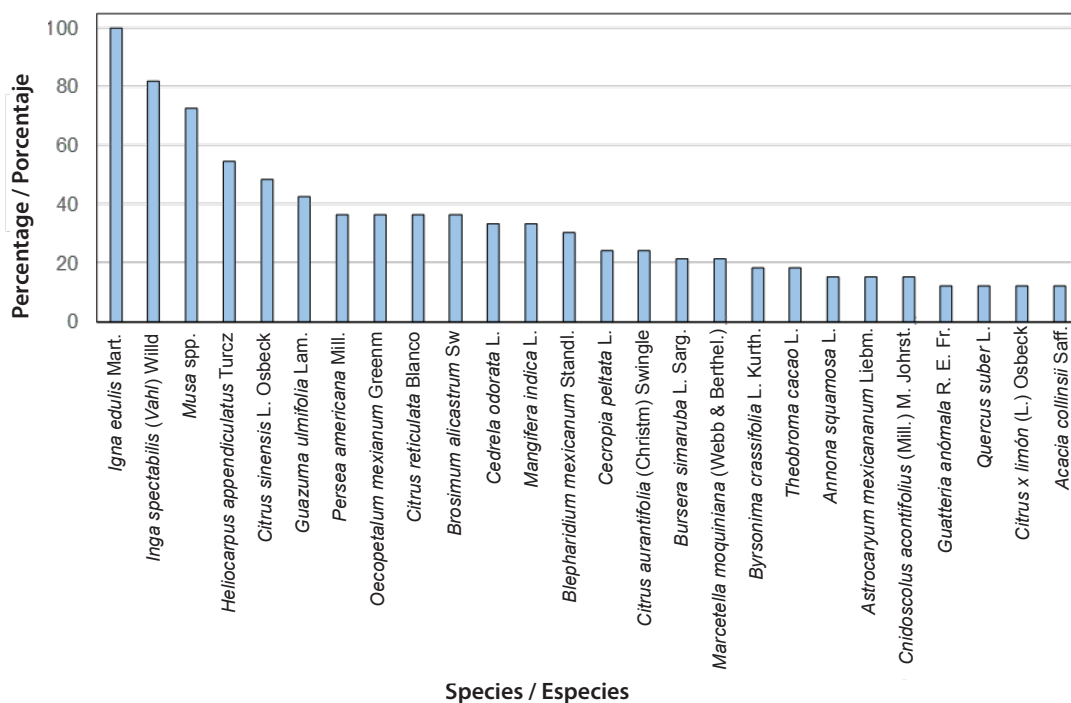
El cultivo de café requiere un manejo agronómico durante todo el año, las familias enfrentan incertidumbres tanto en la producción como en los precios de la comercialización. Desde la década de los noventa, del siglo pasado, el precio del café ha sido bajo y variable (Henderson, 2019). Estas tendencias han llevado a que las familias diversifiquen sus fuentes de ingresos para satisfacer sus necesidades básicas; además, esto ha impactado en la simplificación del manejo del cultivo de café. Esta situación ha provocado un cierto descuido de los cafetales, mientras los productores buscan ingresos en actividades más estables y remuneradas, principalmente en diferentes modalidades de trabajo asalariado (Vázquez-López et al., 2022).

La biodiversidad de los cafetales y sus usos comunes

La biodiversidad vegetal en los cafetales es esencial para las familias de la localidad. Los cafetales bajo sombra suelen ser entornos diversos donde las familias campesinas combinan especies de árboles forestales, frutales, medicinales y hortalizas entre otras. En años recientes, se han destacado los beneficios de los cafetales bajo sombra, ya que actúan como refugio de fauna y flora (Manson et al., 2028), además de proporcionar alimentos para las familias y cumplir otros propósitos. En los agroecosistemas de café de La Revolución, las familias han identificado hasta 60 especies de plantas. En la Figura 4 se presentan las 26 especies más comunes en los cafetales. Esta diversidad incluye especies nativas e inducidas, que pueden tener hasta siete usos: sombra, leña, alimento, lindero, medicinal, construcción y cercos. Las tres especies más frecuentes son del género *Inga* y *Musa*, que están presentes en más del 70 % de los agroecosistemas de café. Más del 90 % de las especies son usadas para sombra y combustible para cocinar, mientras que el 44 % se emplea para alimento y construcción de viviendas. En proporciones menores al 7 % se utiliza para fines medicinales, establecimiento de cercos y linderos. En este contexto, los

Figure 4. Most frequent plant species in the coffee agroecosystems of La Revolución, Tila, Chiapas.

Figura 4. Especies más frecuentes en los agroecosistemas de café en La Revolución, Tila, Chiapas.



soursop (*Annona muricata* L.) and chanthe (*Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Walp.) are used in five to six different ways, while most of the other species fulfill between three and four functions.

Figure 5 illustrates the various combinations of uses associated with the plant species. For instance, those with six potential uses account for approximately 45 %, while species used specifically for both food and shade make up 7 %.

The reported species and their various uses are essential components of the studied agroecosystems and hold significant socioeconomic and cultural value for coffee cultivation in the state of Chiapas (Moguel & Toledo, 1996; Sistema Producto Café, 2012). Shade-grown coffee systems often contribute to microclimate regulation (Manson et al., 2028), thanks to the mix of species typically found in these plots—most commonly timber, fruit, and ornamental trees. In many cases, the diversity of cultivated and managed species reflects local strategies developed by smallholder families, not only to conserve and protect native varieties and species, but also because these biodiverse plots serve as sources of food and income. In line with this, a study by Beltrán

agroecosistemas de café no solo representan una fuente de ingresos para la familia, sino que también son considerados como espacios que proporcionan servicios ecosistémicos, siendo los más relevantes los ambientales y de aprovisionamiento.

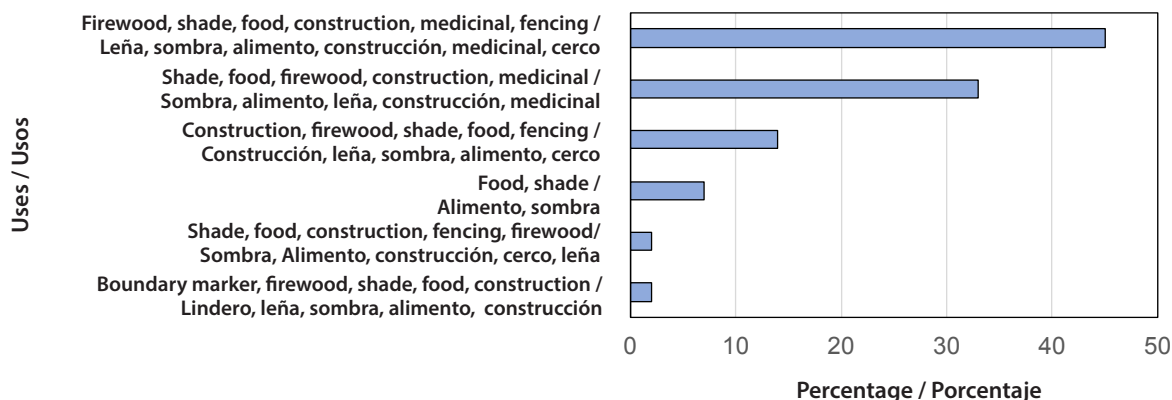
En estos agroecosistemas, se encontró que más de la mitad (36) de las especies identificadas en los cafetales, tienen al menos 3 usos comunes, que pueden ser: sombra, leña, alimento, construcción, cerco, lindero o medicina. Especies como la guanábana (*Annona muricata* L.) y el chanthe (*Gliricidia sepium* (Jacquin.) Kunth ex Walpers) se utilizan entre cinco y seis formas diferentes, mientras que las otras especies pueden tener entre tres y cuatro usos.

La Figura 5 muestra las diversas combinaciones de usos que pueden tener las especies. Por ejemplo, las que tienen seis usos potenciales constituyen aproximadamente el 45 %, mientras que las especies empleadas para alimento y sombra representan el 7 %.

Las especies reportadas y sus modalidades de uso son elementos esenciales de los agroecosistemas estudiados y poseen relevancia socioeconómica y cultural para los cafetales del Estado de Chiapas (Moguel & Toledo, 1996; Sistema Producto Café, 2012). Los cafetales bajo sombra suelen contribuir a la regulación

Figure 5. Uses of plant species present in the coffee agroecosystems of Tila, Chiapas.

Figura 5. Uso de especies vegetales presentes en los agroecosistemas de café, Tila, Chiapas.



(2022) in the state of Veracruz highlighted the role of shade-grown coffee systems as providers of environmental services, sources of diversified income, and spaces that foster ecological interactions.

Agroecological indicators in coffee agroecosystems

Agroecological indicators are tools that facilitate the assessment and interpretation of an agroecosystem's condition. They help determine the extent to which agroecological principles are being applied and identify aspects that require improvement. These indicators operate on a three-level scale (1, 5, 10), where the desirable level (10) indicates that such principles are being actively promoted or supported through management practices.

Figure 6 summarizes the agroecological indicators evaluated in the coffee agroecosystems. Indicators with values close to one—representing 11 % of the total—are considered to be in an undesirable condition from an agroecological perspective, indicating characteristics that could be improved through technical interventions. The indicators at this level are current yield and biological activity. This suggests that reported yields are generally low compared to the system's potential. Regarding biological activity, field sampling revealed the absence of macrofauna such as earthworms and other invertebrates, including insects and spiders.

Indicators with values near five—representing an intermediate condition—make up 5 % of the total. At this level, the “weed competition” indicator was iden-

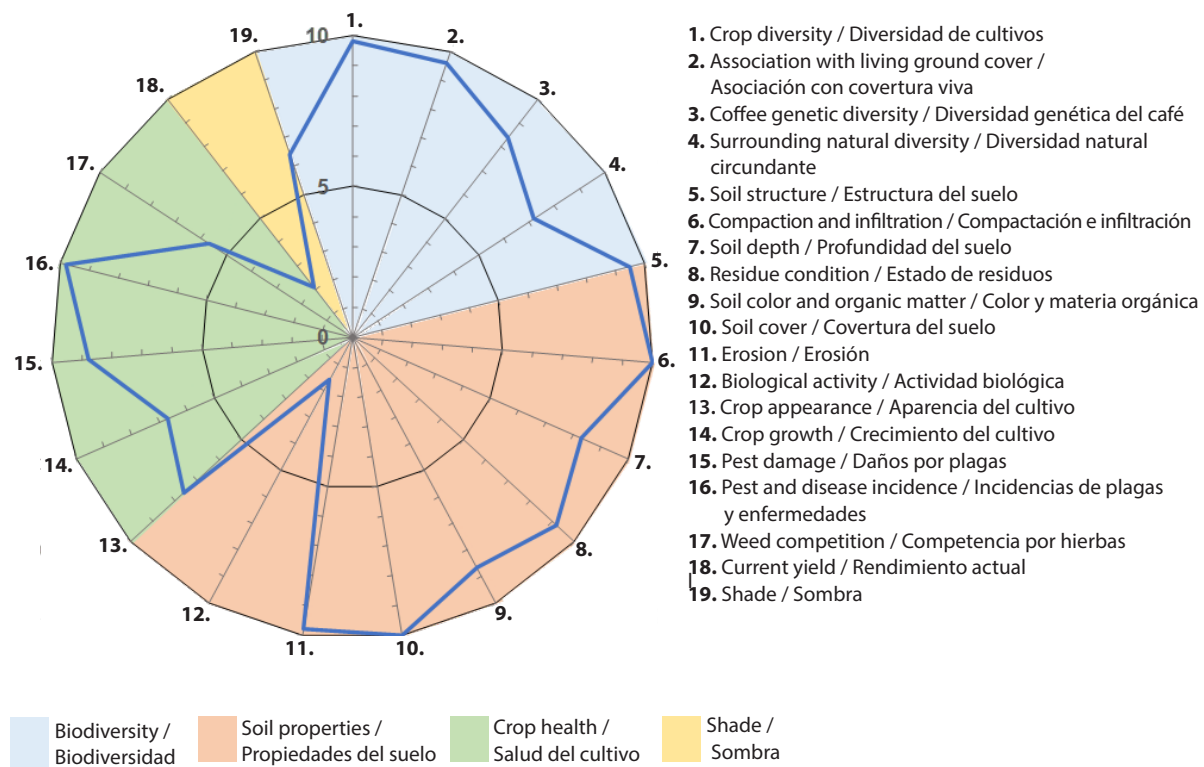
de los microclimas (Manson et al., 2028) gracias a la combinación de especies, que generalmente incluye maderables, frutales y ornamentales. En ocasiones, la diversidad de especies cultivadas y fomentadas en los cafetales es parte de las estrategias locales de las familias campesinas, no solo para conservar y resguardar variedades y especies nativas, sino que estas parcelas biodiversas suelen ser fuentes de ingreso y de alimentos para las familias. Con relación a esto, una investigación realizada por Beltrán (2022) en el Estado de Veracruz, subrayó la contribución de los cafetales bajo sombra al ser proveedores de servicios ambientales, fuentes de ingresos diversificados y espacio de interacciones ecológicas.

Indicadores agroecológicos de los agroecosistemas de café

Los indicadores agroecológicos son instrumentos que facilitan el diagnóstico y la interpretación del estado de un agroecosistema, y para determinar el nivel de aplicación de los principios agroecológicos e identificar las propiedades que requieren mejoras. Los indicadores tienen tres niveles o escalas (1, 5, 10), el nivel deseable (10) señala que los principios agroecológicos son promovidos o favorecidos por las prácticas de manejo del agroecosistema.

La Figura 6 sintetiza los indicadores agroecológicos evaluados en los agroecosistemas de café. Los indicadores que presentan valores cercanos a uno representan el 11 % del total, se encuentran en una condición no deseable desde la perspectiva agroecológica, lo que significa que poseen características

Figure 6. Agroecological indicators in coffee agroecosystems, La Revolución, Tila, Chiapas.
Figura 6. Indicadores agroecológicos de agroecosistemas de café, La Revolución, Tila, Chiapas.



tified, indicating that weed presence does not pose a significant competitive threat to coffee plants under current management practices.

The remaining 84 % corresponds to indicators classified as being in a desirable condition from an agroecological perspective. This suggests that current coffee plantation management practices support favorable soil properties, crop health, and biodiversity. Figures 7, 8, 9, and 10 illustrate the distribution of indicator levels across the evaluated agroecosystems.

Biodiversity

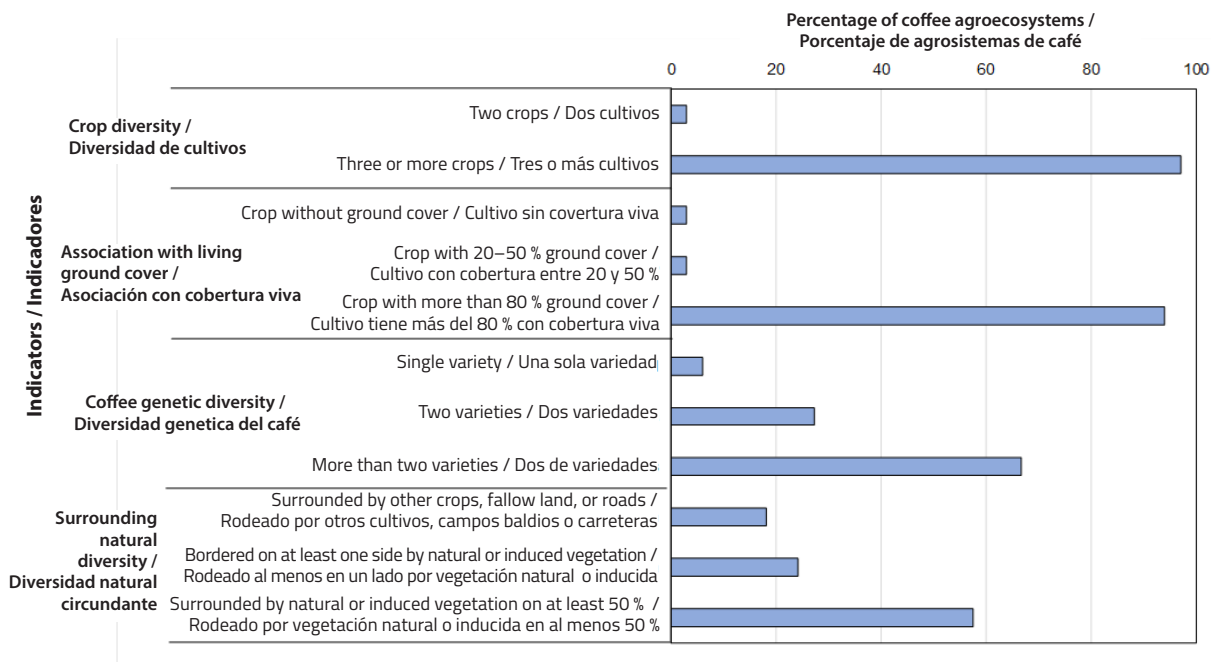
Plant biodiversity within coffee agroecosystems (Figure 7) is a fundamental component of their structure. Farming families promote diversification by cultivating a range of crops and encouraging the growth of local species. This approach has contributed to biodiversity indicators reaching desirable levels in these systems. As previously mentioned, families reported the presence of up to 60 plant species

o propiedades susceptibles de mejora mediante intervenciones técnicas. Los indicadores presentes en este nivel son rendimiento actual y la actividad biológica. Esto sugiere que los rendimientos reportados, suelen ser bajos en comparación con el potencial que se puede lograr. La actividad biológica mostró que en los muestreos de campo no se detectó la presencia de macrofauna como lombrices, invertebrados, insectos, arañas, entre otros.

Los indicadores cercanos al cinco, valor intermedio, constituyen el 5 %; en esta condición se encontró el indicador competencia por hierbas. Esto sugiere que la presencia de hierbas no genera factores de competencia con el café.

El 84 % restante se refiere a indicadores que están en una situación deseable desde un enfoque agroecológico. Esto indica que las prácticas de manejo de los cafetales favorecen las propiedades del suelo, la salud del cultivo y la biodiversidad. En las figuras 7, 8, 9 y 10 se ilustra la proporción que mostró cada uno de los niveles de los indicadores.

Figure 7. Agroecological biodiversity indicators in coffee agroecosystems, La Revolución, Tila, Chiapas
Figura 7. Indicadores agroecológicos de biodiversidad de agroecosistemas de café, La Revolución, Tila, Chiapas



on their plots. More than 90 % of coffee plantations include at least three crop species, which may feature fruit trees such as pineapple and banana, along with annual crops like maize, beans, squash, sweet potato, chayote, and chaya, among others. Around 60 % of producers cultivate more than three coffee varieties, with *Catimor* and *Oro Azteca* being the most preferred. Other notable features include extensive living ground cover—exceeding 80 %—and surrounding natural vegetation, with at least 50 % of the coffee area containing native plant cover. These agroforestry system characteristics play a key role in preserving and promoting local biodiversity. They foster synergies among system components that enhance ecosystem services such as nutrient cycling, water regulation, and microclimate stabilization, creating favorable conditions for the long-term sustainability of coffee plantations (Deheuvels et al., 2014; Jha et al., 2014; Vignola et al., 2015; Villarreyna et al., 2020).

Soil Properties

Figure 8 presents the eight indicators related to soil properties. The indicators for soil structure, compaction, residue condition, color, organic matter, ground

Biodiversidad

La biodiversidad vegetal de los agroecosistemas de café (Figura 7), es uno de los elementos fundamentales de su composición. Las familias promueven esquemas de diversificación mediante plantas cultivadas y el fomento de especies locales. Esto contribuyó a que los indicadores de biodiversidad presentaran niveles deseados en estos sistemas. Como se mencionó anteriormente, las familias reportaron la presencia de hasta 60 especies vegetales en sus predios. Más del 90 % de los cafetales tienen al menos tres cultivos, que pueden incluir árboles frutales como la piña o el plátano y cultivos anuales como maíz, frijol, calabaza, camote, chayote, chaya, entre otros. Alrededor del 60 % cultiva más de tres variedades de café, destacando la preferencia por *Catimor* y *Oro Azteca*. Otros aspectos relevantes son la sobresaliente presencia de cobertura viva que supera el 80 % y la diversidad natural circundante, siendo característico que al menos en el 50 % del cafetal hay presencia de vegetación. Las propiedades de estos sistemas agroforestales son factores que contribuyen a preservar y promover la biodiversidad local. Se fomentan sinergias entre los elementos que benefician los servicios ecosistémicos como el reciclaje de nutrientes, el ciclo

cover, and erosion were all found to be at desirable levels in the coffee agroecosystems studied. These results are closely linked to the management practices implemented by smallholder families, particularly the promotion of biodiversity—a common and intentional strategy. Leaf litter, along with pruning and weed residues, is retained on the plots, contributing to ground cover composed of plant debris in various stages of decomposition. These materials serve as a potential source of organic matter for the soil. In addition to increasing organic matter content, this practice improves the soil's capacity for water infiltration and retention—both essential components of the watershed hydrological cycle (Baumann & González, 2000). Furthermore, it has been documented that several tree species in these systems develop deep root systems, which enhance nutrient recycling and make nutrients more readily available to coffee plants and other crops in the system (Harmand et al., 2010). However, no macrofauna was observed in the soil during field sampling. To better assess this indicator, periodic sampling is recommended, particularly given the otherwise favorable soil conditions. Shade-grown coffee systems have been shown to support the presence of earthworms, a trend associated with high organic matter levels and improved moisture retention (Villarreyna et al., 2020). With regard to soil depth, it is worth noting that 67 % of the evaluated plots have depths greater than 30 cm, favoring adequate root development in coffee plants. In contrast, 33 % of the plots were characterized by shallow soils, with depths ranging between 10 and 30 cm.

Soil properties benefit from the management practices implemented by coffee-growing families, as evidenced by agroecological indicators that register at optimal or high-performance levels.

Crop Health

Crop health was assessed using six indicators (Figure 9). Those related to phytosanitary conditions revealed a low or nonexistent presence of pests and diseases. Although producers acknowledged the occurrence of health issues in their coffee plots, field sampling revealed little to no pest incidence. In most cases, the crop displayed deep green foliage; however, it is noteworthy that slightly more than

del agua, la regulación del microclima, creando un ambiente propicio para la sostenibilidad de los cafetales (Deheuvels et al., 2014; Jha et al., 2014; Vignola et al., 2015; Viallarreyna et al., 2020).

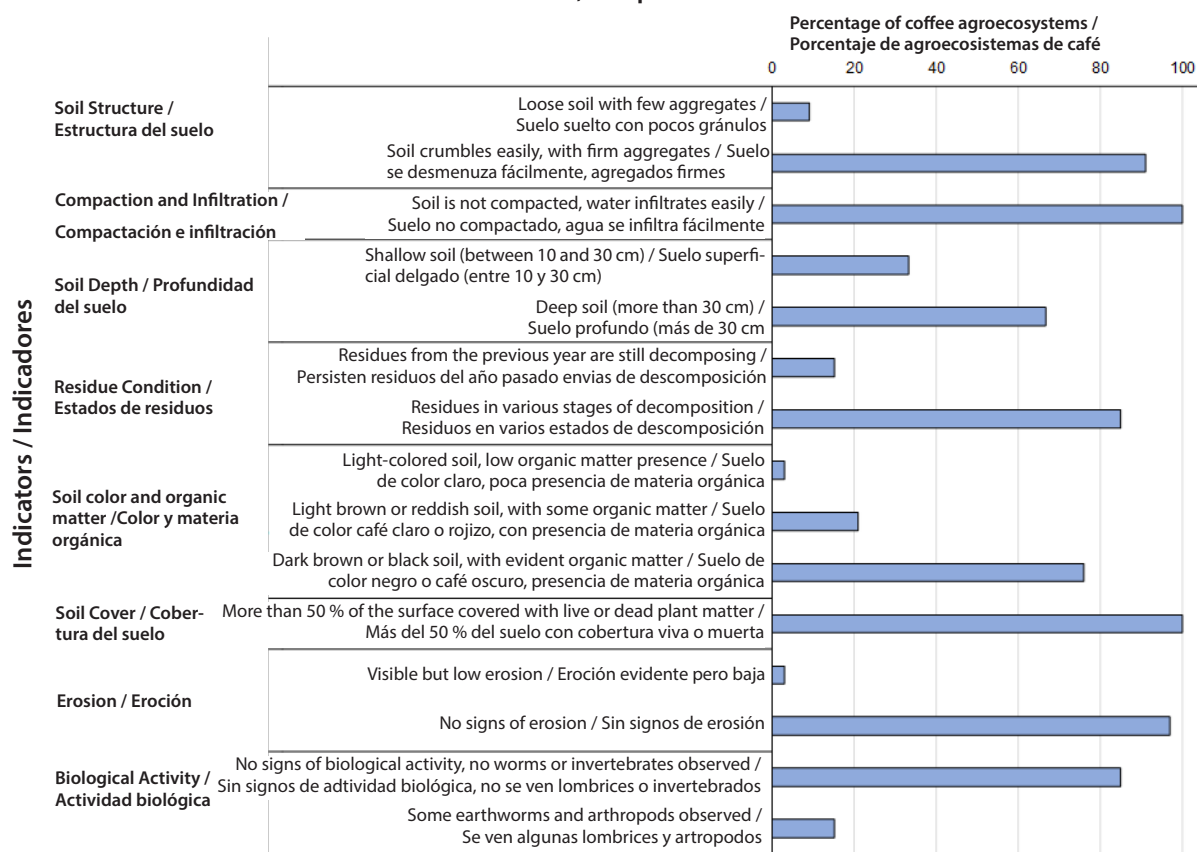
Propiedades del suelo

En la Figura 8 se presentan los ocho indicadores de las propiedades del suelo. Los indicadores de estructura, compactación, estado de residuos, color y materia orgánica, cobertura y erosión en los cafetales estudiados se encuentran en niveles deseables. Estos indicadores están relacionados al tipo de manejo que realizan las familias campesinas, donde se resalta el fomento de la biodiversidad, una práctica común. La hojarasca, así como los residuos de podas y de hierbas, se conservan en las parcelas, lo que favorece la presencia de coberturas de residuos vegetales en diferentes grados de descomposición, las cuales son potencialmente una fuente de materia orgánica para el suelo. Además de incrementar los niveles de materia orgánica en los cafetales, también mejora la capacidad de infiltración y almacenamiento de agua, siendo esenciales en el ciclo hidrológico de las cuencas (Baumann & González, 2000). Por otra parte, se ha documentado que varias especies de árboles cuentan con sistemas radiculares profundos, lo que favorece el reciclaje de nutrientes y su disponibilidad a los componentes del cafetal (Harmand et al., 2010). Sin embargo, durante el muestreo de campo no se observó la presencia de macrofauna en el suelo. Es recomendable realizar muestreos periódicos para verificar este indicador y obtener una aproximación más precisa, ya que los indicadores exhibieron buenas propiedades del suelo. Se ha determinado que en los cafetales bajo sombra se favorece la aparición de lombrices, lo que está asociado a la presencia de materia orgánica y la capacidad de retención de humedad (Villarreyna et al., 2020). Con relación al indicador de profundidad de suelo, es importante señalar que el 67 % de las unidades evaluadas tienen profundidades superiores a 30 cm, lo que favorece el potencial para un adecuado desarrollo radicular de los cultivares; un 33 % mostró suelos poco profundos, con una profundidad que varía entre 10 y 30 cm.

Las propiedades del suelo se ven favorecidas por las prácticas de manejo que llevan a cabo las familias cafetaleras, esto se evidencia a través de los indica-

Figure 8. Agroecological indicators of soil properties in coffee agroecosystems, La Revolución, Tila, Chiapas

Figura 8. Indicadores agroecológicos de propiedades del suelo de agroecosistemas de café, La Revolución, Tila, Chiapas.



40 % of the plots exhibited pale foliage. Regarding crop growth, the majority (55 %) showed dense but uneven foliage, with thin stems and leaves. It is important to note that coffee-growing families do not implement nutrient management practices—no additional organic inputs (such as compost or manure) or fertilizers are applied. To produce one ton of coffee cherries per hectare, an estimated 31 kg N·ha⁻¹, 2 kg P·ha⁻¹, and 37 kg K·ha⁻¹ are required (Sadeghian-Khalajabadi et al., 2006). In this context, nutrient supply relies entirely on the soil, underscoring the need for soil analyses to determine whether it can meet the crop's nutritional requirements.

The weed competition indicator showed that 36 % of coffee plots had low weed presence, while the remaining plots exhibited medium to high levels. Although weeding is typically performed at least three times a year, some families do not carry out this practice regularly due to various constraints, as pre-

dores agroecológicos que se encuentran en niveles idóneos o sobresalientes.

Salud del cultivo

La salud del cultivo abarcó seis indicadores (Figura 9). Los indicadores relacionados a problemas fitosanitarios presentaron baja o nula presencia de plagas y enfermedades. Si bien, los productores mencionaron los problemas sanitarios que se presentan en el cafetal, durante el muestreo, se observó baja o nula presencia de plagas. La apariencia del cultivo, en la mayoría de los casos, mostró un follaje verde intenso, sin embargo, es notable que en poco más del 40 % de los casos, hubo follaje claro. El crecimiento del cultivo, en la mayoría de los casos (55 %), presentó un follaje denso, aunque no homogéneo, con tallos y hojas delgadas. Es relevante señalar que las familias productoras no llevan a cabo prácticas dirigidas a la nutrición del cafetal, es decir, no se aplican fuentes

viously mentioned. Weed presence significantly affects coffee yields—studies have documented that, on average, yields can decrease by up to 50 % in the absence of weed control. This highlights the importance of implementing effective weed management strategies.

Reported coffee yields were 73 % lower than the regional average. Several factors may contribute to this low productivity, one of which is the wide variation in planting density, ranging from 2,133 to 5,333 plants·ha⁻¹. Planting density is a key determinant of coffee yield. In agroforestry coffee systems, it is essential to define optimal plant spacing that maximizes yield under the edaphoclimatic conditions specific to each region (Farfán, 2010). Planting density should be managed according to the phenotypic traits of each variety, soil characteristics, and the nutritional requirements of the crop. These findings highlight the need for more in-depth research to determine the most appropriate planting densities for local conditions.

Another factor potentially contributing to low coffee productivity is the absence of nutrient management in the plantations, where the only nutrient inputs come from organic residues generated by coffee plants and shade trees. Although studies have shown that shade-grown coffee agroecosystems typically have high organic matter content, soil properties such as pH and cation exchange capacity (CEC) influence microbial activity and mineralization processes, which in turn affect nutrient availability for the crop (López et al., 2016). Conducting soil fertility analyses is therefore recommended to provide a stronger foundation for designing a targeted nutrient management strategy for coffee systems.

Shade Management in Coffee Plantations

Shade management is a key practice in coffee cultivation. Figure 10 shows the shade levels recorded in the studied coffee agroecosystems. Sixty-six percent of the plots exhibited shade levels between 40 % and 60 %, which are considered optimal. A small proportion (3 %) had shade levels below 40 %, while roughly one-third of the plots exceeded 60 %. High shade levels can lead to phytosanitary problems and increased competition for light, water, and nutrients—factors that significantly impact coffee productivity

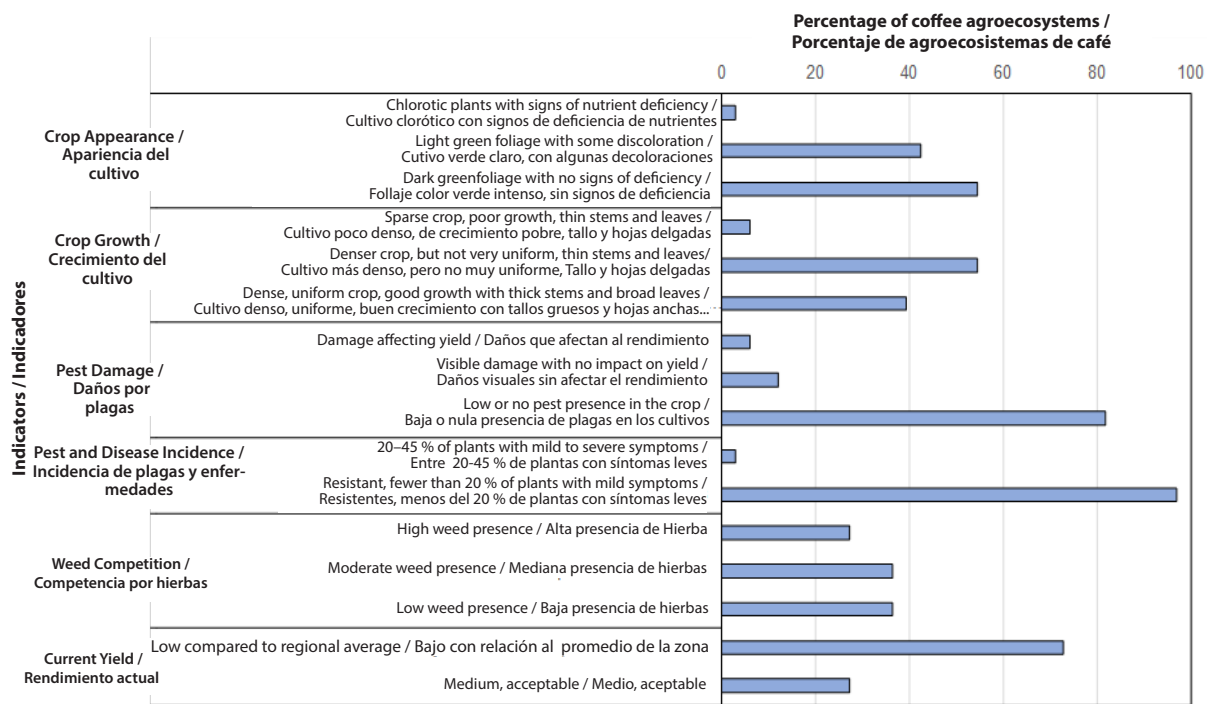
orgánicas adicionales (compost, estiércol, etc.) ni fertilizante. Para producir una tonelada de frutos de café por hectárea se requieren 31 kg N·ha⁻¹, 2 kg P·ha⁻¹ y 37 kg K·ha⁻¹ (Sadeghian-Khalajabadi et al., 2006), cantidades que, en este caso, deben estar provistas por el suelo. En este contexto, es importante realizar análisis de suelo para determinar si éste proporciona esta cantidad de nutrientes.

El indicador de competencia por hierbas indica que un 36 % de los cafetales tienen escasa presencia de hierbas, mientras que el resto presenta niveles altos y medianos de presencia. Aunque el deshierbe se realiza al menos tres veces al año, algunas familias no la llevan a cabo por distintas razones, como se mencionó anteriormente. La presencia de hierbas impacta de forma considerable el rendimiento del café. Se ha documentado que el rendimiento puede disminuir en un 50 %, en promedio, sin manejar hierbas, lo que resalta la importancia del manejo de estas plantas.

El rendimiento de café reportado es 73 % inferior en comparación con la producción de la región. Varios factores pueden estar asociados con esta baja productividad, entre los cuales se encuentra la amplia variación en la densidad de población (2 133 y 5 333 plantas·ha⁻¹). La densidad de población es uno de los factores que determina la producción de café. En los sistemas agroforestales de café, es necesario determinar la distancia adecuada entre plantas que posibilite obtener el máximo rendimiento de café bajo las condiciones edafoclimáticas de cada región (Farfán, 2010). La densidad de población debe ser gestionada de acuerdo con las características fenotípicas de cada variedad, las condiciones edafológicas y las necesidades nutricionales de la variedad. Esto sugiere, la necesidad de realizar estudios más profundos para determinar la densidad de población adecuada a las condiciones locales.

Otro factor que puede estar asociado a la producción de café es la ausencia de manejo nutricional en los cafetales, donde la única fuente de nutrientes proviene de residuos orgánicos generados por las plantas de café y los árboles en las parcelas. Otros estudios han demostrado que en agroecosistemas de café bajo sombra se caracterizan por sus altos contenidos de materia orgánica, sin embargo, propiedades como el pH y la CIC influyen en la activi-

Figure 9. Agroecological indicators of crop health in coffee agroecosystems, La Revolución, Tila, Chiapas
Figura 9. Indicadores agroecológicos de salud del cultivo de agroecosistemas de café, La Revolución, Tila, Chiapas.



(Zuidema et al., 2005; Villarreyña et al., 2020). In agroforestry systems, shade provided by different vegetation strata has multiple implications for coffee cultivation. One such implication is the need for labor to maintain shade levels that do not compromise productivity or increase competition (Villarreyña, 2016). Although over 60 % of the coffee plantations maintain appropriate shade levels, respondents indicated that they are facing labor shortages for maintaining their plots. This suggests a trend toward simplified management, which may threaten the long-term productivity of coffee systems.

Conclusions

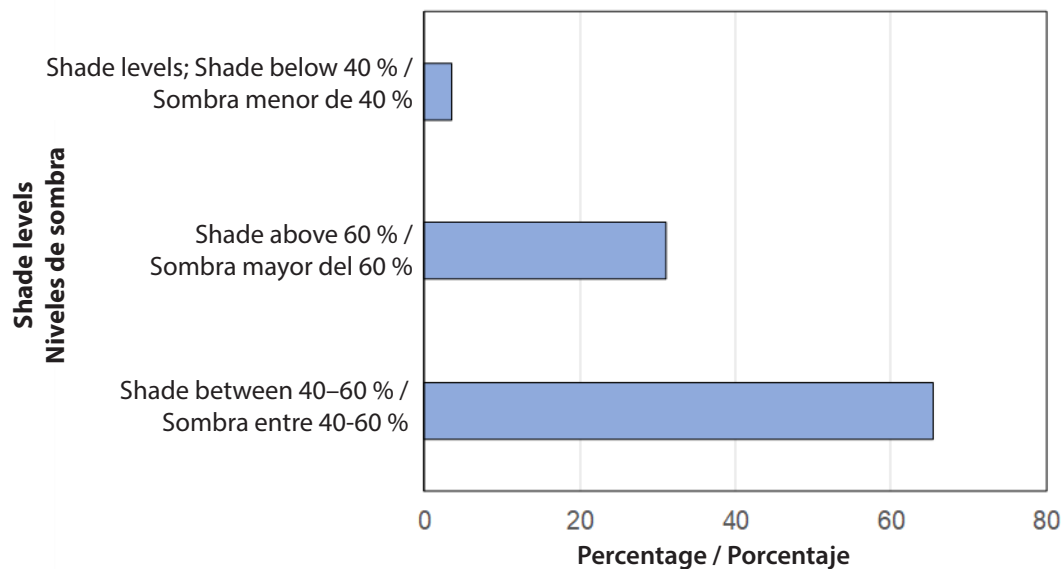
Coffee cultivation holds significant economic, social, ecological, and cultural importance for Indigenous *Ch'ol* smallholder families in La Revolución, Tila, Chiapas. These families manage coffee through agroforestry systems that provide a range of benefits, including food, medicine, firewood, and construction materials. By applying a variety of traditional management practices, they maintain their coffee agroecosystems. However, these systems are marked by low productivity, largely due to suboptimal planting

microbiana y en los procesos de mineralización, lo que puede afectar la disponibilidad de nutrientes para el café (López et al., 2016). Se sugiere llevar a cabo análisis de fertilidad del suelo para tener más elementos para establecer un plan de manejo nutricional del cafetal.

Sombra en los cafetales

El manejo de la sombra es una práctica fundamental en los cafetales. La Figura 10 muestra los niveles encontrados en los agroecosistemas de café estudiados. El 66 % de los cafetales presentan entre 40 y 60 % de sombra, valores que son considerados como nivel adecuado. Un pequeño porcentaje (3 %) tiene un nivel de sombra inferior al 40 %, mientras que alrededor de un tercio presenta valores superiores al 60 %. Los niveles altos de sombra provocan problemas fitosanitarios y factores de competencia (luz, agua, nutrientes) lo que impacta de manera significativa la productividad del cafetal (Zuidema et al., 2005; Villarreyña et al., 2020). En los sistemas agroforestales la sombra producida por los diferentes estratos de vegetación tiene diversas implicaciones en el cafetal. Una de ellas es la necesidad de mano de obra

Figure 10. Shade levels in coffee agroecosystems, La Revolución, Tila, Chiapas
Figura 10. Niveles de sombra de agroecosistemas de café, La Revolución, Tila, Chiapas.



densities, weed competition, and limited nutrient management. Addressing these constraints offers an opportunity to improve yields and promote the long-term sustainability of coffee agroecosystems.

The analysis of coffee plots using agroecological indicators—related to soil properties, biodiversity, and crop health—revealed management practices that promote agroecological processes, enhancing the sustainability and resilience of these systems.

Agroecological indicators proved to be an effective tool for evaluating coffee agroecosystems. They help identify areas requiring improvement and inform the implementation of targeted actions aimed at achieving healthy, vigorous, productive, and sustainable coffee cultivation. However, their successful application will depend on the specific social, economic, and environmental conditions of each household.

para mantener niveles de sombra que no afecten la productividad del cafetal y evitar posibles efectos de competencia (Villarreyna, 2016). Si bien, más del 60 % de los cafetales tienen niveles adecuados de sombra, las personas encuestadas señalaron que están enfrentando dificultades relacionadas con la escasez de mano de obra para el mantenimiento de sus cafetales, lo que sugiere que se está simplificando su manejo, un panorama que pone en riesgo la producción del café.

Conclusiones

El cultivo de café tiene una gran relevancia económica, social, ecológica y cultural para las familias indígenas choles, minifundistas en la localidad de la Revolución, Tila, Chiapas. Estas familias cultivan el café mediante sistemas agroforestales, lo que les proporciona beneficios relacionados con la alimentación, medicina, energía (leña), construcción, entre otros. Las familias implementan diversas prácticas comunes que les permiten gestionar los agroecosistemas cafetaleros. Estos se caracterizan por su bajo rendimiento asociado a la densidad de población, la presencia de hierbas y escaso manejo nutricional. Abordar estas limitaciones representa una oportunidad para impulsar transformaciones en los agroecosistemas de café.

End of English version

References / Referencias

Asociación Nacional del Café (ANACAFÉ). (2019). Guía de variedades de café Guatemala. Segunda edición ANACAFE, 48 p. <https://www.anacafe.org/uploads/file/9a4f9434577a433aad6c123d321e25f9/Gu%C3%ADa-de-variedades->

Anacaf%C3%A9.pdf

Baumann, J., & González, S. (2000). Plan de conservación de suelos y agua para la costa de Chiapas. México: Comisión Nacional del Agua y Centro para Migración y Desarrollo Internacional, CNA – CIM. 141 pp.

Barham, B. L., Callenes, M., Gitter, S., Lewis, J., & Weber, J. (2011). Fair trade/organic coffee, rural livelihoods, and the “agrarian question”: Southern Mexican coffee families in transition. *World Development*, 39(1), 134-145.

Beltrán Vargas, H. J. (2022). Certificación participativa del cafetal comestible de la organización vinculación y desarrollo agroecológico en café (VIDA AC). [Tesis de Maestría, Colegio de Postgraduados].

Centro de Investigación en Geografía y Geomática. (2016). Condiciones socioeconómicas de la región fronteriza Chiapas-Tabasco. Centro de Investigación en Geografía y Geomática, Secretaría de Medio Ambiente e Historia Natural & Gobierno de Chiapas, México. 150p <http://centrogeo.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1012/218>

Centro de Investigaciones en Café (CEDICAFÉ). (2015). Recomendaciones y consideraciones para la renovación exitosa de una plantación. Boletín Técnico febrero 2015 –ANACAFÉ. 14 p. <https://www.anacafe.org/uploads/file/12c78feb8c28400bbf17b975b727f8b5/20-manejo-tejido-productivo.pdf>

Contreras Medina, D. I. Sánchez Osorio, E., & Pardo Núñez, J. (2023). Producción y aprovechamiento del café. Prospección sistémica de la cadena de valor en los estados de Chiapas, Oaxaca y Guerrero. México, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A.C. Juan Pablos Editor https://www.researchgate.net/publication/373485076_Produccion_y_aprovechamiento_del_cafe

Chain-Guadarrama, A., Martínez-Salinas, A., Aristizábal, N., & Ricketts, T. 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 and Environment*, 280, 53–67. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.04.011>

Dehevels, O., Rousseau, G. X., Soto Quiroga, G., Decker Franco, M., Cerda, R., Vélchez Mendoza, S. J., & Somarriba, E. (2014). Biodiversity is affected by changes in management intensity of cocoa-based agroforests. *Agroforestry Systems*, 88(6), 1081–1099. <https://doi.org/10.1007/s10457-014-9710-9>

du Toit, J. (2015). Research design. En Silva, E. A., Healey, P., Harris, N., & Van den Broeck, P. (Eds.), *The Routledge handbook of planning research methods* (pp. 61-73). London: Routledge.

Escamilla Prado, E., Ruiz Rosado, O., Díaz Padilla, G., Landeros-Sánchez, C., Platas Rosado, D., Zamarripa Colmenero, A., & González Hernández, V. (2005). El agroecosistema café orgánico

El análisis de los cafetales mediante indicadores agroecológicos relacionados a las propiedades del suelo, biodiversidad y salud de cultivo mostró que existen prácticas que favorecen procesos agroecológicos que otorgan sostenibilidad y resiliencia.

Los indicadores agroecológicos facilitaron la evaluación de los agroecosistemas de café. Constituyen una herramienta útil para identificar las áreas que requieren mejoras y definir acciones con el propósito de lograr un cultivo saludable, vigoroso, productivo y sostenible a largo plazo. Su implementación dependerá de las determinantes sociales, económicas y ambientales de cada unidad familiar.

Fin de la versión en español

co en México. Manejo Integrado de Plagas y Agroecología (Costa Rica), 76, 5–16. https://www.researchgate.net/publication/260080032_El_agroecosistema_cafe_organico_en_Mexico

Escamilla Prado, E.; Ruiz Rosado, O.; Zamarripa Colmenero, A.; González Hernández, V. A. (2015) Calidad en variedades de café orgánico en tres regiones de México. *Revista de Geografía Agrícola*, 55, 45-55.

Escamilla Prado, E. (2016). Las variedades de café en México ante el desafío de la roya. *Breves de Políticas Públicas*, Boletín Informativo, Programa Mexicano del Carbono. 10 p.

Escamilla Prado, E., Tinoco Rueda, J. Á., Alberto Pérez Villatoro, H., Aguilar Calvo, Á. de J., Sánchez Hernández, R., & Ayala Montejo, D. (2021). Transformación socio ecológica en el agroecosistema café afectado por roya en Chiapas, México. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 44(4), 643–653. <https://revistafitotecnica-mexicana.org/documentos/44-4/18a.pdf>

Farfán, V. F. (2010). Café orgánico al sol y bajo sombrío. Una doble posibilidad para la zona cafetera de Colombia. *Avances Técnicos Cenicafe*, 399, 2-8.

Farfán, V. F. (2015). Instrumentos para estimar el porcentaje de sombra en el cafetal. Boletín Técnico Cenicafe, 39. Recuperado de: <http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/591/1/039.pdf>

Fletes Ocón, H. B., & Hernández Méndez, C. C. (2023). Pluriactividad y reproducción social en localidades rurales de Ocosingo, Chiapas. *Horizontes Territoriales*, 3(6), 1–20. <https://doi.org/https://doi.org/10.31644/HT.03.06.2023.A31>

Harmand, J. M.; Ávila, R. H.; Oliver, Saint-André, L., & Dambrine, E. (2010). The impact of kaolinite and oxi-hydroxides on ni-

- trate adsorption in deep layers of a Costarican Acrisol under coffee cultivation. *Geoderma*, 158,216-224. doi:10.1016/j.geoderma.2010.04.032.
- Harvey, C. A., Pritts, A. A., Zwetsloot, M. J., Jansen, K., Pulleman, M. M., Armbrrecht, I., Avelino, J., Barrera, J. F., Bunn, C., Hoyos García, J., Isaza, C., Munoz-Ucros, J., Pérez-Alemán, C. J., Rahn, E., Robiglio, V., Somarriba, E., & Valencia, V. (2021). Transformation of coffee-growing landscapes across Latin America. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 41–62. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s13593-021-00712-0>
- Henderson, Thomas P. (2019). La roya y el futuro del café en Chiapas. *Revista mexicana de sociología*, 81(2), 389-416. Recuperado en 16 de julio de 2024, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-25032019000200389&lng=es&tlng=es.
- Hernández-Ayón J. M.; Bolaños-González Martín A.; Norzagaray-López C. O.; Coronado-Álvarez L. de L. A., & Ibarra-Alonso P. (2023). Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México. Síntesis a 2023. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono en colaboración con la Universidad Autónoma de Baja California (UABC). Texcoco, Estado de México. México. ISSN 2954-4882. 326 p.
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C (2018). Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta, Ciudad de México, México: Editorial Mc Graw Hill Education, Año de edición: 2018, ISBN: 978-1-4562-6096-5, 714 p.
- Higuera Ciapara, I., & Rivera Ramírez, J. (2018). Problemáticas del sector cafetalero de Chiapas. Guadalajara, México: Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. (CIATEJ), Año de edición: 2018, 72p.
- Instituto del Café de Chiapas (INCAFECH). (2022). Programa Operativo Anual 2022. <https://incafech.gob.mx/assets/media/documentos/planeacion/POA%202022%20scan.pdf>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2010). Compendio de información geográfica municipal 2010 Tila Chiapas. https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/07/07096.pdf
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2017). Anuario estadístico y geográfico de Chiapas 2017. INEGI, México, 736 p.
- Jha, S., Bacon, C. M., Philpott, S. M., Méndez, E. V., Läderach, P., & Rice R. A. (2014). Shade coffee: Update on a disappearing refuge for biodiversity. *BioScience*, 64(5), 416–428. <https://doi.org/10.1093/biosci/biu038>.
- López Báez, W., Castro Mendoza, I., Salinas Cruz, E., Reynoso Santos, R., & López Martínez, J. (2016). Propiedades de los suelos cafetaleros en la Reserva de la Biósfera El Triunfo, Chiapas, México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(3), 607-618. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342016000300607&lng=es&tlng=es.
- Manson, R. H.; López Barrera, F.; Sosa Fernández, V., & Ortega Pieck, A. (2018). Biodiversidad y otros servicios ambientales en cafetales (1era ed.). Ciudad de México: Comisión Nacional de Biodiversidad (CONABIO). ISBN: 978-607-8570-11-9 74 p.
- Medina-Meléndez, J. A., Ruiz-Nájera, R. E., Gómez-Castañeda, J. C., Sánchez-Yáñez, J. M., Gómez-Alfaro, G., & Pinto-Molina, O. (2016). Estudio del sistema de producción de café (*Coffea arabica* L.) en la región Frailesca, Chiapas. *CienciaUAT*, 10(2), 33–43. <https://www.scielo.org.mx/pdf/cuat/v10n2/2007-7858-cuat-10-02-00033.pdf>
- Moguel, P., & Toledo, V. V. (1996). El Café en México, ecología, cultura indígena y Sustentabilidad. *Ciencias*, 43, 40–51. <https://www.revistacienciasunam.com/pt/185-revistas/revista-ciencias-43/1749-el-café-en-méxico-xico-ecología-cultura-indígena-y-sustentabilidad.html>
- Montoya, D., & Toledo, V. M. (2020). Historia de la caficultura en Chiapas (1880-2010). *Apuntes de una evolución social y ambiental. Sociedad y Ambiente*, 23, 1–20. <https://doi.org/DOL:https://doi.org/10.31840/sya.vi23.2187>
- Morales-Reyes, E. I., & Adame-Martínez, S. (2021). Caracterización de los agroecosistemas de producción de café orgánico en cuatro municipios de Chiapas. *Agricultura Sociedad y Desarrollo*, 18(1), 197–223. <https://doi.org/https://doi.org/10.22231/asyd.v18i2.768>
- Moscoso, J. N. (2017). Les méthodes mixtes en recherche en éducation : Vers une utilisation réflexive. *Cadernos de Pesquisa*, 47(164), 632–649. <https://doi.org/10.1590/198053143763>
- Muñoz González, R., & Mero Llor, A. K. (2020). El sector cafetalero a nivel mundial y sus principales determinantes socioeconómicos. *Revista Cubana de Ciencias Económicas*, 6(2), 27–41. <https://orcid.org/0000-0002-7635-3932>
- Núñez Medina, G. (2017). Análisis espacial del analfabetismo en municipios de Chiapas. *Revista Espacio I+D Innovación más Desarrollo*, 6(13), 78–99. <https://doi.org/10.31644/IMASD.13.2017.a05>
- Ocampo Guzmán, M. G., Fletes Ocón, H. B., Sifuentes Ocegueda, E. L., & Silva Sandes, E. (2022). Teorías y escalas del desarrollo territorial: un acercamiento desde la heterogeneidad. México: Comunicación Científica. México <https://doi.org/10.52501/cc.028>
- Ruelas-Monjardín, L. C., Nava-Tablada, M. E., Cervantes, J., & Barradas, V. L. (2014). Importancia ambiental de los agroecosis-

- temas cafetaleros bajo sombra en la zona central montañosa del estado de Veracruz, México. *Madera y Bosques*, 20(3), 27–40. <https://myb.ojs.inecol.mx/index.php/myb/article/view/149/200>
- Sadeghian-Khalajabadi, S., Mejía-Muñoz, B., & Arcila-Pulgarín, J. (2006). Composición elemental de frutos de café y extracción de nutrientes por la cosecha en la zona cafetera de Colombia. *CENICAFÉ*, 57, 251–261.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). (2022). Cultivo de café en México. Consultado desde <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/cultivo-de-cafe-en-mexico>
- Servicio de Información Agrícola y Pesquera (SIAP). (2023). Avance de siembras y cosechas 2022. México, <http://www.siap.gob.mx> (consultado en abril de 2023).
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2024). Avance de Siembras y Cosechas Café de México 2023. https://nube.siap.gob.mx/avance_agricola/
- Sistema Producto Café. (2012). Plan rector de la cafécultura de Chiapas. https://www.fec-chiapas.com.mx/sistema/biblioteca_digital/07plan-rector-de-la-cafeticultura-ultima-version.pdf
- TechnoServe, WCR, LWR, & ISF. (2021). ¿Cómo beneficia el manejo de tejidos la productividad de café? <https://mocca.org/wp-content/uploads/2021/08/manejo-de-tejidos-productividad-del-cafe%CC%81.pdf>
- TechnoServe Inc., WCR, LWR, & ISF. (2022). Un cafetal productivo tiene sombra que lo cuida. <https://mocca.org/wp-content/uploads/2022/12/MANUAL-Manejo-de-Sombra.pdf>
- Toledo, V. M., & Moguel, P. (2012). Coffee and Sustainability: The Multiple Values of Traditional Shaded Coffee. *Journal of Sustainable Agriculture*, 36(3), 353–377. <https://doi.org/10.1080/10440046.2011.583719>
- Vargas Vencis, P. (2007). Mujeres cafetaleras y producción de café orgánico en Chiapas. *El Cotidiano*, 22(142), 74–83. <https://www.redalyc.org/pdf/325/32514209.pdf>
- Vázquez-López, P., Espinoza-Arellano, J. de J., González-Mancilla, A., & Guerrero-Ramos, L. A. (2022). Características de productores y plantaciones de café en la zona norte de Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 101–111.
- Venegas, C. V., Gómez, B. M., Infante, A. L., & Venegas, R. V. (2018). Manuales y cursos n°12 agroecológica para la agricultura familiar campesina (Issue 12, pp. 1–212). Unidad de Sustentabilidad Ambiental, INDAP. disponible en <https://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/20.500.13082/32260>
- Vignola, R., Harvey, C. A., Bautista-Solis, P., Avelino, J., Rapidel, B., Donatti, C., & Martinez, R. (2015). Ecosystem-based adaptation for smallholder farmers: Definitions, opportunities and constraints. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 211, 126–132. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.05.013>
- Villa-Herrera Adán, Salvador-Castillo José M., Ramírez-Armas Luz M., & Bolaños González Martín A. (2023). Estimación de la huella de carbono de la cadena productiva de café orgánico bajo sombra. En M. J. Hernández Ayón, M. A. Bolaños González, O. C. Norzagaray López, L. de L. A. Coronado Álvarez, & Ibarra Alonso, P. (Eds.), *Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2023* (pp. 313–319). Programa Mexicano del Carbono en colaboración y Universidad Autónoma de Baja California (UABC).
- Villarreyna, R., Avelino, J., & Cerda, R. (2020). Adaptación basada en ecosistemas: efecto de los árboles de sombra sobre servicios ecosistémicos en cafetales. *Agronomía Mesoamericana*, 31(2), 499–516. <https://doi.org/10.15517/am.v31i2.37591>
- Villarreyna-Acuña, R. A., & Avelino, J. (2016). Efecto de la sombra sobre las plagas y enfermedades, a través del microclima, fenología y estado fisiológico del cafeto. Turrialba, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.20347.72489>
- Zuidema, P. A., Leffelaar, P. A., Gerritsma, W., Mommer, L., & Anten, N. P. R. (2005). A physiological production model for cocoa (*Theobroma cacao*): Model presentation, validation and application. *Agricultural Systems*, 84(2), 195–225. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2004.06.015>