



ENSAMBLE ARBÓREO ASOCIADO A UN SISTEMA AGROFORESTAL DE *Coffea arabica* L. EN SILTEPEC, CHIAPAS, MÉXICO †

[TREE ASSEMBLY ASSOCIATED WITH AN AGROFORESTRY SYSTEM OF *Coffea arabica* L. IN SILTEPEC, CHIAPAS, MEXICO]

Romeo de Jesús Barrios-Calderón^{1*}, Eduardo Antonio Gordillo-Díaz²,
Pablo Marroquín-Morales¹ and Alfredo Isaac Brindis-Santos¹

¹Grupo Colegiado de Investigación Agrícola y Forestal, Universidad Autónoma de Chiapas, Facultad de Ciencias Agrícolas. Entronque carretera costera y Huehuetán Pueblo, Huehuetán, Chiapas, México. C. P. 30660. Email:

romeo.barrios@unach.mx, marroquin@unach.mx, isaac.brindis@unach.mx

²Programa educativo Ingeniería Agroindustrial, Universidad Politécnica de Tapachula, Carretera Tapachula-Puerto Madero Km 24 + 300, Tapachula, Chiapas, México. C. P. C.P. 30700. Email: diaz.e.antonio@gmail.com

*Corresponding author

SUMMARY

Background: The production of *Coffea arabica* L. in most of the world is carried out under agroforestry systems, whose associated tree assembly provides microclimatic conditions and other benefits such as product diversification, biodiversity conservation, carbon sequestration, increased soil fertility, and pest and disease control. Objective: to characterize the tree component and its classification by use and value in a shade-grown coffee agroforestry system in Siltepec, Chiapas. **Methodology:** Five clusters were established, each with three randomly distributed sampling units, with a total of 15 sampling units with an area of 400 m². An inventory of the trees was carried out, classifying the associated species. Structural parameters (height, normal diameter, densities, basal area) and importance value index were estimated. **Results:** 30 tree species representing 19 botanical families were found; the Fabaceae *Inga flexuosa*, *Inga laurina*, *Inga paterno*, *Dyphisa americana* were the most important. The height of the tree component reached 27 m, with a more significant number of trees for class 2 at 7 m (1743 ind. ha⁻¹ [78.73%]). The diameter class from 2.5 to 10 cm (532 trees) had the highest number of individuals. The average density corresponds to 1155 ind. ha⁻¹, *Inga flexuosa* (chalum) the tree species with the most significant presence (510 ind. ha⁻¹) with an importance value of 60.13%. The basal area obtained corresponds to 119.5 m² ha⁻¹, *Inga laurina* (caspirol) has the most significant spatial distribution (54.02 m² ha⁻¹). Implications: The study allows dimensioning of the importance of tree associations that occur within an agroforestry system of *Coffea arabica* L. in such a way that those parameters and the composition of species can be determinants of the productive capacity of each plot. The study considers the benefits of the tree component in coffee production and contributing goods and services that give greater sustainability to the agroecosystem. Conclusions: There was a high tree density, with the Fabaceae family and particularly the *Inga* genus being the most important in the studied area, which allows excellent benefits such as the contribution of Nitrogen, nutrient recycling, soil fertility and decreased erosion in the coffee plantations

Keywords: agroecosystem; shade trees; coffee plantations; tree component; tree diversification; forest structure.

RESUMEN

Antecedentes: La producción de *Coffea arabica* L. en la mayor parte del mundo se desarrolla bajo sistemas agroforestales, cuyo ensamble arbóreo asociado proporciona de condiciones microclimáticas y otros beneficios como la diversificación productiva, conservación de la biodiversidad, captura de carbono, aumento en la fertilidad del suelo y el control de plagas y enfermedades. **Objetivo:** Caracterizar el componente arbóreo y su clasificación por uso y valor en un sistema agroforestal de café bajo sombra en el municipio de Siltepec, Chiapas. **Metodología:** Se establecieron cinco conglomerados, cada uno con tres unidades de muestreo distribuidas al azar, teniendo un total de 15 unidades de muestreo con superficie de 400 m². Se realizó un inventario del arbolado clasificando las especies asociadas. Se estimaron los parámetros estructurales (altura, diámetro normal, densidades, área basal) e índice de valor de

† Submitted January 11, 2023 – Accepted May 26, 2023. <http://doi.org/10.56369/tsaes.4724>



Copyright © the authors. Work licensed under a CC-BY 4.0 License. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

ISSN: 1870-0462.

ORCID = Romeo de Jesús Barrios-Calderón: <http://orcid.org/0000-0002-8025-6369>, Eduardo Antonio Gordillo-Díaz: <http://orcid.org/0000-0002-3126-2420>, Pablo Marroquín-Morales: <https://orcid.org/0000-0002-4266-1136>, Alfredo Isaac Brindis-Santos: <http://orcid.org/0000-0002-7886-6002>

importancia. **Resultados:** Se encontraron 30 especies arbóreas que representan a 19 familias botánicas, siendo las fabáceas *Inga flexuosa*, *Inga laurina*, *Inga paterno*, *Dyphisa americana* las más importantes. La altura del componente arbóreo alcanzó los 27 m, teniendo mayor cantidad de árboles para la clase 2 a 7 m (1743 ind. ha⁻¹ [78.73%]). La clase diamétrica de 2.5 a 10 cm (532 árboles) fue la de mayor número de individuos. La densidad media corresponde a 1155 ind. ha⁻¹, siendo *Inga flexuosa* (chalum) la especie arbórea de mayor presencia (510 ind. ha⁻¹) con valor de importancia de 60.13%. El área basal obtenido corresponde a 119.5 m² ha⁻¹, siendo *Inga laurina* (caspirol) la especie de mayor distribución espacial (54.02 m² ha⁻¹). **Implicaciones:** El estudio permite dimensionar la importancia de las asociaciones arbóreas que se presentan dentro de un sistema agroforestal de *Coffea arabica* L. bajo sombra, de tal manera que los parámetros estructurales y las composición de especies pueden ser determinantes en la capacidad productiva de cada parcela de estudio, considerando los beneficios del componente arbóreo, tanto en la producción cafetalera como en el aporte de bienes y servicios que dan mayor sostenibilidad al agroecosistema. **Conclusiones:** Se presentó una alta densidad arbórea, siendo la familia fabácea y particularmente el género *Inga* el de mayor importancia en el área estudiada.

Palabras clave: agroecosistema; árboles de sombra; cafetales; componente arbóreo; diversificación arbórea; estructura forestal.

INTRODUCCIÓN

Coffea arabica L., también conocido como café arábico o café árabe representa del 75 al 80% de la producción mundial (Bagyaraj *et al.* 2015), cultivado por más de 25 millones de personas en alrededor de 60 países (Jayakumar *et al.*, 2017), pasando a ser la bebida natural de mayor posicionamiento en el mercado internacional. En México, el cultivo de café árabe representa aproximadamente el 97% de la superficie cafetalera existente (Mussatto *et al.*, 2011; Fierro-Cabral *et al.*, 2018), siendo Chiapas y Veracruz los dos estados que acaparan más del 60% de la producción total. El café en Chiapas, representa el cultivo comercial de mayor importancia en términos económicos, sociales, culturales y ambientales, cultivado por aproximadamente 186 mil cafeticultores que producen un promedio de 402,099.78 t de café cereza (SAGARPA, 2014; López-Baez *et al.*, 2019). El café es producido al menos en 85 de los 124 municipios de la geografía chiapaneca actual, siendo Siltepec uno de los municipios con mayor producción dentro de la región sierra Mariscal del estado de Chiapas (Rodríguez, 2015).

La producción cafetalera de *C. arabica* en la mayor parte del mundo se desarrolla bajo la sombra de árboles (Gómez-Martínez *et al.*, 2018). En los países latinoamericanos, incluido México, la producción bajo sistemas agroforestales (SAF) constituye el modelo dominante de producción de café (Jha *et al.*, 2014). Algunos estudios han demostrado que el ensamble arbóreo asociado a las plantaciones de café proporciona condiciones microclimáticas propicias para la resiliencia del sistema agroforestal cafetalero (Soto-Pinto *et al.*, 2007; Siles *et al.*, 2010; García-Mayoral *et al.*, 2015; Gomes *et al.*, 2016; Gómez-Martínez *et al.*, 2018). Dentro de los grandes beneficios asociados al componente arbóreo en los cafetales se encuentran la diversificación productiva (Toledo y Moguel, 2012), regulación climática (Gomes *et al.*, 2016), conservación de la biodiversidad (Duarte *et al.*, 2013), captura de carbono (Solis *et al.*,

2020), aumento en la fertilidad del suelo (Souza *et al.*, 2012) y la supresión de plagas y enfermedades (Rezende *et al.*, 2014). Lo anterior es posible a medida que se realice un adecuado manejo de la sombra y labores culturales que demandan la producción cafetalera.

Dentro de las estrategias de adaptación al cambio climático se ha recomendado el uso de árboles que permiten la regulación del microclima, de tal manera que el ensamble arbóreo contribuye a la sostenibilidad y resiliencia del sistema agroforestal con un enfoque de agricultura climática inteligente (Tschannrntke *et al.*, 2011; Gómez-Martínez *et al.*, 2018; Romagosa *et al.*, 2021). Los SAF de café bajo sombra también estimulan la conservación de árboles útiles dentro del paisaje agrícola (Solis *et al.*, 2020), proveyendo a los productores de algunos otros beneficios socioeconómicos (Sánchez, 2015; Herrera *et al.*, 2016; Machado y Ríos, 2016; Ruiz-García *et al.*, 2020). Además de aportar sombra al café, los árboles también pueden actuar como una barrera física protectora que atrapa partículas de aire desde el exterior de la parcela, reduciendo la velocidad del viento (Wright *et al.*, 2010; Grote *et al.*, 2016).

El ensamble de árboles multipropósito permite dar estructura y funcionalidad al sistema de los bosques nativos que reemplazaron como parte de un agroecosistema complejo (Martínez *et al.*, 2007; García-Mayoral *et al.*, 2015). En México, *C. arabica* es cultivado al menos en 2/3 de los sistemas sombreados de café, con árboles de la vegetación original que aportan una sombra diversificada al cultivo (Moguel y Toledo, 2004; Toledo y Moguel, 2012). Esto permite variación en la estructura, composición y diversidad del estrato arbóreo y arbustivo del agroecosistema de café presente (Gómez-Martínez *et al.*, 2018). En el estado de Chiapas, particularmente en el ejido El lebrero del municipio de Siltepec, se cuenta con más de 300 ha cultivadas de café bajo sombra. Cada productor utiliza en promedio de 1.5 a 3 ha de su terreno para cultivar las variedades

arábicas (con alturas de 1.6 m hasta los 3.5 m, diámetros de 0.35 a 0.13 m y cobertura de 44.9%): Bourbón (12%), Garnica (3.5%), Caturra (2.8%), Márago (2.1%), Árabe (typica) (18%), Oro Azteca (6.5%), etc., las cuales son estrictamente cultivadas bajo sistemas agroforestales, con una producción promedio por hectárea de seis a nueve quintales, dependiendo del tipo de manejo del cultivo (Robledo, 2012). Este tipo de manejo depende de la diversidad, calidad y uso que el ensamble arbóreo representa en cada parcela. Por ello, el presente estudio tiene como objetivo la caracterización del componente arbóreo y su clasificación por uso y valor en un sistema agroforestal de café bajo sombra dentro del municipio de Siltepec, en la sierra de Chiapas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del área de estudio

El área de estudio corresponde al municipio de Siltepec en el estado de Chiapas, México dentro de la región Sierra Mariscal, específicamente en El ejido “El Letrero”, ubicada en su totalidad dentro de la Zona Sujeta a Conservación Ecológica Pico el Loro-Paxtal inscrito dentro del Corredor Biológico Mesoamericano (CONABIO, 2009). La zona de estudio se encuentra en las coordenadas 15°29'29.30" N y 92°28'10.58" O, a una altura media de 1,700 msnm. Limita al norte con el municipio Honduras de la Sierra, al noreste con el ejido Ángel Díaz, al sur con el municipio de Escuintla,

al este con la localidad Santo Domingo La Cascada y al oeste con el ejido Pablo Galeana. La temperatura media anual se sitúa en un intervalo de 12 a 24°C, tiene una precipitación pluvial de 1,500 a 4,000 mm anuales. El clima dominante es templado húmedo con abundantes lluvias en verano (INEGI, 2010).

Unidades de Muestreo (UM) e intensidad de muestreo

El universo de estudio comprende una superficie de 7.5 ha. Dentro de esta superficie se establecieron 15 unidades de muestreo (UM) cuadrangulares de 20 x 20 m (0.04 ha), que corresponden al 8% de la superficie total (0.6 ha). Se procuró que, en cada UM, el cafetal presentara un rango de edad maduro (de 10 a 15 años). En las 15 UM se aplicó un muestreo por conglomerados, agrupando cinco conglomerados (cada conglomerado representa a la parcela de un productor diferente). En cada conglomerado se establecieron tres UM distribuidas al azar (conglomerado 1: UM1, UM2, UM3; conglomerado 2: UM4, UM5, UM6; conglomerado 3: UM7, UM8, UM9; conglomerado 4: UM10, UM11, UM12; conglomerado 5: UM13, UM14, UM15) (Figura 1). Cada UM de 400 m² se delimitó empleando una cinta métrica marca Truper de 50 m. Las 15 UM se caracterizaron de forma general (localización geográfica con GPS, pendiente (%), exposición y altitud).

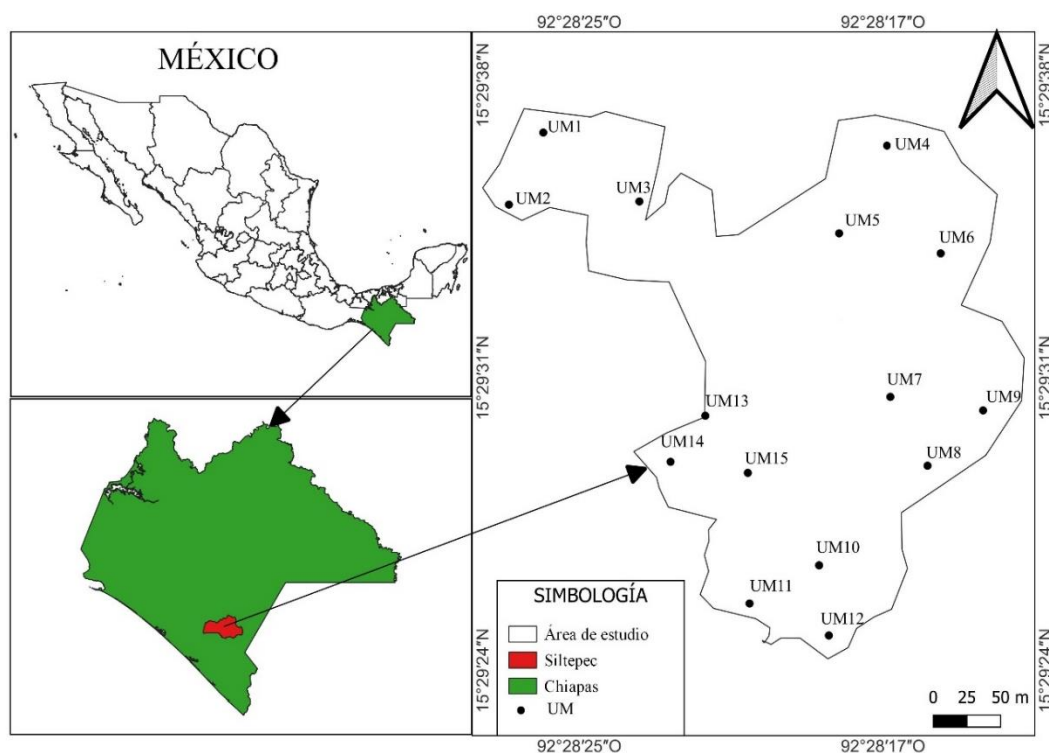


Figura 1. Área de estudio y distribución de unidades de muestreo.

Clasificación y especies arbóreas asociadas

De acuerdo con el inventario de arbolado realizado en cada conglomerado, se definieron las especies forestales en asocio encontradas. Se determinó el número de árboles, su condición, uso e identificación por nombre común (con ayuda de la población local) y el nombre científico con la ayuda de fichas y manuales de identificación de especies (López, 2005; Maldonado-Mares, 2016). Se enlistaron los árboles haciendo una clasificación de acuerdo con las siguientes categorías definidas de acuerdo al uso de los productores: i) árboles maderables, ii) árboles frutales, iii) árboles para leña y carbón, iv) árboles medicinales y v) árboles con otros usos. Para estas categorías, se obtuvo un porcentaje del total de árboles inventariados en las 15 unidades de muestreo y se determinó el porcentaje de árboles que corresponde a cada una de las cinco categorías de uso.

Parámetros estructurales

Estructura horizontal. La estructura horizontal se representó a través del diámetro normal (DN) que se midió en todos los árboles de cada UM utilizando una cinta diamétrica marca Richter® de 5 m. El criterio para medir esta variable es la medición a 1.3 m del suelo considerando que el diámetro mínimo fuera ≥ 2.5 cm. Para describir las características estructurales del arbolado se definieron seis categorías diamétricas para el DN con 7.5 cm de amplitud. Estas clases o categorías fueron las siguientes: i) 2.5 a 10 cm, ii) 10.1 a 17.5 cm, iii) 17.51 a 25 cm, iv) 25.1 a 32.5 cm, v) 32.51 a 40 cm, 40.1 a 47.5 cm, 47.51 a 55 cm y >55 cm.

Estructura vertical. La estructura vertical representada por la altura total (H), se calculó con el uso de un hipsómetro Vertex III®. Se definieron seis clases de altura con una amplitud de 5 m. El límite inferior de la clase correspondió a 2 m (altura mínima) y el límite superior fue >27 m, estableciendo las siguientes clases: 2 a 7 m, 7.1 a 12 m, 12.1 a 17 m, 17.1 a 22 m, 22.1 a 27 m y >27 m.

Densidad de arbolado. Se realizó un inventario del arbolado adulto presente en el sistema agroforestal con café. La densidad (No. de árboles/ha⁻¹) se realizó utilizando la siguiente fórmula:

$$D = \frac{n_i}{N}$$

En donde:

D = Densidad de tallos por hectárea

n_i = Número de tallos

N = 0.04 ha (superficie de la parcela)

Área basal del arbolado. Para calcular el área basal de los árboles, se aplicó la fórmula $AB = \pi 4(DAP)^2$, en donde AB = área basal y $\pi = 3.1416$ (Ramos-Durón et al., 2004).

Frecuencia, densidad, dominancia relativa e índice de valor de importancia

Se aplicaron las fórmulas establecidas por Curtis y McIntosh (1951) y aplicadas por Zarco-Espinosa et al. (2010) para calcular:

a) *Frecuencia relativa* (F_{rel})

$$F_{rel} = \frac{\text{número de veces que ocurre una especie}}{\text{número total de ocurrencias de todas las especies}} \times 100$$

b) *Densidad relativa* (D_{rel})

$$D_{rel} = \frac{\text{número de árboles de una especie}}{\text{número total de individuos de todas las especies}} \times 100$$

c) *Dominancia relativa* (Do_{rel})

$$Do_{rel} = \frac{\text{área basal total de una especie}}{\text{área basal total de todas las especies}} \times 100$$

El índice de valor de importancia (IVI) es la sumatoria de la F_{rel} + D_{rel} + Do_{rel}, expresada en porcentaje (Curtis y McIntosh, 1951; Corella et al., 2001).

Asociación de especies por unidad de muestreo

Finalmente, se realizó una clasificación de las especies asociadas en cada UM, señalando las especies que llegan a asociarse y forman parte de cada ensamble arbóreo (número y Porcentaje del total de arbolado) inventariado en el área de estudio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Especies arbóreas encontradas

En la zona de estudio se encontraron 30 especies arbóreas que forman parte del ensamblaje asociado a los cafetales. Estas especies representan a 19 familias botánicas siendo las de mayor presencia: 1) Fabaceae (*Inga flexuosa*, *Inga laurina*, *Inga paterno*, *Diphyssa americana*, 2) Lauraceae (*Persea americana*, *Persea liebmanni*, *Nectandra cuspidata*), Rutaceae (*Citrus x sinensis*, *Citrus x limonia*, *Citrus x limon*) y 3) Anacardiaceae (*Mangifera indica*, *Spondias mombin* y *Astronium graveolens*). La tabla 1 detalla cada una de las especies encontradas con su respectivo descriptor taxonómico y el tipo de uso común que se le da a cada una de ellas, destacando dos especies no endémicas amenazadas (*Astronium graveolens* y *Chiranthodendron pentadactylon*) y una especie endémica sujeta a protección especial (*Cupressus* sp.), de acuerdo al listado de la NOM 059-SEMARNAT-2010.

Tabla 1. Listado de especies arbóreas asociadas al sistema agroforestal con café con su nombre regional, nombre científico, descriptor taxonómico, familia botánica, usos principales y categoría de riesgo según la NOM-059.

Nombre común	Nombre científico	Descriptor taxonómico	Familia botánica	Uso común	Categoría de riesgo
Chalum	<i>Inga flexuosa</i>	Schltl	Fabaceae	S, L, F	
Caspirol	<i>Inga laurina</i>	(Sw.) Willd	Fabaceae	S, L, F	
Paterna	<i>Inga paterno</i>	Harms.	Fabaceae	S, L, F	
Guachipilín	<i>Diphyssa americana</i>	(Mill.,) M. Sousa	Fabaceae	S, M, L, H	
Aguacate	<i>Persea americana</i>	Mill., 1768	Lauraceae	S, M, L, F, H, OU	
Tepemiste	<i>Nectandra cuspidata</i>	Nees & Mart.	Lauraceae	M, L	
Tepeaguacate	<i>Persea liebmannii</i>	Mez	Lauraceae	S, M, L	
Naranja	<i>Citrus x sinensis</i>	Osbeck	Rutaceae	F, H	
Limón	<i>Citrus x limonia</i>	Osbeck (pro sp)	Rutaceae	F	
mandarina					
limón	<i>Citrus x limon</i>	(L.) Burm F.	Rutaceae	F, H	
Mango	<i>Mangifera indica</i>	Linneo., 1753, Non Blume, 1827. Nec Wall, 1847.	Anacardiaceae	F, S, L, M	
Jobo	<i>Spondias mombin</i>	Linneo	Anacardiaceae	F, L	
Jocotillo	<i>Astronium graveolens</i>	Jacq.	Anacardiaceae	S, M, L, OU	A
Níspero	<i>Eriobotrya japonica</i>	(Thunm) Lindl, 1821	Rosaceae	F, L, S, H	
Capulín	<i>Prunus serotina</i>	Ehrh.	Rosaceae	F, M, L	
Primavera	<i>Tabebuia donell-smithii</i>	Rose 1892	Bignoniaceae	M	
Roble o matilisguate	<i>Tabebuia rosea</i>	(Bertol) Bertero ex A.D.C.	Bignoniaceae	M	
Suquinay	<i>Vernonia deppeana</i>	Less	Asteraceae	S, L, H, OU	
Sangre de drago	<i>Croton draco</i>	Schltl.	Euphorbiaceae	S, L, H, OU	
Guayaba	<i>Pisidium guajava</i>	Linneo	Myrtaceae	F, H, OU	
Pacaya	<i>Chamaedorea tepejilote</i>	Liebm	Arecaceae	F, OU	
Canaque	<i>Chiranthodendron pentadactylon</i>	Larreat	Malvaceae	H, S, OU	A
Guarumbo	<i>Cecropia peltata</i>	Linneo	Urticaceae	S, L, H, OU	
Guayabo volador	<i>Terminalia amazonia</i>	(J.F. Gmel.)	Combretaceae	M	
Cedrillo o palo cedrillo	<i>Alfaroa mexicana</i>	D.E. Stone, 1968	Juglandaceae	S, L, OU	
Zapote	<i>Pouteria sapota</i>	(Jacq.) H. E. Moore & Stearn 1967	Sapotaceae	F, L, OU	
Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	(Ruiz & Pav.) Oken 1841	Boraginaceae	M, H, OU	
Ciprés	<i>Cupressus</i> sp.	Linneo, 1753	Cupressaceae	M, L, H	Pr
Moquillo	<i>Saurauia yasicae</i>	Loes	Actinidiaceae	F, H	
Pomarrosa	<i>Syzygium jambos</i>	(L.) Alston	Magnoliopsidae	F, L	

Uso común: S= sombra, L= leña, M= maderable, F= frutal, H= herbolaria (medicinal o curativo), OU= Otros usos (artesanal, alimenticio); Categoría de riesgo: A= Amenazada, Pr= Sujetas a protección especial.

De acuerdo con el listado de especies arbóreas, el género *Inga* es el más abundante en cuanto a número de especies encontradas, siendo también las de mayor importancia para la sombra de los cafetales. Se ha reportado que en las raíces de estos árboles se producen nódulos en los que habitan bacterias fijadoras de nitrógeno que se asocian con hongos micorrizos (Arango, 2019). Además, estas especies contribuyen a los procesos de mineralización y nitrificación que se llevan a cabo en el reciclaje de nutrientes, uno de los elementos primordiales en el rendimiento del café en un SAF (Villarreyna et al., 2020).

Estructura vertical (altura del arbolado)

La altura del componente arbóreo del sistema agroforestal evaluado alcanzó un valor máximo de 27 m; los estratos inferior y superior se lograron diferenciar mostrando una gran variación en el número de individuos por hectárea, teniendo mayor cantidad de árboles para la clase 2 a 7 m (1743 ind ha^{-1} [78.73%]), seguido respectivamente de las clase 7.1 a 12 m (230 ind ha^{-1} [10.39%]), 12.1 a 17 m (174 ind ha^{-1} [7.86%]), 17.1 a 22 m (39 ind ha^{-1} [1.76%]) y 22.1 a 27 m de altura (25 ind ha^{-1} [1.13%]), mientras que la clase de árboles superiores a los 27 m solo cuenta con un promedio de 3 ind ha^{-1} (1.13%), tal como se muestra en la figura 2.

De esta manera, el estrato inferior se constituyó por clases de altura menores a 12 m (2 a 7 m y 7.1 a 12 m) la cual representa el 89.1 % del total de individuos. Esto es muy similar a lo reportado en otros estudios de México en altitudes superiores a los 1000 msnm, en los que el arbolado para sombra concentra más del 80% en árboles con alturas entre 2 a 12 m (Martínez et al.,

2007; Hernández et al., 2012; Román et al., 2016; Ruiz-García et al., 2022). La altura del arbolado por especie en cada conglomerado muestra los siguientes resultados:

Conglomerado 1. Las especies de mayor altura promedio en el primer conglomerado fueron: *Prunus serotina* con una altura media de 12 ± 4.7 m, *Mangifera indica* con alturas promedio de 11 ± 2.6 m y árboles de *Eriobotrya japonica* que alcanzan hasta 10 ± 3.1 m de altura. El estrato codominante con un rango de altura entre 6 y 8 m de altura promedio está dominado por árboles frutales de *Persea americana*, *Inga laurina*, *Inga flexuosa*, *Inga paterno* y *Syzygium jambos*, estos últimos también se utilizan para leña y carbón. Finalmente, el estrato inferior (de 2 hasta 5.5 m) está representado por árboles frutales, principalmente las especies *Citrus x limon*, *Citrus x limonia*, *Saurauia yasicae* y otras especies de menor presencia (Figura 2).

Conglomerado 2. Se encontraron algunos árboles maderables que presentan mayor altura promedio respecto al conglomerado 1, entre ellos: *Tabebuia rosea* con árboles de hasta 24 ± 5.7 m, árboles de *Tabebuia donell-smithii* con altura de 19 ± 4.8 m, *Terminalia amazonia* con altura de 18.5 ± 6.2 m y *Diphysa americana* que presentó árboles con altura de hasta 17.5 m. La codominancia del estrato vertical está representada por árboles frutales y para leña como: *Cecropia peltata*, *Chiranthodendron pentadactylon*, *Inga laurina*, *Inga paterno*, *Inga flexuosa* y *Eriobotrya japonica* con un rango de altura entre 7 y 15 m; por su parte, el estrato inferior (conformado por árboles de 2 a 5 m de altura) se conforma por árboles frutales de *Pisidium guajava*, *Citrus x limon* y otras especies (Figura 3).

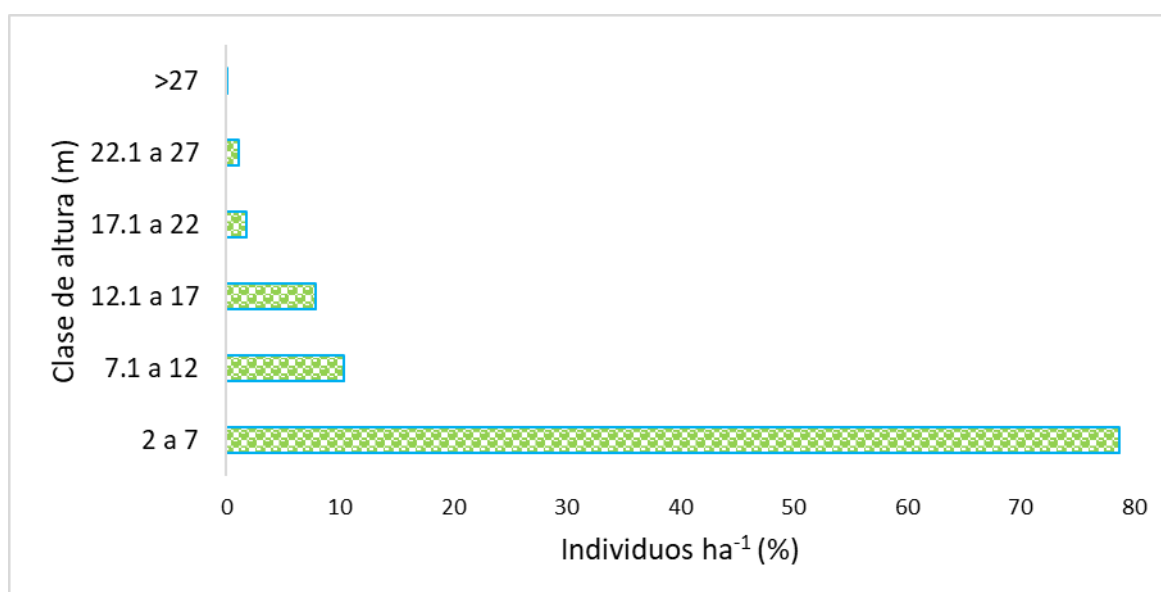


Figura 2. Número de árboles (ind. ha^{-1}) por cada clase diamétrica definida en el área de estudio.

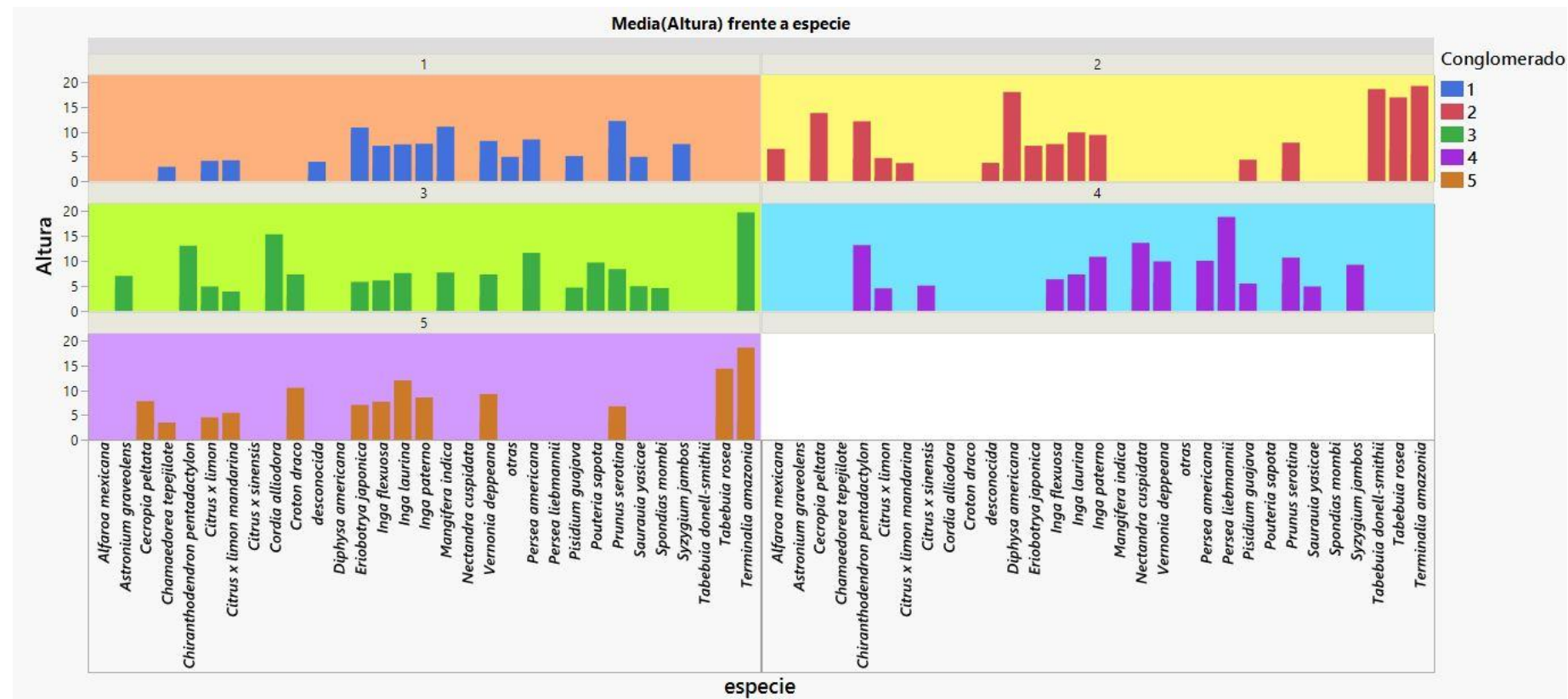


Figura 3. Relación de especies de árboles que representan los estratos de altura con mayor dominancia en los cinco conglomerados establecidos en el sistema agroforestal de café bajo sombra del ejido El lebrero.

Conglomerado 3. El estrato vertical dominante también presenta árboles maderables de gran tamaño como *Terminalia amazonia* con individuos de hasta 20 ± 4.2 m de altura media, seguido de *Cordia alliodora* con una altura de hasta 15.5 ± 2.9 m, árboles para leña y carbón como el *Chiranthodendron pentadactylon* con altura promedio de 13.5 ± 5.1 m y árboles frutales como *Persea americana* de 12 ± 6.2 m. El estrato de altura codominante está conformado principalmente por árboles maderables como *Prunus serotina*, para leña y carbón como *Inga laurina* e *Inga flexuosa* y árboles frutales como *Eriobotrya japonica* y *Astronium graveolens*, cuyo rango de altura es de 5 a 8 m. El rango de altura inferior corresponde a las especies de árboles frutales como *Pisidium guajava*, *Spondias mombin*, *Citrus x limon*, *Citrus x limonia* con un rango de altura de 2 a 5 m, tal y como se muestra en la figura 3.

Conglomerado 4. La altura dominante en este conglomerado muestra árboles maderables de gran altura como *Persea liebmanni* con alturas promedio de hasta 19 ± 4.1 m, árboles de altura media como *Nectandra cuspidata* con alturas de 14 ± 6.2 m y árboles para leña y carbón como *Chiranthodendron pentadactylon* de 13 ± 2.1 m de altura. El estrato medio (altura codominante) con un rango de 6 a 11 m está representado por árboles para leña y carbón como *Prunus serotina* y *Vernonia deppeana*, algunas leguminosas fijadoras de nitrógeno como *Inga paterno*, *Inga laurina* e *Inga flexuosa* y árboles frutales como *Syzygium jambos* (pomarrosa). El estrato inferior conformado por árboles con un rango de altura entre 2 a 5 m se encontraron árboles frutales como: *Pisidium guajava*, *Citrus x sinensis*, *Saurauia yasicae* y *Citrus x limon* (Figura 3).

Conglomerado 5. En este conglomerado, los árboles de mayor tamaño que constituyen el estrato vertical dominante fueron algunas especies de árboles maderables como *Terminalia amazonia* con altura de hasta 18 ± 5.5 m, *Tabebuia rosea* cuya altura media es de 15 ± 7.2 m y la especie leguminosa *Inga laurina* con altura de 12 ± 4.8 m. El estrato codominante, con rango de altura entre 6 a 8 m, se conformó principalmente por las especies leguminosas para leña y carbón: *Inga*

paterno, *Cecropia peltata*, *Inga flexuosa*, otros árboles como *Prunus serotina* y árboles frutales de *Eriobotrya japonica*. El estrato inferior con rango de altura de 2 a 5 m se conformó por árboles frutales de *Citrus x limon* (limón), principalmente, especies arbustivas como *Chamaedorea tepejilote* y otras más de importancia secundaria (Figura 4).

De esta manera, las especies con mayor frecuencia (dominancia) fueron *Prunus serotina* (capulín), *Inga laurina* (caspirol), *Inga flexuosa* (chalum) y *Citrus x limon* (limón) encontradas en los cinco conglomerados establecidos, mientras que las especies con mayor altura fueron *Terminalia amazonia* (guayabo volador) en los conglomerados 2, 3 y 5, *Tabebuia rosea* (matilisque) y *Nectandra cuspidata* (tepemiste) en el conglomerado 2 y *Persea liebmanni* (tepeaguacate) en el conglomerado 4. La estructura vertical que presentó los árboles de mayor tamaño en el ejido El Letrero correspondió a árboles maderables, muy similar a lo reportado por Sánchez-Hernández *et al.* (2017) en un SAF diversificado por sombra tradicional con alta densidad de árboles maderables, sin embargo, las especies maderables fueron muy distintas y con un doble propósito como proveer de sombra y madera.

Estructura horizontal (diámetro normal)

El diámetro normal (DN) del componente arbóreo del sistema agroforestal evaluado en el ejido El Letrero presentó mayor número de individuos para la clase diamétrica de 2.5 a 10 cm (532 árboles), de los cuales el conglomerado 4 cuenta con la mayor cantidad de árboles (Tabla 2), así como la clase diamétrica 10.1 a 17.5 (404 árboles). La clase diamétrica con menor número de individuos/ha fue la clase >55 cm de DN con un total de 75 ind/ha, de los cuales el mayor número de árboles (21) fueron encontrados en el conglomerado 5 (Tabla 2).

Los resultados obtenidos para el DN presentaron un alto porcentaje de individuos de las clases diamétricas menores, dicho porcentaje disminuyó de forma gradual a medida que la clase de DN era mayor, presentando un comportamiento tipo I de acuerdo a los establecido por Bongers *et al.* (1988).

Tabla 2. Número de árboles (ind ha⁻¹) por cada clase de diámetro normal encontrados en cada conglomerado establecido en la zona de estudio del ejido El Letrero.

Conglomerado	Categoría de DN (cm)							
	2.5 a 10	10.1 a 17.5	17.51 a 25	25.1 a 32.5	32.51 a 40	40.1 a 47.5	47.51 a 55	>55
	No. ind. ha ⁻¹							
1	106	79	62	53	47	37	13	10
2	112	88	68	46	33	42	17	15
3	93	65	49	38	39	21	25	17
4	124	93	76	53	69	46	18	12
5	97	79	61	57	36	28	13	21
Total	532	404	316	247	224	174	86	75

El DN del arbolado por especie en cada conglomerado muestra los siguientes resultados:

Conglomerado 1. La especie de mayor DN promedio en el primer conglomerado fue: *Tabebuia rosea* con un DN de 55 ± 8.5 cm. El estrato codominante con un rango de diámetro entre 25 y 40 cm está dominado por *Vernonia deppeana*, *Prunus serotina*, *Inga laurina*, *Citrus x limonia*, *Saurauia yasicae*, *Persea americana*, *Inga flexuosa*, *Syzygium jambos*, *Eriobotrya japonica* e *Inga paterno*. Finalmente, el estrato inferior (DN <25 cm) está representado por árboles frutales, principalmente las especies *Pisidium guajava* y *Chamaedorea tepejilote* (Figura 4).

Conglomerado 2. Se encontraron algunos árboles maderables que presentan un DN entre 40 y 55 cm. El árbol con mayor DN que corresponde a 55 ± 12 cm en este conglomerado es *Terminalia amazonia*. Las especies con un DN codominante fueron: *Tabebuia donell-smithii*, *Eriobotrya japonica*, *Tabebuia rosea*, *Diphysa americana* con un DN de 45 ± 6.2 cm e *Inga paterno* con 40 ± 8 cm de DN. El estrato medio con rango de 25 a 40 cm se conformó por *Citrus x limon*, *Alfaroa mexicana*, *Inga flexuosa*, *Inga laurina* y *Chiranthodendron pentadactylon*. Por su parte, el estrato inferior (conformado por árboles con DN <25 cm) está integrado principalmente por árboles frutales de *Citrus x limonia*, *Pisidium guajava* y *Prunus serotina* (Figura 4).

Conglomerado 3. El DN dominante también presenta árboles con diámetros de gran dimensión como *Eriobotrya japonica* con individuos de hasta 65 ± 8 cm de DN, seguido de *Terminalia amazonia* (55 ± 12 cm) y *Mangifera indica* (58 ± 16 cm). Especies como *Cordia alliodora*, *Inga laurina*, *Persea americana* y *Chiranthodendron pentadactylon* forman parte de este estrato dominante al tener DN por arriba de los 40 cm. El estrato medio de DN está conformado principalmente por árboles con DN de 25 a 40 cm. En esta categoría encontramos a las especies *Astronium graveolens*, *Prunus serotina*, *Inga flexuosa*, *Citrus x limon*, *Citrus x limonia*, *Saurauia yasicae*, *Croton draco* y *Vernonia deppeana*. El rango de DN inferior corresponde a las especies de árboles con DN <25 cm, encontrándose en esta categoría diamétrica árboles frutales como *Pisidium guajava* (Figura 4).

Conglomerado 4. El DN dominante en este conglomerado muestra árboles maderables de gran diámetro de hasta 55 cm como *Persea liebmanni*. Otras especies por arriba de los 40 cm de DN encontradas en este conglomerado fueron *Persea americana*, *Chiranthodendron pentadactylon* e *Inga paterno*. El estrato medio con DN entre 25 y 40 cm está representado por árboles de *Prunus serotina*, *Inga laurina*, *Inga flexuosa*, *Saurauia yasicae*, *Syzygium jambos*, *Vernonia deppeana* y árboles de *Nectandra*

cuspidata. El estrato inferior conformado por árboles con un DN <25 cm está compuesto principalmente por frutales de *Citrus x limon* y *Citrus x sinensis* (Figura 4).

Conglomerado 5. En este conglomerado, los árboles de mayor DN que constituyen el estrato horizontal dominante fueron algunas especies de árboles maderables de guayabo volador y frutales como *Eriobotrya japonica* con diámetros de 55 ± 13 cm, seguidos de árboles de *Inga laurina* y *Cecropia peltata* con DN de 42 ± 8.5 cm. El estrato codominante, con rango de DN 25 a 40 cm, se conformó principalmente por la especie frutal *Citrus x limonia*, *Cecropia peltata*, árboles maderables como *Tabebuia rosea* y árboles para leña y carbón como *Croton draco* y *Vernonia deppeana*. El estrato inferior con DN <25 cm se conformó por árboles *Prunus serotina*, *Citrus x limon* y *Chamaedorea tepejilote*, principalmente (Figura 4).

De esta manera, las especies con mayor frecuencia (dominancia) fueron *Cecropia peltata* (guarumbo), *Diphysa americana* (guachipilín), *Pisidium guajava* (guayaba) y *Saurauia yasicae* (moquillo), encontradas en los cinco conglomerados establecidos mientras que las especies con mayor DN fueron *Mangifera indica* (mango) encontrada en los conglomerados 1 y 3, *Terminalia amazonia* (guayabo volador) dentro de los conglomerados 2, 3 y 5 y *Eriobotrya japonica* (níspero) en los conglomerados 3 y 5 (Figura 4).

Densidad, área basal y parámetros estructurales (frecuencias, densidades y dominancias) de las especies arbóreas.

De acuerdo con la evaluación de los parámetros estructurales del arbolado asociado al sistema agroforestal con café, los resultados obtenidos muestran una densidad media de $1155 \text{ ind. ha}^{-1}$, siendo *Inga flexuosa* la especie arbórea de mayor presencia (510 ind. ha^{-1}). La densidad de árboles en el presente estudio es mayor a la reportada por Villavicencio-Enríquez (2013) que reportó un promedio aproximado de $1000 \text{ ind. ha}^{-1}$ y García-Mayoral et al. (2015) con 917 ind. ha^{-1} en Veracruz, México, en SAF de café bajo sombra de características muy similares a las encontradas en la presente investigación, no obstante, el número de especies es menor la de los estudios citados. El área basal obtenido corresponde a $119.5 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, el cual es mayor al reportado en diversos estudios (Martínez et al., 2007; García-Mayoral et al. 2015; Reyes-Reyes et al., 2022), pero resulta menor si se compara con el área basal calculado por Soto-Pinto et al. (2000) en la zona tzeltal norte del estado de Chiapas, México ($171.3 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$). Es importante enfatizar que *Inga laurina* (caspirol) es la especie que representa mayor distribución espacial con respecto al área basal total con $54.02 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ (Tabla 3).

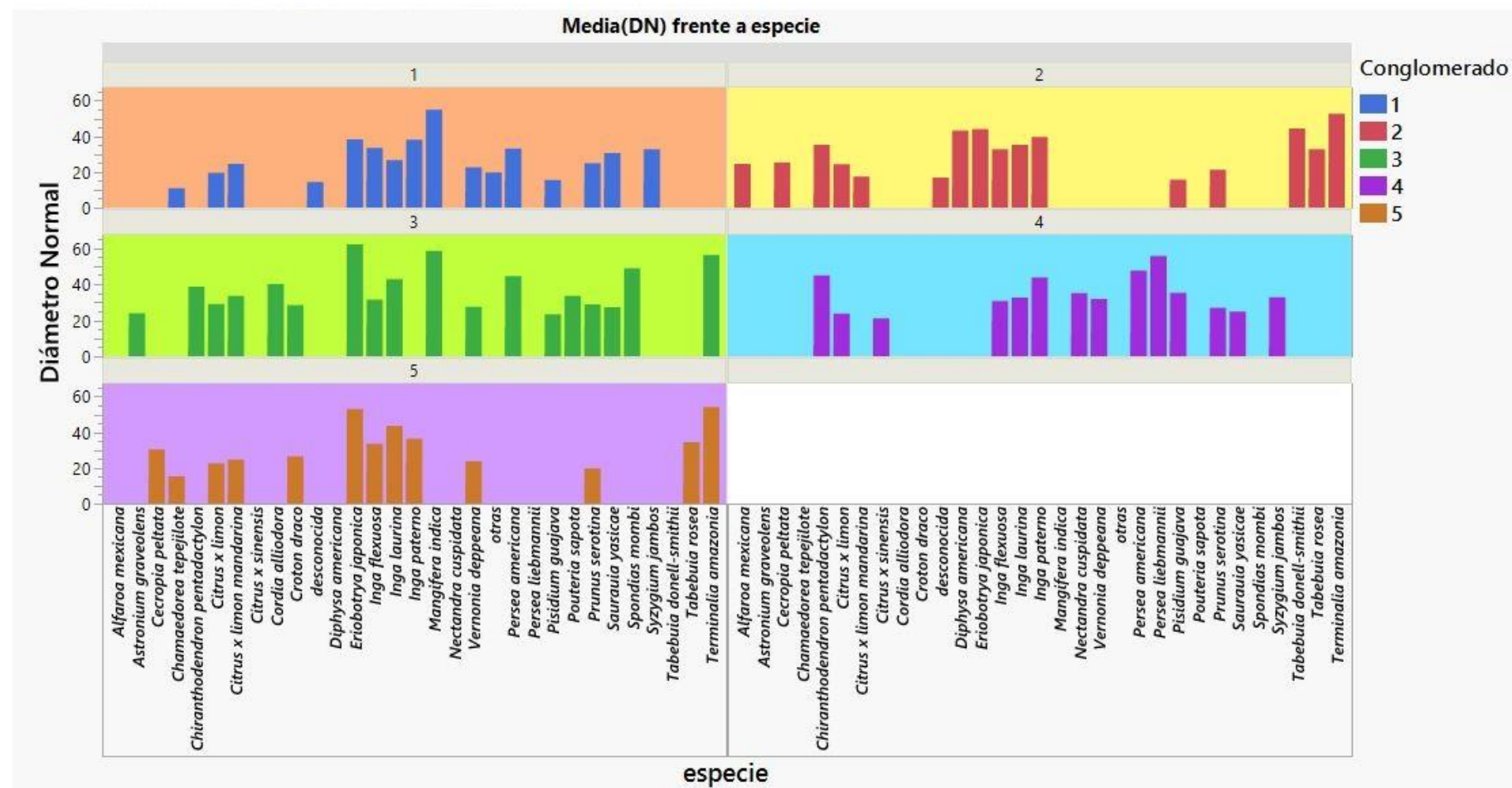


Figura 4. Relación de especies de árboles que representan los estratos de diámetro normal (DN) con mayor dominancia en los cinco conglomerados establecidos en el sistema agroforestal de café bajo sombra del ejido El lebrero.

Tabla 3. Parámetros estructurales de las especies arbóreas del sistema agroforestal con café en el ejido El lebrero, Siltepec, Chiapas.

No.	Especie	D (ind.ha ⁻¹)	AB (m ² .ha ⁻¹)	F _{Absol.}	D _{rel.}	Do _{rel.}	F _{rel.}	IVI
1	<i>Inga flexuosa</i> Schltdl	510	0.99	100.00	44.16	0.83	15.15	60.13
2	<i>Inga laurina</i> caspirol	83	54.02	13.33	0.72	45.21	2.02	47.95
3	<i>Inga paterno</i>	38	12.15	30.35	7.22	10.16	9.09	26.46
4	<i>Prunus serotina</i>	88	5.88	46.67	7.65	4.92	7.07	19.64
5	<i>Eriobotrya japonica</i>	32	5.31	33.33	2.74	4.45	5.05	12.24
6	<i>Vernonia deppeana</i>	62	0.76	40.00	5.34	0.63	6.06	12.03
7	<i>Persea americana</i>	37	5.61	26.67	3.17	4.69	4.04	11.91
8	<i>Citrus x limon</i>	37	1.60	40.00	3.17	1.34	6.06	10.57
9	<i>Syzygium jambos</i>	8	1.80	33.33	3.32	1.51	5.05	9.88
10	<i>Tabebuia rosea</i>	17	6.74	13.33	1.44	5.64	2.02	9.10
11	<i>Pisidium guajava</i>	30	0.30	26.67	2.60	0.25	4.04	6.89
12	<i>Cecropia peltata</i>	12	4.55	13.33	1.01	3.81	2.02	6.84
13	<i>Citrus x limonia</i>	20	0.97	26.67	1.73	0.81	4.04	6.58
14	<i>Croton draco</i>	27	0.88	20.00	2.31	0.73	3.03	6.07
15	<i>Chiranthodendron pentadactylon</i>	15	1.82	20.00	1.30	1.52	3.03	5.85
16	<i>Chamaedorea tepejilote</i>	17	2.36	13.33	1.44	1.97	2.02	5.44
17	<i>Terminalia amazonia</i>	18	0.67	20.00	1.59	0.56	3.03	5.18
18	<i>Saurauia yasicae</i>	15	0.10	20.00	1.30	0.09	3.03	4.42
19	<i>Tabebuia donell-smithii</i>	13	1.22	13.33	1.15	1.02	2.02	4.20
20	<i>Cordia alliodora</i>	5	2.57	6.67	0.43	2.15	1.01	3.59
21	<i>Mangifera indica</i>	10	0.44	13.33	0.87	0.36	2.02	3.25
22	<i>Spondias mombin</i>	5	1.69	6.67	0.43	1.41	1.01	2.86
23	<i>Diphysa americana</i>	8	1.18	6.67	0.72	0.99	1.01	2.72
24	<i>Nectandra cuspidata</i>	8	0.88	6.67	0.72	0.73	1.01	2.47
25	<i>Persea liebmannii</i>	5	1.22	6.67	0.43	1.02	1.01	2.46
26	<i>Pouteria sapota</i>	8	0.76	6.67	0.72	0.63	1.01	2.37
27	<i>Astronium graveolens</i>	5	1.04	6.67	0.43	0.87	1.01	2.31
28	<i>Alfaroa mexicana</i>	7	0.85	6.67	0.58	0.71	1.01	2.30
29	<i>Citrus x sinensis</i>	12	0.24	6.67	1.01	0.20	1.01	2.22
30	<i>Cupressus sp.</i>	3	0.93	6.67	0.29	0.78	1.01	2.07
		1155	119.50		100	100	100	300

D= densidad, AB = área basal, F_{Absol.}= frecuencia absoluta, D_{rel.}= densidad relativa, Do_{rel.}= dominancia relativa, F_{rel.}= frecuencia relativa, IVI= índice de valor de importancia.

El IVI denota una combinación de densidades, frecuencias y dominancias relativas que dan lugar a un parámetro que demuestra la jerarquía de una especie con respecto a las demás dentro del área de estudio. La especie con mayor IVI fue *Inga flexuosa* (chalum) con 60.13%, sin embargo, se tienen otras especies de alta importancia dentro de este sistema agroforestal como *Inga laurina* (caspirol) con un IVI de 47.95%, *Inga paterno* (paterna o vainillo) con un IVI de 26.46% y *Prunus serotina* (capulín) con un IVI de 19.64%. La tabla 3 muestra todos los

parámetros estructurales por cada especie asociada al sistema agroforestal con café de la zona estudiada. De esta manera, los parámetros como la densidad y área basal del ensamble arbóreo evaluado resultaron mayores a los obtenidos en algunas zonas cafetaleras de Chiapas (Peeters *et al.*, 2003; Reyes-Reyes *et al.*, 2022) y Veracruz (Basañez *et al.*, 2008; García-Mayoral *et al.*, 2015) como los dos estados mexicanos con mayor producción de café basada en SAF.

Tabla 4. Asociaciones de especies arbóreas en el sistema agroforestal de café bajo sombra en el ejido El Letrero.

UM.	No. de especies	Especies asociadas	% del total de árboles
1	6	Chalum-capulín-níspero-moquillo-paterna-limón	85%
2	7	Chalum-suquinay-aguacate-pacaya-paterna-limón-limón mandarina-pomarrosa	95%
3	5	Chalum-suquinay-caspirol-mango-guayaba	72%
4	9	chalum-primavera-canaque-caspirol-guayaba-níspero-limón mandarina-guarumbo-guachipilín	68%
5	5	Caspirol-chalum-matilisguate-limón-primavera	85%
6	4	Chalum-capulín-cedrillo-paterna-guayabo volador	72%
7	9	Chalum-canaque-aguacate-zapote-laurel-ciprés-jocotillo-moquillo-limón	60%
8	6	Chalum-capulín-guayabo volador-suquinay-mango-limón mandarina	74%
9	4	Chalum-capulín-sangre de drago-caspirol-guayaba-níspero-jobo-	90%
10	5	Chalum-caspirol-capulín-aguacate-tepe miste-moquillo	75%
11	4	Capulín-chalum-naranja-tepeaguacate-limón	65%
12	8	Suquinay-capulín-chalum-guayaba-paterna-aguacate-canaque-pomarrosa	95%
13	10	Chalum-suquinay-capulín-sangre de drago-níspero-caspirol-guayabo volador-paterna-guarumbo-pacaya	70%
14	4	Suquinay-chalum-sangre de drago-limón mandarina	55%
15	5	Chalum-caspirol-matilisguate-níspero-limón	78%

Asociación de especies arbóreas

En la tabla 4 se presenta la combinación de especies identificadas en campo a nivel conglomerado, el cual indica cómo en algunas zonas del sistema agroforestal evaluado existen diferentes asociaciones de especies. Estas combinaciones de especies atribuyen a la UM 13 el valor máximo de ensamble de especies asociadas con un total de 10, mientras que el mínimo de asociaciones corresponde a las UM 6, 9, 11 y 14 con cuatros especies arbóreas asociadas.

El ensamble de especies forestales asociadas a los cafetales muestra una alta diversidad estructural y biológica, la cual, como lo señala Pinard *et al.* (2014) permite mayor complejidad, riqueza y diversificación productiva en los agrobosques. Es importante destacar que las especies arbóreas del sistema de café bajo sombra en las 15 UM del presente estudio muestran alta frecuencia de la familia Fabaceae y particularmente las del género *Inga* spp., siendo *Inga flexuosa* la especie que de mayor presencia en todos los sitios evaluados. Diversos estudios demuestran que la familia Fabaceae y, en especial, el género *Inga* es característico de la mayoría de las zonas cafetaleras de México (Bandeira *et al.*, 2005; López-Gómez *et al.* 2008; Gómez-Martínez *et al.*, 2018), mientras que en otros estudios como el de Reta (2016) se reporta a la familia fabaceae como la de mayor importancia en un sistema agroforestal en Etiopía. Esto es importante debido a que las especies del género *Inga* spp son eficaces para limitar la erosión

del suelo y mejorar su fertilidad (Blanco y Aguilar, 2015).

CONCLUSIONES

El sistema agroforestal evaluado en el ejido El Letrero del municipio de Siltepec, Chiapas presentó una alta densidad arbórea, siendo la familia fabaceae y particularmente el género *Inga* el de mayor importancia en el área estudiada, lo cual permite grandes beneficios potenciales como el aporte de Nitrógeno, reciclaje de nutrientes, fertilidad de suelos y disminución de erosión. El ensamble arbóreo evaluado tiene una alta diversidad de especies forestales multipropósito (madera, leña y carbón, frutales y medicinales) constituyendo con ello sistemas diversificados con un valor adicional que aporta alternativas de producción a los cafeticultores del municipio de Siltepec y los municipios cafetaleros del sur de Chiapas que desarrollan el sistema tradicional de café bajo sombra. Finalmente, los valores obtenidos en los parámetros estructurales como la altura del arbolado y las clases diamétricas denotan una alta presencia de regeneración natural de las especies presentes en el área de estudio.

Agradecimientos

A la directiva ejidal del ejido El Letrero, Siltepec, Chiapas por las facilidades otorgadas y el acompañamiento en la realización de este trabajo de investigación. También nuestro reconocimiento a la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma de Chiapas por apoyar con gastos de

transporte y materiales utilizados y respaldar el estudio realizado.

Funding. This research was carried out with funds from the Faculty of Agricultural Sciences of the Autonomous University of Chiapas.

Declaration of conflict of interest. The authors declare that they have no conflict of interest in carrying out this research.

Compliance with ethical standards. Does not apply.

Data availability. The authors confirm that all data supporting the findings are available in their entirety and without restriction upon reasonable request to the corresponding author, Romeo de Jesús Barrios Calderón (romeo.barrios@unach.mx). All relevant data needed to replicate this study are described in the paper.

Author contribution statement (CRediT). **R.J. Barrios-Calderón:** Conceptualization, methodology, Investigation, data curation, formal analysis, manuscript writing; **H. Osorio-Espinoza:** data curation, formal analysis, writing – original draft; **E. A. Gordillo-Díaz:** Conceptualization, writing-review and editing; **A. I. Brindis-Santos:** methodology, formal analysis, writing - review and editing.

REFERENCIAS

- Arango, P. C. Z., 2019. Composición y estructura del dosel de sombra en sistemas agroforestales con café de tres municipios de Cundinamarca, Colombia. *Ciência Florestal*, 29(2), pp. 685–697. <https://doi.org/10.5902/1980509827037>
- Bagyaraj, D.J., Thilagar, G., Ravisha, C., Hushalappa, C. G., Krishnamurthy, K. N. and Vaast, P., 2015. Below ground microbial diversity as influenced by coffee agroforestry systems in the Western Ghats, India. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 202, pp. 198–202. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2015.01.015>
- Bandeira, F.P., Martorell, C., Meave, J.A. and Caballero, J., 2005. The role of rustic coffee plantations in the conservation of wild tree diversity in the Chinantec region of Mexico. *Biodiversity and Conservation*, 14(5), pp. 1225–1240. <https://doi.org/10.1007/s10531-004-7843-2>
- Basáñez, A.J., Alanís, J.L. and Badillo, E., 2008. Composición florística y estructura arbórea de la selva mediana subperennifolia del ejido “El Remolino”, Papantla Veracruz. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 12(2), pp.3–21.
- Bongers, F., Popma, J., del Castillo, J.M. and Carabias, J., 1988. Structure and floristic composition of the lowland rain forest of Los Tuxtlas, Mexico. *Vegetatio*, 74, pp. 55–80. <https://doi.org/10.1007/BF00045614>
- Blanco, R. and Aguilar., 2015. Soil erosion and erosion thresholds in an agroforestry system of coffee (*Coffea arabica*) and mixed shade trees (*Inga* spp and *Musa* spp) in Northern Nicaragua. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 210, pp. 25–35. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2015.04.032>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO]. 2009. Plan Municipal de Desarrollo Sustentable de Siltepec, Chiapas. Corredor Biológico Mesoamericano México. Serie Acciones/Número 3. México, D.F. 152 p. https://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/versiones_digitales/A3%20Siltepec.pdf
- Corella, F., Valdez, J. I., Cetina, V.M., González, F. V., Trinidad, S. and Aguirre, J. R., 2001. Estructura forestal de un bosque de mangles en el noreste del estado de Tabasco, México. *Ciencia Forestal en México*, 26(90), pp. 73–102. <http://cienciasforestales.inifap.gob.mx/index.php/forestales/article/view/914>
- Curtis, J.T. and McIntosh, R P., 1951. An upland forest continuum in the prairie-forest border region of Wisconsin. *Ecology*, 32, pp. 476–496. <https://doi.org/10.2307/1931725>
- Duarte, E.M.G., Cardoso, I.M., Stijnen, T., Mendonça, M.A.F.C., Coelho, M.S., Cantarutti, R.B., Kuiper, T.W., Villani, E.M.A. and Mendonça, E.S., 2013. Decomposition and nutrient release in leaves of Atlantic Rainforest tree species used in agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, 87, pp. 835–847. <https://doi.org/10.1007/s10457-013-9600-6>

- Fierro-Cabrales, N., Contreras-Oliva, A., González-Ríos, O., Rosas-Mendoza, E. S. and Morales-Ramos, V., 2018. Caracterización química y nutrimental de la pulpa de café (*Coffea arabica* L.). *Revista Agroproductividad*, 11(4), 9-13. Recuperado a partir de <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/261>
- García-Mayoral, L.E., Valdez, J.I., Luna, M. and López, R., 2015. Estructura y diversidad arbórea en sistemas agroforestales de café en la Sierra de Atoyac, Veracruz. *Madera y Bosques*, 21(3), pp. 69-82. <https://doi.org/10.21829/myb.2015.213457>
- Gomes, L., de, C., Cardoso, I.M., Mendonça, Ede S., Fernandes, R.B.A., Lopes, V.S. and Oliveira, T.S., 2016. Trees modify the dynamics of soil CO₂ efflux in coffee agroforestry systems. *Agricultural and Forest Meteorology*, 224, pp. 30-39. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2016.05.001>
- Gómez-Martínez, M., Díaz-Padilla, G., Charbonnier, F., Sánchez-Viveros, G. and Cerdán-Cabrera, C., 2018. Ensamblajes arbóreos en sistemas agroforestales cafetaleros con diferente intensidad de manejo en Veracruz, México. *Revista De Ciencias Ambientales*, 52(2), pp. 16-37. <https://doi.org/10.15359/rca.52-2.2>
- Grote, R., Samson, R., Alonso, R., Amorim, J.H., Carinanos, P., Churkina, G., Fares, S., Thiec, D. Le, Niinemets, Ü., Mikkelsen, T.N., Paoletti, E., Tiwary, A. and Calfapietra, C., 2016. Functional traits of urban trees: air pollution mitigation potential. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 14(10), pp. 543-550. <https://doi.org/10.1002/fee.1426>
- Hernández, E., Campos, G., Enríquez, J.R., Rodríguez-Ortiz, G. and Velasco, V.A., 2012. Captura de carbono por *Inga Jinicuill* Schltdl. en un sistema agroforestal de café bajo sombra. *Revista Mexicana De Ciencias Forestales*, 3 (9), pp. 11-21. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v3i9.536>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2010). Cómpendio de información geográfica municipal 2010. [Inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/07/07080.pdf](http://inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/07/07080.pdf)
- Jayakumar, M., Rajavel, M., Surendran, U., Gopinath, G. and Ramamoorthy, K., 2017. Impact of climate variability on coffee yield in India-with a micro-level case study using long-term coffee yield data of humid tropical Kerala. *Climatic Change*, 145, pp. 335-349. <https://doi.org/10.1007/s10584-017-2101-2>
- Jha, S., Bacon, C.M., Philpott, S.M., Méndez, V.E., Läderach, P. and 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, R. (2005). Manual de identificación de especies forestales en Bosques Naturales con manejo certificable por comunidades. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.12324/18551>.
- López-Báez, W., Reynoso-Santos, R., Camas, R. and Santos-Clemente, E. C., 2019. Caracterización de los suelos cultivados con café en la Sierra Madre de Chiapas, México. *Agro Productividad*, 12(1). <https://doi.org/10.32854/agrop.v0i1.1338>
- López-Gómez, A.M., Williams-Linera, G. and Manson, R. H., 2008. Tree species diversity and vegetation structure in shade coffee farms in Veracruz, Mexico. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 124(3-4), pp. 160-172. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2007.09.008>
- Maldonado-Mares, F. (2016). Manual de campo para la identificación de árboles, arbustos y palmas del Jardín Botánico Universitario "José Narciso Roviroa" y sus alrededores, en Villahermosa, Tabasco, México. Primera edición. -- Villahermosa, Tabasco: Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
- Martínez, M.A., Evangelista, V., Basurto, F., Mendoza, M. and Cruz-Rivas, A., 2007. Flora útil de los cafetales en la Sierra Norte de Puebla, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 78(1), pp. 15-40. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2007.001.457>
- Moguel, P. and Toledo, V.M., 2004. Conservar produciendo: biodiversidad, café orgánico y jardines productivos. *Biodiversitas*, 55, pp. 2-7. http://www.conabio.gob.mx/institucion/conabio_espanol/doctos/Biodiv55.pdf

- Mussatto, S.I., Machado, E.M.S., Martins, S. and Tixeira, J. A., 2011. Production, Composition, and Application of Coffee and Its Industrial Residues. *Food and Bioprocess Technology*, 4, pp. 661–672. <https://doi.org/10.1007/s11947-011-0565-z>
- NOM-059-SEMARNAT-2010. Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. https://dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5173091
- Peeters, L.Y.K., Soto-Pinto, L., Perales, H., Montoya, G. and Ishiki, M. 2003. Coffee production, timber, and firewood in traditional and Inga-shaded plantations in Southern Mexico. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 95(2), pp. 481-493. [https://doi.org/10.1016/s0167-8809\(02\)00204-9](https://doi.org/10.1016/s0167-8809(02)00204-9)
- Pinard, F., Joetjzer, E., Kindt, R. and Kehlenbeck, K., 2014. Are coffee agroforestry systems suitable for circa situm conservation of indigenous trees? A case study from Central Kenya. *Biodiversity and Conservation*, 23(2), pp. 467–495. <https://doi.org/10.1007/s10531-013-0615-0>
- Ramos-Durón F. J., Quiróz-Flores A. J., Ramírez-García P. A. and Lot-Helgueras A., 2004. Manual de hidrobotánica. Muestreo y análisis de la vegetación acuática. AGT. México D.F., México.
- Reta, R., 2016. Useful plant species diversity in homegardens and its contribution to household food security in Hawassa city, Ethiopia. *African Journal Plant Science*, 10 (10), pp. 211-233. <https://doi.org/10.5897/AJPS2016.1439>
- Reyes, J., Rodríguez-Morales, J. A., Pimienta, D. J., Fuentes, M. A., Marroquín, P., Merino, A. and Aguirre, J. F., (2022). Diversidad y estructura de los árboles de sombra asociados a *Coffea arabica* L. en el Soconusco, Chiapas. *Revista mexicana de Ciencias Forestales*, 13 (71), pp. 4-27. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v13i71.1191>
- Rezende, M.Q., Venzon, M., Perez, A.L., Cardoso, I.M. and Janssen, A., 2014. Extrafloral nectaries of associated trees can enhance natural pest control. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 188, 198–203. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.02.024>
- Robledo, O. M. 2012. Agroecología del café en el ejido Letrero municipio de Siltepec Chiapas. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. 72 p.
- Rodríguez, E. S., 2015. Comercio Justo del Sistema producto café orgánico de la organización el Buen Samaritano SC de RL de CV. en Siltepec, Chiapas. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 94 p.
- Romagosa-Monier, W., Machado-Caccases, G. and Carracedo, C., 2021. Acciones de mitigación al cambio climático en sistema agroforestales cafetaleros de Tercer Frente, Santiago de Cuba. *Ciencia en su PC*, 1(1), pp. 111-128.
- Román, M. L., Mora, A. and González, G. A., 2016. Sistemas agroforestales con especies de importancia maderable y no maderable en el tópico seco de México. *Avances de Investigación Agropecuaria*, 20(2), 53-72. <http://www.ucol.mx/revaia/porta/pdf/2016/mayo/5.pdf>
- Ruiz-García, P., Gómez-Díaz, J.D., Valdes-Velarde, E. and Monterroso-Rivas, A.I., 2020. Sistemas agroforestales de café como alternativa de producción sustentable para pequeños productores de México. *Ra Ximbai*, 16(4), pp. 137-158. <https://doi.org/10.35197/rx.16.04.2020.07.pr>
- Ruiz-García, P., Monterroso-Rivas, A. I., Valdés-Velarde, E., Escamilla-Prado, E. and Gómez-Díaz, J. D., 2022. Carbon stocks in coffee (*C. arabica* L.) agroforestry systems in the face of climate change: México case. *Agronomía Mesoamericana*, 33(3), 48671. <https://doi.org/10.15517/am.v33i3.48671>
- SAGARPA. 2014. Servicio de información agroalimentaria y pesca. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. México. En: <http://www.siap.gob.mx/>
- Sánchez, J.G.K., 2015. Participación campesina en el mercado global de café. Cafeticultores

- organizados en Chiapas. Nóesis. *Revista de Ciencias Sociales y Humanidades*, 24 (47–2), pp. 1–19. <https://doi.org/10.20983/noesis.2015.13.1>.
- Sánchez-Hernández S., Mendoza Briseño M. A., and García Hernández R.V. 2017. Diversificación de la sombra tradicional de cafetales en Veracruz mediante especies maderables. *Revista Mexicana De Ciencias Forestales*, 8(40), pp. 7–17. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v8i40.32>
- Siles, P., Harmand, J.M., Vaast, P., 2010. Effects of Inga densiflora on the microclimate of coffee (Coffea arabica L.) and overall biomass under optimal growing conditions in Costa Rica. *Agroforestry Systems*, 78, pp. 269–286. <http://dx.doi.org/10.1007/s10457-009-9241-y>
- Solis, R., Vallejos-Torres, G., Arévalo, L., Marín-Díaz, J., Ñique-Alvarez, M., Engedal, T. and Bruun, T., 2020. Carbon stocks and the use of shade trees in different coffee growing systems in the Peruvian Amazon. *Journal of Agricultural Science*, 158(6), pp. 450–460. <https://doi.org/10.1017/S002185962000074X>
- Soto-Pinto L., Perfecto I., Castillo-Hernández J. and Caballero- Nieto J., 2000. Shade effect on coffee production at the northern Tzeltal Zone of the state of Chiapas, Mexico. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 80, pp. 61–69. [https://doi.org/10.1016/s0167-8809\(00\)00134-1](https://doi.org/10.1016/s0167-8809(00)00134-1)
- Soto-Pinto, L., Villalvazo-López, V., Jiménez-Ferrer, G., Ramírez-Marcial, N., Montoya, G. and Sinclair, F. L. 2007. The role of local knowledge in determining shade composition of multistrata coffee systems in Chiapas, Mexico. *Biodiversity and Conservation*, 16 (2), pp. 419–36. <https://doi.org/10.1007/s10531-005-5436-3>.
- Souza, H.N de., de Goede, R.G.M., Brussaard, L., Cardoso, I.M., Duarte, E.M.G., Fernandes, R.B.A., Gomes, L.C. and Pulleman, M.M., 2012. Protective shade, tree diversity and soil properties in coffee agroforestry systems in the Atlantic Rainforest biome. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 146(1), pp. 179–196. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.11.007>
- Toledo, V. and Moguel, P., 2012. Coffee and Sustainability: The Multiple Values of Traditional Shaded Coffee. *Journal of Sustainable Agriculture*, 36, 3, pp. 353–377. <https://doi.org/10.1080/10440046.2011.583719>
- Villavicencio-Enríquez, L., 2013. Caracterización agroforestal en sistemas de café tradicional y rústico, en San Miguel, Veracruz, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 19, pp. 67–80. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.08.051>
- Villarreyna, R., Avelino, J. and Cerda, R., 2020. Ecosystem-based adaptation: effect of shade trees on ecosystem services in coffee plantations. *Agronomía Mesoamericana*, 31(2), pp. 499–516. <https://doi.org/10.15517/am.v31i2.3759>
- Wright, T.E., Kasel, S., Tausz, M., Bennett, L.T., 2010. Edge microclimate of temperate woodlands as affected by adjoining land use. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150, pp. 1138–1146. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2010.04.016>
- Zarco-Espinosa, V.M., Valdez-Hernández, J.I., Angeles-Pérez, G. and Castillo-Acosta, O., 2010. Structure and diversity of arboreal vegetation in the Parque Estatal Agua Blanca, Macuspana, Tabasco. *Universidad y Ciencia*, 26(1), pp. 1–17. <http://www.ujat.mx/publicaciones/uciencia>