



BIOPHYSICAL AND STRUCTURAL COMPOSITION CHARACTERIZATION IN AGROFORESTRY SYSTEMS OF ORGANIC COFFEE FROM VERACRUZ †

[CARACTERIZACIÓN BIOFÍSICA Y DE COMPOSICIÓN ESTRUCTURAL EN SISTEMAS AGROFORESTALES DE CAFÉ ORGÁNICO DE VERACRUZ]

Patricia Ruiz-García^{1*}, Jesús David Gómez-Díaz², Eduardo Valdes-Velarde³,
Juan Angel Tinoco-Rueda⁴, Marisol Flores-Ordoñez⁴
and Alejandro Ismael Monterroso-Rivas²

¹ Programa de Postgrado en Agricultura Multifuncional para el Desarrollo Sostenible. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo Km 38.5 carretera México-Texcoco, Chapingo, México C.P. 56230. Email.

patyru31@gmail.com

² Departamento de suelos. Universidad Autónoma Chapingo Km 38.5 carretera México-Texcoco, Chapingo, México C.P. 56230.

³ Centro de Agroforestería para el Desarrollo Sostenible. Universidad Autónoma Chapingo Km 38.5 carretera México-Texcoco, Chapingo, México C.P. 56230.

⁴ Centro Regional Universitario Oriente. Universidad Autónoma Chapingo Km. 6 carretera Huatusco-Jalapa, Huatusco, Veracruz C.P. 94100.

*Corresponding autor

SUMMARY

Background. The agroforestry systems of organic coffee from the community of Chocamán, Central Veracruz, Mexico, have been established for 29 years; they are small areas with complex terrain topography and scarce information on biophysical aspects, composition and tree structure. **Objective.** to characterize these systems to have local information, useful for decision making. **Methodology.** The biophysical environment characterization, classification of coffee plantations and description of agroforestry systems composition and structure was performed. **Results.** Five terrain forms were defined as: slightly undulating valley, moderately sloping slope, sloping slope, moderately steep slope and steep slope. The main climate is semi-warm from the temperate group with long fresh summer. Coffee plots were classified as traditional and commercial polycultures. Two vertical strata (upper and lower) were distinguished, with a richness of 51 tree and shrub species. *Musa acuminata* Colla was the species with the highest “importance” value of the lower stratum in all the plots evaluated. In the upper stratum, stood out the species *Lippia myriocephala* Schltdl. & Cham., *Inga vera* Willd., *Inga spuria* H & B. Ex Willd., and *Acrocarpus fraxinifolius* Wight et Arn. **Implications.** This study contributes to decision-making by producers of the Catuái Amarillo S.S.S. **Conclusion.** Variables obtained can facilitate the selection of species that respond to specific characteristics of the site and the needs of the producer.

Key words: biophysical environment; coffee farms; floristic composition; topoforms; tree structure.

RESUMEN

Antecedentes. Los sistemas agroforestales de café orgánico de la comunidad de Chocamán, centro de Veracruz se establecieron desde hace 29 años; son áreas pequeñas, con relieve complejo y escasa información sobre aspectos biofísicos, de composición y estructura arbórea. **Objetivo.** Evaluar aspectos biofísicos y de composición estructural de dichos sistemas para tener información local que sea de utilidad en la toma de decisiones. **Metodología.** Consistió en obtener variables del medio biofísico, clasificar las parcelas cafetaleras y determinar la composición y estructura de los sistemas agroforestales. **Resultados.** Se encontraron cinco topoformas definidas como: valle ligeramente ondulado, ladera moderadamente inclinada, ladera inclinada, ladera moderadamente escarpada y ladera escarpada. El tipo de clima predominante es semicálido del grupo de los templados con verano fresco largo. Las parcelas cafetaleras se clasificaron en policultivo tradicional y comercial. Se distinguieron dos estratos verticales (superior e inferior), la riqueza fue de 51 especies arbóreas y arbustivas. *Musa acuminata* Colla fue la especie con mayor valor de importancia del estrato inferior en todas las parcelas evaluadas. En el estrato superior sobresalieron *Lippia myriocephala* Schltdl. & Cham, *Inga vera* Willd, *Inga spuria* H & B. Ex Willd y *Acrocarpus fraxinifolius* Wight et Arn. **Implicaciones.** El

† Submitted February 3, 2020 – Accepted March 25, 2020. This work is licensed under a CC-BY 4.0 International License.
ISSN: 1870-0462.

presente estudio contribuye con la toma de decisiones por parte de los productores de la cooperativa Catuái Amarillo S.S.S. **Conclusiones.** El detalle alcanzado en las variables ambientales estudiadas facilita la selección de especies que respondan tanto a las características del sitio, como a las necesidades del productor.

Palabras clave: composición florística; estructura arbórea; fincas cafetaleras; medio biofísico; topoformas.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de café orgánico es un modo de producción alternativo que contribuye a la conservación de la biodiversidad (Ruelas-Monjardín et al., 2014). Provee una gama de servicios ecosistémicos como captura de carbono, reciclaje de nutrientes, polinización, regulación climática, entre otros (De Beenhouwer et al., 2013; Jha et al., 2014; González y Serna, 2018). Además, tiene la capacidad de ser más resiliente ante el cambio climático (Gidey et al., 2019). De acuerdo con Escamilla y Díaz (2016) los pequeños productores que han podido tener ganancias económicas significativas son aquellos que se han organizado en cooperativas para generar cafés especializados, principalmente orgánicos de la especie *Coffea arabica* en sistemas agroforestales de café clasificados como policultivo tradicional y comercial (Moguel y Toledo, 1999).

A pesar de todos los beneficios que aportan los sistemas agroforestales de café, la promoción de la agricultura intensiva pone en peligro su permanencia (Machado y Ríos, 2016). Aunado a ello, diversas investigaciones han demostrado que los cultivos de café bajo sombra y a pleno sol sufrirán impactos negativos asociados al cambio climático (Läderach et al., 2017; Fain et al., 2018) lo que generará fuertes implicaciones ambientales y socioeconómicas, con afectaciones principalmente a los pequeños productores (Brigido et al., 2015).

Con base en lo expuesto, es indispensable incrementar el conocimiento a nivel local sobre las características agroforestales, que considere aspectos biofísicos, de composición y estructura en los cafetales del centro de Veracruz (García et al., 2016), ya que dicha información a escala local puede ayudar en la comprensión de la funcionalidad del sistema, para diseñar estrategias de conservación que sean más resilientes ante el cambio climático.

La mayoría de los cafetales en el centro de Veracruz utilizan sombra diversificada, con árboles nativos del bosque mesófilo de montaña y diversos frutales (Sánchez-Hernández et al., 2018). La comunidad de Chocamán, Veracruz es un ejemplo de lo anterior, en donde los pequeños productores se organizaron en una Sociedad de Solidaridad Social para producir café orgánico de alta calidad desde 1990. Su producto está certificado por organismos especializados, tales como la Certificadora Mexicana de Productos y Procesos Ecológicos (CERTIMEX), los Lineamientos para la

Operación Orgánica de las Actividades Agropecuarias (LOOAA) y Fairtrade-Comercio Justo. Una de las principales características de dicha organización es que han logrado obtener precios más altos que el promedio regional, ya que tiene un amplio mercado mundial y precios más altos en comparación con el café convencional (Rodríguez, 2014). Las fincas cafetaleras de esta organización son áreas pequeñas, con relieve complejo y escasa información sobre aspectos biofísicos, de composición y estructura arbórea. Esto impide saber en qué estado se encuentra el agroecosistema, lo que limita la toma de decisiones para su manejo, mejoramiento y conservación (Machado y Ríos, 2016); principalmente en la selección de especies utilizadas para sombra y en el mejoramiento y manejo de sus parcelas ante un clima cambiante. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue evaluar aspectos biofísicos y de composición estructural de dichos sistemas mediante sus características fisiográficas, climáticas, de composición y estructura arborea y arbustiva, que permita a la comunidad tener información específica que sea de utilidad para la toma de decisiones en el manejo de sus sistemas agroforestales de producción de café orgánico.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en 25 parcelas de café orgánico. Los terrenos pertenecen a pequeños productores organizados en la cooperativa Catuái Amarillo S.S.S., localizada en el municipio de Chocamán, Veracruz, sólo una finca cafetalera se encuentra ubicada en el municipio de Córdoba. La superficie de las fincas cafetaleras es variable, estando en un rango de 0.5 a 5 ha; en conjunto suman 50 ha de producción de café orgánico. Utilizan variedades de *Coffea arabica* L, como Typica, Bourbón, Geisha, Costa Rica, Colombia, Caturra, Garnica, Oro azteca, Catuái Amarillo y Rojo (Apéndice 1).

Caracterización del medio biofísico

Fisiografía. Se delimitaron topoformas de acuerdo con la metodología SOTER (Oldeman y van Engelen, 1993), que consiste en el análisis de la pendiente, la forma del terreno y la altitud, obtenidos del modelo digital de elevación a una resolución de 30 m del INEGI (2019). Para cada topoforma, se extrajo la información del tipo de suelo de la capa vectorial de Edafología Serie II, escala 1: 50 000 (INEGI, 2013) y del tipo de roca obtenida de la capa temática de Geología Serie I, escala 1:250 000 (INEGI, 2002).

Clima. Se crearon áreas de influencia climática (AIC) a través de la unión de la cartografía de temperatura y precipitación medias anuales generadas siguiendo la metodología de Gómez et al. (2008). Para estimar los valores de temperatura y precipitación se obtuvo información de 10 estaciones meteorológicas cercanas a la zona de estudio con datos completos de por lo menos 20 años, tomados del Servicio Meteorológico Nacional (SMN, 2019). Se estimó y asignó a cada AIC el tipo de clima dominante, con base en el sistema de clasificación de Köppen, modificado por García (2004).

Clasificación de las parcelas cafetaleras

Las parcelas cafetaleras se clasificaron conforme a lo establecido por Moguel y Toledo (1999) que considera la riqueza de especies, el nivel de manejo y la composición y estructura del sistema (Cuadro 1). Se midió la riqueza de árboles y arbustos, la cual se define como el número de especies que se encuentran en el sistema por unidad de área (Gaston, 1996). Para ello, se realizó un inventario florístico en cada parcela cafetalera. Se muestrearon unidades de 1000 m² considerando únicamente las especies arbóreas y arbustivas utilizadas como sombra en los cafetales. Para todas las especies se midió la altura (m), el diámetro normal (1.3 m sobre el suelo) para el caso de los árboles y el diámetro a 15 cm sobre el suelo para los arbustos (CONAFOR, 2011).

Se efectuaron 25 entrevistas semiestructuradas que representan al 100% de los propietarios de las fincas cafetaleras para conocer el nivel de manejo que realizan los productores en sus cafetales. Las preguntas se enfocaron principalmente a la realización de podas al cafeto y a los árboles de sombra, deshierbe manual o mecánico, número de fertilizaciones al año, control

fitosanitario y renuevo del cafetal. La composición y estructura arbórea y arbustiva de las parcelas cafetaleras se obtuvo como se describe en el siguiente apartado. Posteriormente, las parcelas clasificadas se ubicaron de acuerdo con las topoformas definidas en la zona de estudio.

Composición y estructura de las parcelas cafetaleras

A partir del inventario, se obtuvo la abundancia por hectárea de cada especie; se estimaron los valores relativos de dominancia (DR), densidad (DER) y frecuencia (FR) de las especies (Mueller-Dumbois y Ellenberg, 1974). Se obtuvo el valor de importancia relativa (VIR) de cada especie con la siguiente fórmula:

$$VIR = (DR + DER + FR)/3 \quad (1)$$

Donde: VIR = Valor de importancia relativa de la especie *i*

$$DR = \text{Dominancia Relativa} = \frac{(\text{Área basal de la especie } i)}{(\sum [\text{Área basal de todas las especies}])}$$

$$DER = \text{Densidad relativa} = \frac{(\text{Número de individuos de la especie } i)}{(\text{Número total de individuos de toda el área muestreada})}$$

$$FR = \text{Frecuencia relativa} = \frac{(\text{Número de parcelas en las que la especie } i \text{ está presente})}{(\text{Número total de parcelas})}$$

Cuadro 1. Clasificación de los diferentes sistemas cafetaleros en México.

Clasificación	Descripción
Policultivo rusticano	Se mantiene la vegetación arbórea y arbustiva nativa, solo se sustituye el estrato inferior por plantas de café. Riqueza de especies leñosas mayor a 15, altura promedio del dosel superior a 30 m. Manejo mínimo del cafetal. Alta complejidad en la composición y estructura arborea y arbustiva.
Policultivo tradicional	Árboles y arbustos de usos múltiples utilizados para sombra del café, pueden ser nativos o introducidos. Riqueza de especies leñosas mayor a 6, altura promedio del dosel superior a 15 m. Un mayor manejo en el sistema. Alta complejidad en la composición y estructura arborea y arbustiva.
Policultivo comercial	Árboles y arbustos de usos múltiples utilizados para sombra del café, pueden ser nativos o introducidos. Riqueza de especies leñosas > 2 pero < 6, altura promedio del dosel menor a 15 m. Alto manejo en el sistema. Media complejidad en la composición y estructura arborea y arbustiva.
Policultivo especializado	Árboles de usos múltiples utilizados para sombra del café, generalmente son introducidos. Riqueza de especies leñosas entre 1 y 2, altura promedio del dosel de 2 a 4 m. Alto manejo en el sistema. Baja complejidad en la composición y estructura arborea y arbustiva.
Policultivo a pleno sol	No presenta árboles ni arbustos para sombra. Alto manejo en el sistema.

Fuente: Adaptado de Moguel y Toledo (1999).

Con los datos obtenidos del valor de importancia relativa de cada especie y observaciones en campo sobre la fisonomía de la vegetación, se procedió a la representación de la estructura vertical y horizontal de los sistemas cafetaleros por medio de diagramas de perfil semirrealista (Richards et al., 1996). Los cuales, se elaboraron para cada topoforma encontrada en la zona.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización del medio biofísico

Fisiografía. Se encontraron cinco topoformas diferentes en las parcelas cafetaleras (Cuadro 2). La primera de ellas se denominó como valle ligeramente ondulado con pendientes entre 0 y 5%, la cual representa el 19.82% del total de la superficie de los cafetales evaluados; así mismo, se encontraron laderas moderadamente inclinadas (5 a 8% de pendiente), inclinadas (8 a 15% de pendiente), moderadamente escarpadas (15 a 30% de pendiente) y escarpadas (30 a 60% de pendiente) con un porcentaje del total de la superficie de los cafetales de 2.94%, 11.14%, 28.94% y 37.16% respectivamente (Figura 1).

Con los datos que se mencionaron anteriormente se tiene que el 66.10% de la superficie de los cafetales se localiza en laderas moderadamente escarpadas y escarpadas, lo que genera que el acceso sea complicado. Esto se debe a que la zona de estudio se encuentra a la orilla de la cordillera de la Sierra Madre Oriental, con un relieve complejo en laderas moderadamente escarpadas y escarpadas. Debido a que la pendiente tiene correlación positiva con la erosión del suelo, es recomendable mantener el suelo cubierto con los sistemas agroforestales de café para evitar procesos degradativos que pueden generar pérdida en la productividad del sistema (Durán et al., 2014; Miura et al., 2015).

El tipo de roca y suelo encontrados en cuatro de las cinco topoformas se clasifican de acuerdo con INEGI como Calizas y Luvisoles respectivamente (INEGI, 2002; INEGI, 2013). En el valle ligeramente ondulado la roca predominante es ígnea extrusiva básica con un tipo de suelo Acrisol (Cuadro 2 y Figura 1). El tipo de suelo encontrado en las parcelas cafetaleras se consideran como aptos a muy aptos para la producción de café bajo sombra, ya que la capa negra del suelo superficial es muy gruesa y fértil, tienen capacidad alta de retención de humedad, son muy productivos y requieren poco fertilizante (Licona-Vargas et al., 2006).

Clima. Se determinaron 14 áreas de influencia climática y se identificaron tres climas diferentes en las

parcelas cafetaleras evaluadas (Figura 2). La temperatura media anual en toda la zona fue de 18.8 °C, con temperaturas mínimas de 14.5 °C en el mes de enero y máximas de 22.8 °C en el mes de mayo. Cabe mencionar que de acuerdo con el Atlas de riesgo del municipio, las temperaturas mínimas pueden disminuir ocasionando un riesgo por heladas clasificado como moderado a muy ligero (SEDESOL, 2011). El rango anual de la precipitación oscila entre 1800 y 2000 mm. Los meses con menor precipitación van de diciembre a marzo, mientras que la mayor precipitación se presenta en verano, en los meses de junio a septiembre (Cuadro 3). Estos resultados son similares a los determinados por Bautista et al. (2018) en sistemas cafetaleros de la zona montañosa del municipio de Huatusco, Veracruz.

Los sistemas cafetaleros localizados en el valle ligeramente ondulado se caracterizan por tener los siguientes climas: semicálidos del grupo de los templados con verano fresco largo y régimen de lluvias intermedio (A)Cb(fm)(i')gw", semicálido del grupo de los templados con verano cálido y régimen de lluvias intermedio (A)Ca(fm)(i')gw", y semicálido húmedo del grupo de los cálidos con régimen de lluvias intermedio A(C)f(m)(i')gw". Los sistemas de producción localizados en laderas moderadamente inclinadas, inclinadas, moderadamente escarpadas y escarpadas presentan clima predominante (A)Cb(fm)(i')gw" (Cuadro 2). La descripción detallada de los tipos climáticos se muestra en el Apéndice 2.

Clasificación de las parcelas cafetaleras

En la zona de estudio sólo se encontraron los sistemas clasificados como policultivo tradicional y policultivo comercial; el 86% de la superficie estudiada corresponde al policultivo tradicional, mientras que el 14% corresponde al policultivo comercial. Se definió policultivo tradicional en cinco parcelas ubicadas en la ladera escarpada (13.24% del total de la superficie); nueve en la ladera moderadamente escarpada (28.5% del total de la superficie); una en la ladera inclinada (1.82 % del total de la superficie) y cinco en el valle ligeramente ondulado (23.68% del total de la superficie). No se registró este tipo de sistema en la ladera moderadamente inclinada. El policultivo tradicional se caracteriza por presentar una altura promedio del dosel superior a 20 metros; se pudieron distinguir dos estratos verticales (superior e inferior) y de siete a tres niveles en la copa de los árboles (Figura 3).

Las plantaciones de policultivo comercial se encontraron en tres parcelas cafetaleras del valle ligeramente ondulado (9.44 % del total de la superficie) y tres parcelas de la ladera moderadamente

escarpada (23.32% del total de la superficie). Presenta una altura promedio del dosel inferior a los 20 metros; también se distinguieron dos estratos verticales (superior e inferior) y se observaron tres niveles en la copa de los árboles (Figura 4). El uso del policultivo tradicional y comercial en el centro de Veracruz prevalece entre los pequeños productores ya que, al tener una diversidad de productos, se generan mayores ingresos económicos (Sánchez-Hernández et al., 2018).

Composición y estructura de las parcelas cafetaleras

Los dos sistemas agroforestales de café (policultivo tradicional y comercial) acumularon de manera conjunta una riqueza de 51 especies arbóreas y arbustivas. Las especies pertenecen a 24 familias y 43 géneros (Apéndice 3). La familia con mayor número de especies fue Fabaceae con una representatividad de

20 % del total. Estos resultados son similares a los registrados por García et al. (2016), quien encontró un total de 50 especies en policultivos tradicionales y comerciales de Atoyac, Veracruz. De igual forma, la familia Fabaceae fue la más representativa en la zona. Sánchez et al. (2017) encontraron un total de 38 especies con potencial maderable, tanto en el policultivo tradicional como en el comercial. Mientras que Zapata (2019) registró un total de 43 especies arbóreas y arbustivas asociadas al café, siendo la familia Fabaceae la más abundante. La presencia de taxones de la familia Fabaceae dentro de las parcelas de café orgánico bajo sombra genera beneficios al sistema, ya que, al presentar una alta tasa de evapotranspiración, crecimiento rápido y un mejor estado nutricional en comparación con especies de otras familias, se crea retroalimentación positiva del suelo a la planta (Nunes et al., 2019). Por lo que es de suma importancia mantener y considerar el uso de especies de esta familia como sombra para el café.

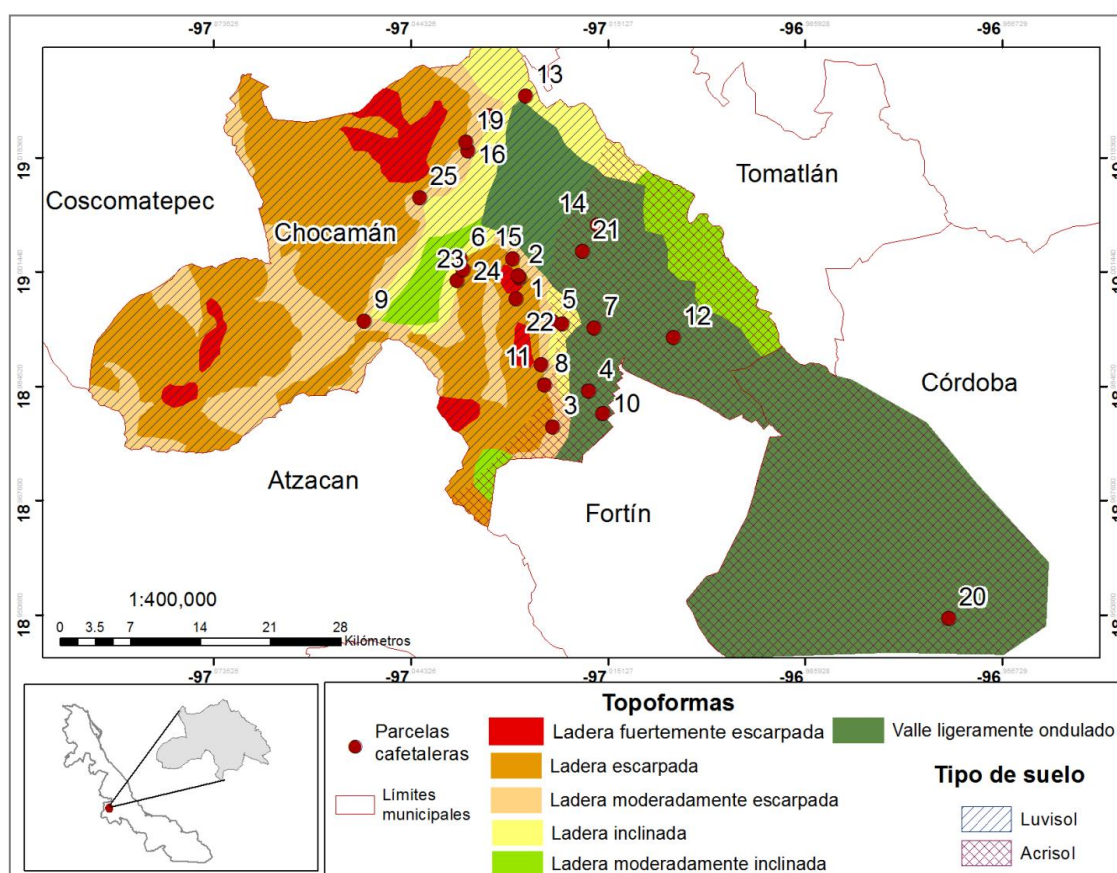


Figura 1. Distribución geográfica de las diferentes topografías obtenidas mediante la metodología SOTER (Oldeman y van Engelen, 1993) y tipo de suelo de acuerdo con INEGI (2013) en las parcelas cafetaleras de Chocamán, Veracruz.

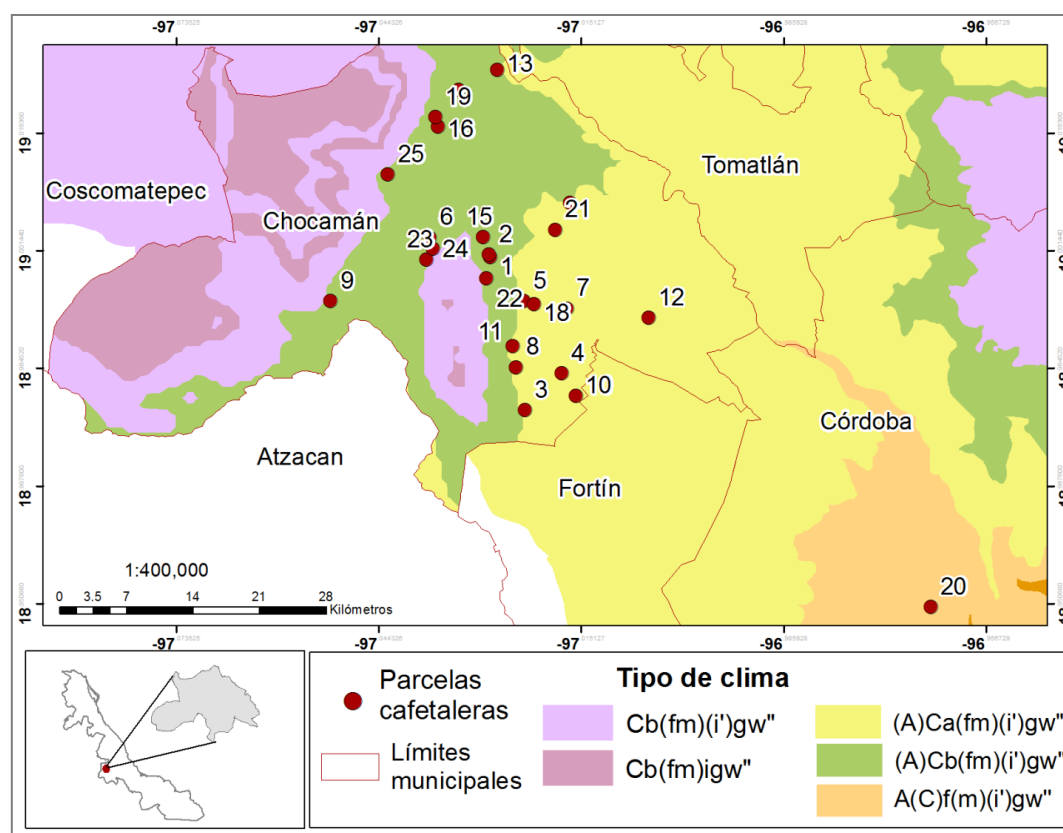
Cuadro 2. Variables del medio biofísico y toposformas encontradas en las parcelas de café orgánico bajo sombra en el municipio de Chocamán, Veracruz.

Pendiente %*	Altitud *(msnm)	Roca**	Suelo**	Temperatura media anual (C°)***	Precipitación media anual (mm)***	Tipo de clima****
Ladera escarpada						
30-60	1400-1467	Caliza	Luvisol	18.5	1800-2000	(A)Cb(fm)(i')gw"
			Acrisol	19.3		(A)Ca(fm)(i')gw"
Ladera moderadamente escarpada						
15-30	1330-1450	Caliza	Luvisol	18.5	1800-2000	(A)Cb(fm)(i')gw"
				20.1		(A)Ca(fm)(i')gw"
Ladera inclinada						
8-15	1325-1345	Caliza	Luvisol	18.5	1800-2000	(A)Cb(fm)(i')gw"
Ladera moderadamente inclinada						
5-8	1310-1325	Caliza	Luvisol	18.5	1800-2000	(A)Cb(fm)(i')gw"
Valle ligeramente ondulado						
0-5	1200-1266	Ígnea extrusiv a básica	Acrisol	18.5	1800-2000	(A)Cb(fm)(i')gw"
				19.3		(A)Ca(fm)(i')gw"
				20.1		(A)Ca(fm)(i')gw"
				21.5		A(C)f(m)(i')gw"

* Obtenido del modelo digital de elevación (INEGI, 2019); **Obtenido de la capa temática de Geología Serie I, escala 1:250 000 (INEGI, 2002) y de la capa vectorial de Edafología Serie II, escala 1: 50 000 (INEGI, 2013); ***Elaboración propia con base en la metodología de Gómez et al. (2008); **** Clasificación de Köppen, modificado por García (2004).

Cuadro 3. Distribución mensual de la precipitación (mm) en las parcelas cafetaleras del municipio de Chocamán, Veracruz.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ags	Sep	Oct	Nov	Dic	Rango de precipitación (mm)
53.4	53.4	53.4	93.4	133.4	333.4	316.7	266.7	325	166.7	75	56	1800-2000

**Figura 2. Tipo de clima de acuerdo con la clasificación de Köppen, modificado por García (2004) en las parcelas cafetaleras de Chocamán, Veracruz.**

En el policultivo tradicional se encontraron 49 especies arbóreas y arbustivas correspondientes a 41 géneros y 24 familias. *Musa acuminata* Colla (plátano morado) fue la especie con mayor valor de importancia en las cuatro topoformas que presentaron este sistema (Cuadro 4).

La especie *Musa acuminata* Colla forma parte del estrato inferior en el policultivo tradicional, con una altura promedio de 1 a 5 m. En el estrato superior, correspondiente a la ladera escarpada y ladera moderadamente escarpada, sobresale la presencia de *Lippia myriocephala* Schtdl. & Cham, *Inga vera* Willd y *Trema micrantha* (L.) Blume. En la ladera inclinada, *Acrocarpus fraxinifolius* Wight et Arn es la especie arbórea con mayor importancia, seguida de *Inga spuria* H & B. Ex Willd. Mientras que, en el valle ligeramente ondulado, *Inga vera* Willd y *Persea* spp. fueron las especies arbóreas más sobresalientes en este rubro (Figura 3).

El policultivo comercial solo está presente en la ladera moderadamente inclinada y en el valle ligeramente ondulado. Se registraron 22 especies arbóreas y arbustivas correspondientes a 22 géneros y 14 familias. *M. acuminata*, nuevamente fue la especie con mayor representatividad en el estrato inferior, tanto en el valle ligeramente ondulado, como en la ladera moderadamente escarpada (Cuadro 5).

El estrato superior en el policultivo comercial presentó una altura promedio del dosel de 15 m. En la ladera moderadamente escarpada, *I. vera*, *Juglans olanchana* Standl & L. O. Williams y *Platanus mexicana* Moric fueron las especies con mayor Valor de Importancia Relativa (VIR) (Cuadro 5). En el valle ligeramente ondulado, *I. spuria*, *A. fraxinifolius* y *Cordia alliodora* (Ruíz & Pav.) Oken fueron las especies con mayor representatividad en el estrato superior (Figura 4).

La estructura vertical encontrada en las diferentes topoformas del terreno, tanto en el policultivo tradicional como en el comercial, presentó alturas y edades distintas, lo que explica la presencia de varios estratos y mayor complejidad en el sistema (Ordóñez et al., 2019). Se detectó la presencia de frutales en el estrato medio; sin embargo, no tuvieron representatividad en los sistemas cafetaleros evaluados, debido a la baja abundancia de individuos por hectárea. La presencia de especies exóticas, definidas por el Convenio sobre la Diversidad Biológica como aquellas especies introducidas fuera de su distribución natural (CDB, 2002), localizadas en las parcelas con policultivo tradicional y comercial, tales como *M. acuminata*, *I. vera*, *I. spuria*, *L. myriocephala*, *A. fraxinifolius* y *T. micrantha*, coincide con lo registrado por Bautista et al. (2018) en sistemas

agroforestales de café de la región montañosa de Huatusco, Veracruz.

La existencia de *M. acuminata* en el estrato inferior en todos los cafetales evaluados, indica su plasticidad, expresada en la capacidad para adaptarse en cualquier tipo de forma del terreno, clima y suelo. Así mismo, representa una alternativa de producción que amortigua los problemas de los precios del café, ya que la hoja tierna de plátano llamada velillo tiene un mercado nacional e internacional, que se ha convertido en una de las actividades agrícolas permanentes más importantes de algunas comunidades cafetaleras del estado de Veracruz (Susan et al., 2017). Sin embargo, se recomienda que se cultive en bajas densidades (400 pl ha⁻¹) para evitar una extracción excesiva de nutrientes del suelo y el remplazo de los árboles de sombra dentro de los cafetales evaluados.

El establecimiento de especies del género *Inga* sp. (*I. vera* e *I. spuria*) en el estrato superior de las cuatro topoformas con policultivo tradicional y en las dos topoformas que tuvieron policultivo comercial, se debe a que fueron promovidas por el extinto Instituto Mexicano del Café (INMECAFE) (Sánchez et al., 2017). Estas especies, al pertenecer a la familia Fabaceae, tienen la cualidad de suministrar al suelo cantidades de materia orgánica altas en nitrógeno, con lo que se mejoran sus características físicas, químicas y biológicas (Nunes et al., 2019). Al igual que el plátano velillo, estas especies tienen la capacidad de desarrollarse adecuadamente en los diferentes climas, suelos y formas del terreno encontrados en esta investigación.

La presencia de *L. myriocephala* en las parcelas con el tipo de manejo de policultivo tradicional que se ubican en la ladera escarpada, moderadamente escarpada e inclinada, se debe principalmente a que esta especie es hospedera de las larvas de la especie de mariposa *Phasus triangularis* H.E., la cual es muy apreciada por los pobladores de la zona como alimento para auto consumo, debido al alto valor nutricional (Escamilla-Prado et al., 2012). Así mismo, puede desarrollarse adecuadamente bajo las condiciones biofísicas encontradas en la zona de estudio.

El taxón *A. fraxinifolius* es una especie preferida por los productores como sombra del café, tanto en el policultivo comercial como en el tradicional, debido a que es apreciada por su madera y no demerita la calidad física y sensorial del grano del café (Sánchez-Hernández et al., 2018). A pesar de que esta especie se encuentra en la mayoría de las parcelas con policultivo tradicional y comercial, tuvo un alto VIR (17.35%) en los terrenos con policultivo tradicional ubicadas en la ladera inclinada; esto se puede deber a que las

características biofísicas en esta topoforma favorecen a un mejor desarrollo de la especie.

T. micrantha sólo se registró en el policultivo tradicional de la ladera escarpada y ladera moderadamente escarpada, con un VIR de 6.3 y 5.8 respectivamente, a pesar de que tiene la capacidad de desarrollarse adecuadamente en cualquiera de las condiciones biofísicas encontradas en la zona de estudio. Esto se puede relacionar con que la especie no es muy apreciada por los productores, debido a que consideran que compete con el café por la humedad del suelo (Escamilla-Prado et al., 2012). Sin embargo, se tiene conocimiento de que esta especie produce una gran cantidad de materia orgánica que genera un aumento en el contenido de carbono orgánico en el suelo, y por ende una mejor calidad de éste; además tiene buena calidad de madera (Quintanar-Isaías et al., 2012). Por lo que el establecimiento de esta especie puede beneficiar a largo plazo los sistemas cafetaleros

del área de estudio, tanto en el aspecto ambiental como en el económico, de ahí la importancia de reconsiderar su uso en las parcelas cafetaleras estudiadas.

Las especies nativas del estrato superior, tales como *J. olanchana*, *P. mexicana* y *P. schiedeana* tuvieron un alto VIR, tanto en policultivo tradicional como comercial, ubicados en ladera moderadamente escarpada (Cuadro 4 y 5). Las dos primeras especies son apreciadas por la sombra que proporcionan al cafetal y por la calidad de la madera. Mientras que *P. schiedeana* se aprovecha para sombra, sin embargo, la principal cualidad de esta especie es la calidad del fruto, con características organolépticas adecuadas para su comercialización en mercados de mayor exigencia, debido a que es muy similar al aguacate Hass (Cruz-Castillo et al., 2007), lo que genera ingresos económicos adicionales a los pequeños productores de café del área de estudio.

Cuadro 4. Valores estructurales de la vegetación arbórea y arbustiva del policultivo tradicional en las diferentes topoformas del municipio de Chocamán, Veracruz.

Nombre común	Especie	Abundancia ha ⁻¹	Altura (m)	DR*	FR**	DER***	VIR****
Ladera escarpada							
Plátano	<i>Musa acuminata</i> Colla	2240	1 ± 5	24.55	6.09	63.37	31.34
Gusanillo	<i>Lippia myriocephala</i> Schltld. & Cham	304	6 ± 15	9.18	8.53	4.36	7.36
Vainillo	<i>Inga vera</i> Willd	304	6 ± 11	4.01	12.19	5.52	7.24
Ixpepe	<i>Trema micrantha</i> (L.) Blume	112	8 ± 20	10.49	6.09	2.32	6.30
Cedro rosado	<i>Acrocarpus fraxinifolius</i> Wight et Arn	160	13 ± 22	11.71	4.87	2.03	6.20
Frijolillo	<i>Cajoba arborea</i> (L.) Britton & Rose.	96	18 ± 21	12.31	3.65	0.87	5.80
Quimite	<i>Erythrina americana</i> Mill	64	15 ± 25	3.37	2.43	1.16	2.32
Ladera moderadamente escarpada							
Plátano	<i>Musa acuminata</i> Colla	6480	1 ± 5	62.81	12.50	83.16	52.82
Vainillo	<i>Inga vera</i> Willd	224	4 ± 15	3.52	17.86	2.87	8.08
Gusanillo	<i>Lippia myriocephala</i> Schltld. & Cham	96	15 ± 30	8.52	8.93	1.03	6.16
Ixpepe	<i>Trema micrantha</i> (L.) Blume	208	10 ± 16	5.96	8.93	2.67	5.85
Chinene	<i>Persea schiedeana</i> Nees	80	6 ± 15	4.36	5.36	1.03	3.58
Nogal	<i>Juglans olanchana</i> Standl & L. O. Williams	32	20 ± 35	3.58	3.57	0.41	2.52
Ladera inclinada							
Plátano	<i>Musa acuminata</i> Colla	928	1.5 ± 4.5	43.59	5.88	74.68	41.38
Cedro rosado	<i>Acrocarpus fraxinifolius</i> Wight et Arn	48	24 ± 27	30.60	17.65	3.80	17.35
Chalahuite	<i>Inga spuria</i> H & B. Ex Willd	80	4.5 ± 7	2.48	11.76	6.33	6.86
Gusanillo	<i>Lippia myriocephala</i> Schltld. & Cham	16	15	3.25	5.88	1.27	3.47
Valle ligeramente ondulado							
Plátano	<i>Musa acuminata</i> Colla	5472	1 ± 4	55.13	8.47	78.08	47.23
Vainillo	<i>Inga vera</i> Willd	192	6 ± 13	6.46	10.17	3.20	6.61
Aguacatillo	<i>Persea</i> spp.	64	12 ± 15	8.16	3.39	1.14	4.23
Cedro rosado	<i>Acrocarpus fraxinifolius</i> Wight et Arn	48	15 ± 25	5.46	5.08	0.68	3.74
Guarumbo	<i>Cecropia obtusifolia</i> Bertol.	16	16	0.77	1.69	0.23	0.90

*Dominancia Relativa; ** Frecuencia Relativa; ***Densidad Relativa; ****Valor de Importancia Relativa

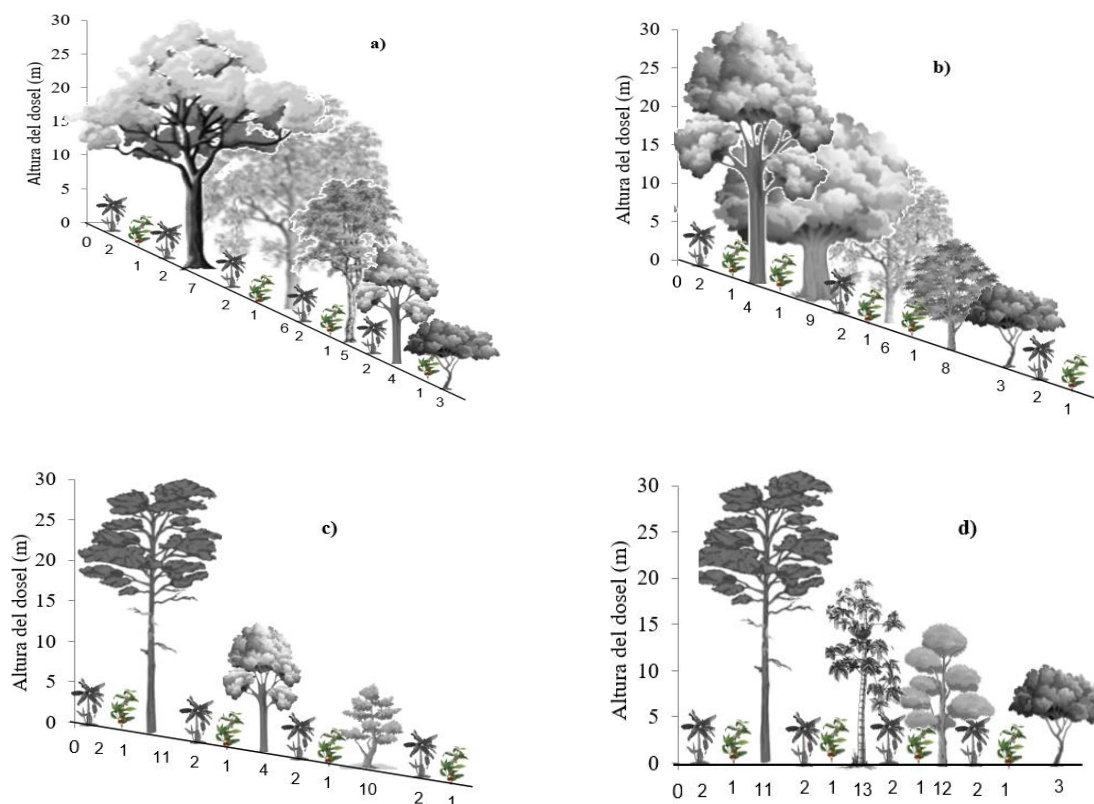


Figura 3. Perfil semi-realista del policultivo tradicional de café en el municipio de Chocamán, Veracruz: a) ladera escarpada, b) ladera moderadamente escarpada, c) ladera inclinada, y d) valle ligeramente ondulado. Especies con mayor valor de importancia: Estrato inferior: 1. café (*Coffea arabica* L), 2. plátano velillo (*Musa acuminata* Colla). Estrato superior: 3. Vainillo (*Inga vera* Willd) 4. Gusanillo (*Lippia myriocephala* Schltdl. & Cham), 5. Frijolillo (*Cojoba arborea* (L.) Britton & Rose), 6. Ixpepe (*Trema micrantha* (L.) Blume), 7. Quimite (*Erythrina americana* Mill), 8. Chinene (*Persea schiedeana* Nees), 9. Nogal (*Juglans olanchana* Standl & L. O. Williams), 10. Chalahuite (*Inga spuria* H & B. Ex Willd) 11. Cedro rosado (*Acrocarpus fraxinifolius* Wight et Arn). 12. Aguacatillo (*Persea* spp.). 13. Guarumbo (*Cecropia obtusifolia* Bertol.).

El alto VIR obtenido por las especies mencionadas anteriormente tanto en el policultivo tradicional como en el comercial, ubicadas en las distintas topoformas de la zona de estudio, se debe fundamentalmente a que proporcionan a los productores beneficio económico extra y porque tienen la capacidad de desarrollarse adecuadamente en las condiciones biofísicas particulares del área estudiada. Existen especies establecidas por los productores por algún interés económico, las cuales no pudieron desarrollarse adecuadamente porque las condiciones biofísicas no fueron favorables. Este es el caso de *C. alliodora*, que se estableció en gran parte de las parcelas cafetaleras evaluadas; sin embargo, solo pudo sobresalir en el policultivo comercial del valle ligeramente ondulado (Cuadro 5). Tanto en el policultivo tradicional como comercial, localizados en las cinco topoformas del área de estudio se observó poco desarrollo de *C. alliodora*,

la cual también sufre afectaciones por muérdago (*Phoradendrum* sp.). Esto se puede deber a que *C. alliodora* no se encuentra en condiciones de óptimo desarrollo. El óptimo crecimiento de *C. alliodora* se da en altitudes de 0 a 1000 msnm, mientras que el rango altitudinal de la zona de estudio es de 1150 a 1500 msnm; así mismo, requiere temperaturas mínimas de 18 °C y máximas de 32 °C, con precipitaciones de 2000 a 4000 mm anuales (Vázquez-Yanes et al., 1999), mientras que en el área de estudio las temperaturas mínimas son de 14.5 °C y las máximas de 22.8 °C, mientras que el rango de precipitación es de 1800 a 2000 mm anuales. Este es un ejemplo de que el conocimiento de las variables biofísicas en áreas con escasa información, como es el caso de Chocamán, Veracruz, son fundamentales para evitar introducir especies que no podrán desarrollarse bajo las condiciones biofísicas existentes.

Cuadro 5. Valores estructurales de la vegetación arbórea y arbustiva del policultivo comercial en el municipio de Chocamán, Veracruz.

Nombre común	Especie	Abundancia ha ⁻¹	Altura (m)	DR*	FR**	DER***	VIR****
Ladera moderadamente escarpada							
Vainillo	<i>Inga vera</i> Willd	96	10 ± 12	25.36	10.00	10.34	15.23
Nogal	<i>Juglans olanchana</i> Standl & L. O. Williams	192	8 ± 10	9.92	5.00	20.68	11.87
Álamo	<i>Platanus mexicana</i> Moric.	48	10 ± 15	6.91	15.00	5.17	9.02
Plátano	<i>Musa acuminata</i> Colla	112	1 ± 5	9.11	5.00	12.06	8.72
Valle ligeramente ondulado							
Plátano	<i>Musa acuminata</i> Colla	6352	1 ± 5	72.58	13.04	89.77	58.46
Chalahuite	<i>Inga spuria</i> H & B. Ex Willd	256	7 ± 15	6.74	13.04	2.77	7.521
Cedro rosado	<i>Acrocarpus fraxinifolius</i> Wight et Arn	16	11 ± 15	4.85	8.69	0.69	4.74
Xochicuauhtl	<i>Cordia alliodora</i> (Ruíz & Pav.) Oken	256	4 ± 10	2.41	8.69	2.77	4.62

*Dominancia Relativa; ** Frecuencia relativa; ***Densidad Relativa; ****Valor de Importancia Relativa.

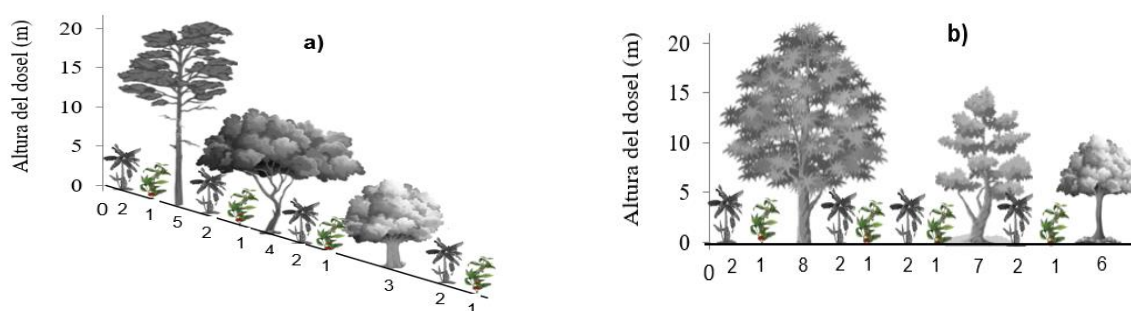


Figura 4. Perfil semirealista del policultivo comercial de café en el municipio de Chocamán, Veracruz: a) ladera moderadamente escarpada, y b) valle ligeramente ondulado. Estrato inferior: 1. Café (*Coffea arabica* L). 2. Plátano velillo (*Musa acuminata* Colla). Estrato superior: 3. Nogal (*Juglans olanchana* Standl & L. O. Williams). 4. Vainillo (*Inga vera* Willd). 5. Cedro rosado (*Acrocarpus fraxinifolius* Wight et Arn) 6. Xochicuauhtl (*Cordia alliodora* (Ruíz & Pav.) Oken) 7. Chalahuite (*Inga spuria* H & B. Ex Willd). 8. Álamo (*Platanus mexicana* Moric).

CONCLUSIÓN

El detalle alcanzado en las variables biofísicas, de estructura y composición en las parcelas evaluadas facilita la selección de especies que respondan tanto a las características del sitio, como a las necesidades del productor en la comunidad de Chocamán, Veracruz. El relieve es la variante que más retos implica en el manejo de los sistemas de producción, debido a su alta variabilidad en el área de estudio. Los sistemas de manejo policultivo tradicional y comercial observan alta variabilidad en la composición y estructura arborea y arbustiva. La complejidad en el terreno y que algunas fincas cafetaleras sean de difícil acceso, explica la permanencia de vegetación nativa de especies leñosas del bosque mesófilo de montaña. El uso diversificado de especies de usos múltiples responde a la necesidad de obtener algún beneficio por parte del productor. El policultivo tradicional puede generar mayores beneficios ambientales, mientras que el policultivo comercial puede aumentar los beneficios económicos del pequeño productor. Por lo que es necesario generar estudios que indaguen con mayor

profundidad sobre los beneficios tanto ambientales como sociales y económicos que generan ambos sistemas, así como la preferencia de los productores sobre la selección de especies de usos múltiples que deban incluirse como sombra en los cafetales. El presente estudio contribuye con la toma de decisiones por parte de los productores de la cooperativa Catuái Amarillo S.S.S., al considerar la variabilidad climática y aspectos biofísicos, de composición y estructura arborea y arbustiva en la zona.

Agradecimientos

A los productores de Catuái Amarillo S. S. S., que de manera desinteresada proporcionaron información, sin la cual este estudio no hubiera sido posible. A la Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Fitotecnia y Suelos, así como al Programa de Doctorado en Agricultura Multifuncional para el Desarrollo Sostenible. A los revisores anónimos cuyos comentarios ayudaron a mejorar el manuscrito.

Financiamiento. Se obtuvo financiamiento por parte del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

(CONACYT) mediante beca otorgada a la primera autora.

Conflicto de interés. Los autores declaran no tener conflicto de interés en la realización de la presente investigación.

Cumplimiento de las normas éticas. Los autores declaran haber cumplido con las regulaciones nacionales e internacionales y el consentimiento previo por parte de los productores para la aplicación de entrevistas semiestructuradas realizadas para conocer el manejo de las fincas cafetaleras evaluadas.

Disponibilidad de datos. Los datos están disponibles con el autor para correspondencia (patyrug31@gmail.com) previa solicitud razonable.

REFERENCIAS

- Bautista, C.E.A., Ordaz, C.V.M., Gutiérrez, C.M.C., Gutiérrez, C.E.V. y Cajuste, B.L. 2018. Sistemas agroforestales de café en Veracruz, México: identificación y cuantificación espacial usando SIG, percepción remota y conocimiento local. *Revista Terra Latinoamérica*, [e-journal] 36(3), pp. 261-273. <http://dx.doi.org/10.28940/terra.v36i3.350>.
- Brigido, J.G., Nikolskii I., Terrazas, L. y Herrera, S.S. 2015. Estimación del impacto del cambio climático sobre fertilidad del suelo y productividad de café en Veracruz, México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, [online] 6(4), pp. 101-116. Disponible en: <http://www.revistatyc.org.mx/ojs/index.php/tyca/article/view/1182/1085> [Accesado 20 mayo 2019].
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). 2011. *Inventario Nacional Forestal y de Suelos. Manual y procedimientos para el muestreo de campo Re-muestreo 2011*. [pdf] Zapopan, Jalisco: CONAFOR. Disponible en: <http://www.conafor.gob.mx> [Accesado 5 marzo 2019].
- CDB (Convenio sobre la Diversidad Biológica). 2002. *Sexta Conferencia de las Partes, La Haya, Países Bajos, 7 al 19 de abril de 2002: Decisión VI/23: Especies exóticas que amenazan a los ecosistemas, los hábitats o las especies, a la que se incorporan como anexo los Principios de orientación para la prevención, introducción y mitigación de impactos de especies exóticas que amenazan los ecosistemas, los hábitat o las especies*. [online] Disponible en: <http://www.cbd.int/decision/cop/default.shtm?id=7197>.
- Cruz-Castillo, J.G., Del Ángel-Coronel, O.A., Cruz-Medina, J. y Joaquín-Martínez, M.C. 2007. Características morfológicas y bioquímicas de frutos de chinene (*Persea schiedeana* Nees.). *Revista Chapingo Serie Horticultura*, [e-journal] 13(2), pp. 141-147. <https://dx.doi.org/10.5154/r.rchsh.2006.12.052>.
- De Beenhouwer, M., Aerts, R., and Honnay, O. 2013. A global meta-analysis of the biodiversity and ecosystem service benefits of coffee and cacao agroforestry. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, [e-journal] 175 (1), pp. 1-7. <https://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2013.05.003>.
- Durán, V.H., Rodríguez, C.R., Cuadros, S. y Francia, J.R. 2014. Impacto de la erosión y escorrentía en laderas de agroecosistemas de montaña mediterránea. *Ecosistemas: Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente*, [e-journal] 23(1), pp. 66-72. <http://dx.doi.org/10.7818/ECOS.2014.23-1.12>.
- Escamilla, P.E. y Díaz, S.C. 2016. *Sistemas de cultivo de café en México. Huatusco, Veracruz*. [pdf] CENACAFE. Disponible en: <http://www.cenacafe.org.mx>. [Accesado 17 julio 2019].
- Escamilla-Prado, E., Escamilla-Femat, S., Gómez-Utrilla, J.M., Andrade, M.T., Ramos-Elorduy, J. y Pino-Moreno, J.M. 2012. Uso tradicional de tres especies de insectos comestibles en agroecosistemas cafetaleros del estado de Veracruz. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, [online] 15(2), pp. S101-S109. Disponible en: <http://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/1784/783> [Accesado 15 abril 2019].
- Fain, S.J., Quiñones, M., Álvarez-Berríos, N.L., Parés-Ramos, I.K. and Gould, W.A. 2018. Climate change and coffee: assessing vulnerability by deling future climate suitability in the caribbean island of Puerto Rico. *Climatic Change*, [e-journal] 146(1), pp. 175-186. <https://dx.doi.org/10.1007/s10584-017-1949-5>.
- García, A.E. 2004. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Adaptación a las condiciones de la República Mexicana*. 5a ed. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México. 98 p.

- García, M.L.E., Valdez, H.J.I., Luna, C.M. y López, M.R. 2016. Estructura y diversidad arbórea en sistemas agroforestales de café en la Sierra de Atoyac, Veracruz. *Madera y Bosques*, [e-journal] 21(3), pp. 69-82. <https://dx.doi.org/10.21829/myb.2015.213457>.
- Gaston, K.J. 1996. Biodiversity-congruence. *Progress in Physical Geography*, [e-journal] 20(1), pp. 105-112. <https://dx.doi.org/10.1177/030913339602000108>.
- Gidey, T., Oliveira, T.S., Crous-Duran, J. and Palma, J.H.N. 2019. Using the yield-SAFE model to assess the impacts of climate change on yield of coffee (*Coffea arabica* L.) under agroforestry and monoculture systems. *Agroforestry Systems*, [e-journal] 71(3), pp. 1-14. <https://dx.doi.org/10.1007/s10457-019-00369-5>.
- Gómez, J.D., Etchevers, J.D., Monterroso, A.I., Gay, C., Campo, J. and Martínez, M. 2008. Spatial estimation of mean temperature and precipitation in areas of scarce meteorological information. *Atmósfera*, [online] 21(1), pp. 35-56. Disponible en: <https://www.revistascca.unam.mx/atm/index.php/atm/article/view/8596/8066> [Accesado 25 marzo 2019].
- González, G.M. y Serna, G.C.A. 2018. Servicios ecosistémicos potenciales en el sector cafetalero colombiano. *Cenicafé*, [online] 69(2), pp. 35-46. Disponible en: https://www.cenicafe.org/es/index.php/nuestras_publicaciones/cenicafes_journal [Accesado 17 abril 2019].
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática). 2013. *Continuo nacional de unidades edafológicas Serie II. Conjunto de datos de perfiles de suelos Escala 1: 250 000 Serie II*. [online]. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/temas/edafologia/>. [Accesado 22 abril 2019].
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática). 2019. *Continuo de elevación mexicano*. [online] Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/app/geo2/elevacionmex/>. [Accesado 17 abril 2019].
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática). 2002. *Conjunto de datos Geológicos vectoriales. Escala 1:250 000. Serie I*. [online]. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/temas/geologia/> [Accesado 30 abril 2019].
- 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*, [e-journal] 64(5), pp. 416-428. <http://dx.doi.org/10.1093/biosci/biu038>.
- Läderach, P., Ramirez-Villegas, J., Navarro-Racines, C., Zelaya, C., Martinez-Valle, A. and Jarvis A. 2017. Climate change adaptation of coffee production in space and time. *Climatic Change*, [e-journal] 141(1), pp.47-62. <https://dx.doi.org/10.1007/s10584-016-1788-9>.
- Licona-Vargas, A.L., Ortíz-Solorio, C.A., Gutiérrez-Castorena, M.C. y Manzano-Ramos, F. 2006. Clasificación local de tierras y tecnología del policultivo café-plátano para velillo-sombra en comunidades cafetaleras. *Terra Latinoamericana*, [online] 24(1), pp. 1-7. Disponible en: <https://www.terralatinoamericana.org.mx/index.php/terra>. [Accesado 15 junio 2019].
- Machado, V.M.M. y Ríos, O. 2016. Sostenibilidad en agroecosistemas de café de pequeños agricultores: Revisión sistemática. *IDESIA*, [e-journal] 32(2), pp. 15-23. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292016005000002>.
- Miura, S., Ugawa, S., Yoshinaga, S., Yamada, T. and Hirai, K. 2015. Floor cover percentage determines splash erosion in *Chamaecyparis obtusa* forests. *Soil Science Society of America Journal*, [e-journal] 79(6), pp. 1782-1791. <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj2015.05.0171>.
- Moguel, P. and Toledo, V.M. 1999. Biodiversity conservation in traditional coffee systems of México. *Conservation Biology*, [e-journal] 13(1), pp. 11-21. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1523-1739.1999.97153.x>.
- Mueller-Dumbois, D. and Ellenberg, H. 1974. The countplot method and plotless sampling techniques. In: Mueller-Dumbois, D. and Ellenberg, H. (eds.), *Aims and methods of vegetation ecology*. Nueva York: John Wiley & Sons. pp. 93-135.
- Nunes, M.L., Feitosa, S.T.A. and Santos, D. 2019. Transpiratory rate, biomass production and leaf macronutrient content of different plant species cultivated on a regosol in the brazilian semiarid. *Russian Agricultural Sciences*, [e-journal] 45(1), pp. 147-153. <https://dx.doi.org/10.3103/S1068367419020150>.

- Oldeman, L.R. and van Engelen, V.W.P. 1993. A world soils and terrain digital database (SOTER). An improved assessment of land resources. *Geoderma*, [e-journal] 60(1), pp. 309-325. [https://dx.doi.org/10.1016/0016-7061\(93\)90033-H](https://dx.doi.org/10.1016/0016-7061(93)90033-H).
- Ordóñez, J.H.R., Navia, E.J.F. y Ballesteros, P.W. 2019. Tipificación de sistemas de producción de café en La Unión Nariño, Colombia. *Temas Agrarios*, [e-journal] 24(1), pp. 52-65. <https://dx.doi.org/10.21897/rta.v24i1.1779>.
- Quintanar-Isaías, A., Jacobo-Villa, M.A., López-Binnqüist, C., Flores-Hernández, N., Jaramillo-Pérez, A.T., y De la Paz Pérez-Olvera, C. 2012. La madera de *Trema micrantha* (L.) Blume de Veracruz. *Madera y Bosques*, [e-journal] 18(2), pp. 73-91. <http://dx.doi.org/10.21829/myb.2012.182353>.
- Richards, P.W., Walsh, R.P.D., Baillie, I.C. and Greig-Smith, P. 1996. *The tropical rain forest: An ecological study*. 2a ed. Cambridge, UK: Cambridge University Press. 575 p.
- Rodríguez, M.J.R. 2014. ¿Es posible desarrollarse en torno al café orgánico? Las perspectivas de un negocio local-global en comunidades mayas. *Antipoda, Revista de Antropología y Arqueología*, [e-journal] 19, pp. 217-241. <http://dx.doi.org/10.7440/antipoda19.2014.10>.
- Ruelas-Monjardín, L.C., Nava-Tablada, M.E., Cervantes, J., Barradas, V.L. 2014. Importancia ambiental de los Agroecosistemas cafetaleros bajo sombra en la zona central montañosa del estado de Veracruz, México. *Madera y Bosques*, [e-journal] 20(3), pp. 27-40. <http://dx.doi.org/10.21829/myb.2014.20314>.
- Sánchez, H.S., Mendoza, B.M.A. y García, H.R.V. 2017. Diversificación de la sombra tradicional de cafetales en Veracruz mediante especies maderables. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, [e-journal] 8(40), pp. 7-17. <https://dx.doi.org/10.29298/rmcf.v8i40.32>.
- Sánchez-Hernández, S., Escamilla-Prado, E., Mendoza-Briseño, M.A. y Nazario-Lezama, N. 2018. Calidad del café (*Coffea arabica* L.) en dos sistemas agroforestales en el centro de Veracruz, México. *Agroproductividad*, [online] 11(4), pp. 80-86. Disponible en: <http://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/issue/view/66>. [Accesado 23 junio 2019].
- SMN (Servicio Meteorológico Nacional). 2019. Normales climatológicas por estado. [online]. Disponible en: <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/normales-climatologicas-por-estado>. [Acceso 15 marzo 2019].
- SEDESOL (Secretaría de Desarrollo Social). 2011. Atlas de Riesgo del municipio de Chocamán 2011. [online]. Disponible en http://rmgir.proyectomesoamerica.org/PDFMunicipales/2011/vr_30062_AR_CHO CAMAN.pdf. [Accesado 10 marzo 2020]
- Susan, T.P.V., Noa, C.J.C. y Flores, E.N. 2017. Estado del cultivo de plátano (*Musa* sp.) en el municipio de Tlapacoyan, Veracruz. *UVserva*, [e-journal] 4(1), pp. 81-83. <https://dx.doi.org/10.25009/uvserva.v0i4.2550>.
- Vázquez-Yanes, C.A., Batis, M.A.I., Alcocer, S.M.I., Gual, D.M. y Sánchez, D.C. 1999. *Árboles y arbustos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación. Reporte técnico del proyecto J084*. [pdf] Ciudad de México: CONABIO, Instituto de Ecología, UNAM. Disponible en: http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/indice_especies.html. [Accesado 20 octubre 2019].
- Zapata, A.P.C. 2019. Composición y estructura del dosel de sombra en sistemas agroforestales con café de tres municipios de Cundinamarca, Colombia. *Ciencias Forestales*, [e-journal] 29(2), pp. 685-697. <https://dx.doi.org/10.5902/1980509827037>.

Apéndice 1. Superficie promedio por hectárea, altitud promedio (msnm), topoforma, tipo de clima, edad promedio del cafetal, variedades utilizadas de café y densidades por hectárea de cafeto, arboles y arbustos y plátano de las parcelas cafetaleras evaluadas en el municipio de Chocamán, Veracruz.

Parcela	Superficie promedio (ha)	Distancia media al centro de población (km)	Altitud promedio (msnm)	Topoforma	Tipo climático	Tipo de manejo	Edad promedio del cafetal	Variedades de café utilizadas	Densidad total de cafetos ha ⁻¹	Densidad total de árboles y arbustos ha ⁻¹	Densidad total de plátanos ha ⁻¹
1	0.86	1.78	1400	Ladera escarpada	(A)Cb(fm)(i')gw"	Policultivo tradicional	Renuevo: 3.5 años; Planta grande: 30 años	Oro azteca, Colombia, Garnica, Typica,	1920	320	0
2	1.88	1.67	1408	Ladera escarpada	(A)Cb(fm)(i')gw"	Policultivo tradicional	Renuevo: 2 años; Planta grande: 40 años	Colombia, Geisha, Oro azteca, Bourbón, y Typica.	2560	192	320
2	1.88	1.67	1408	Ladera escarpada	(A)Cb(fm)(i')gw"	Policultivo tradicional	Renuevo: 5.5 años; Planta grande: 60 años	Colombia, Typica, Costa Rica y Caturra.	1280	256	0
4	1.59	3.49	1229	Valle ligeramente ondulado	(A)Ca(fm)(i')gw"	Policultivo comercial	Renuevo: 3 años; Planta grande: 57 años.	Typica, Colombia y Costa Rica	2560	64	2400
3	1.76	4.68	1335	Ladera moderadamente escarpada	(A)Ca(fm)(i')gw"	Policultivo tradicional	Renuevo: 6 años; Planta grande: 24 años	Geisha, Bourbón Costa Rica, Oro azteca, Caturra y Typica,	1664	192	1216
6	0.91	0.73	1397	Ladera inclinada	(A)Cb(fm)(i')gw"	Policultivo comercial	Planta grande: 35 años	Typica, Bourbón, Garnica, Oro azteca, Geisha y Colombia.	2592	64	1920
4	1.59	3.49	1229	Valle ligeramente ondulado	(A)Ca(fm)(i')gw"	Policultivo comercial	Renuevo: 4 años; Planta grande: 20 años	Bourbón, Geisha, Colombia y Oro azteca	4272	384	3904
8	1.36	3.93	1400	Ladera escarpada	(A)Ca(fm)(i')gw"	Policultivo tradicional	Renuevo: 3 años; Planta grande: 45 años	Oro azteca, Colombia, Garnica, Costa Rica, Typica	2912	400	0
5	9.23	2.34	1330	Ladera moderadamente escarpada	(A)Ca(fm)(i')gw"	Policultivo comercial	Renuevo: 2.5 años; Planta grande: 40 años	Geisha, Oro azteca y Bourbón	2016	144	1840
10	0.95	4.06	1238	Valle ligeramente ondulado	(A)Ca(fm)(i')gw"	Policultivo tradicional	Renuevo: 2 años; Planta grande: 20 años	Costa Rica, Oro azteca, Typica, Garnica, Colombia	3280	208	2976
6	0.91	0.73	1315	Ladera inclinada	(A)Cb(fm)(i')gw"	Policultivo tradicional	Renuevo: 2.5 años; Planta grande: 36 años	Colombia Typica, Oro azteca, Garnica, Costa Rica, Geisha y Bourbón.	1392	480	0
7	1.34	2.76	1266	Valle ligeramente ondulado	(A)Ca(fm)(i')gw"	Policultivo comercial	Renuevo: 3.5 años; Planta grande: 25 años	Oro azteca, Colombia, Garnica, Geisha y Typica	4080	368	1552
13	1.50	1.69	1230	Valle ligeramente ondulado	(A)Cb(fm)(i')gw"	Policultivo tradicional	Renuevo: 1.5 años; Planta grande: 12 y 28 años	Mundo Novo, Typica, Colombia y Geisha.	3088	112	272
8	1.36	3.93	1400	Ladera escarpada	(A)Ca(fm)(i')gw"	Policultivo tradicional	Renuevo: 4 años; Planta grande: 18 años	Oro azteca, Bourbón. Colombia y Typica,	880	448	368
15	1.53	1.39	1373	Ladera moderadamente escarpada	(A)Cb(fm)(i')gw"	Policultivo tradicional	Renuevo: 2 años; Planta grande: 15 años.	Geisha, Oro azteca y Colombia.	2720	160	800
9	1.66	2.52	1467	Ladera escarpada	(A)Cb(fm)(i')gw"	Policultivo tradicional	Renuevo: 2.5 años; Planta grande: 22 años	Catuai amarillo, Bourbón, y Typica	3472	512	0
17	0.52	1.54	1436	Ladera moderadamente escarpada	(A)Cb(fm)(i')gw"	Policultivo tradicional	Renuevo: 3 años; Planta grande: 31 años	Costa Rica, Geisha, Bourbón. y Typica,	3360	304	944
10	0.95	4.06	1238	Valle ligeramente ondulado	(A)Ca(fm)(i')gw"	Policultivo tradicional	Renuevo: 4 años	Oro azteca, Colombia, Costa Rica, Typica,	2875	368	9280
19	1.03	1.16	1470	Ladera escarpada	(A)Cb(fm)(i')gw"	Policultivo comercial	Renuevo: 5 años; Planta grande: 27 años	Catuai rojo, Colombia, Caturra, Typica,	2784	336	112
11	1.3	3.38	1325	Ladera moderadamente escarpada	(A)Ca(fm)(i')gw"	Policultivo tradicional	Renuevo: 3.5 años; Planta grande: 31 años	Typica, Oro azteca, Colombia, Garnica, Costa Rica, Geisha y Bourbón.	3712	336	224

Parcela	Superficie promedio (ha)	Distancia media al centro de población (km)	Altitud promedio (msnm)	Topoforma	Tipo climático	Tipo de manejo	Edad promedio del cafetal	Variedades de café utilizadas	Densidad total de cafetos ha ⁻¹	Densidad total de árboles y arbustos ha ⁻¹	Densidad total de plátanos ha ⁻¹
21	1.80	1.52	1292	Valle ligeramente ondulado	(A)Ca(fm)(i')gw"	Policultivo comercial	Renuevo: 4 años; Planta grande: 26 años	Oro azteca, Catuai amarillo, Bourbón y Typica,	4560	416	0
12	1.03	3.73	1235	Valle ligeramente ondulado	(A)Ca(fm)(i')gw"	Policultivo tradicional	Renuevo: 2 años; Planta grande: 25 años	Colombia, Geisha, Oro azteca, Bourbón, y Typica.	4832	128	4288
23	0.52	1.06	1436	Ladera moderadamente escarpada	(A)Cb(fm)(i')gw"	Policultivo tradicional	Renuevo: 2.5 años; Planta grande: 30 años	Geisha, Typica, Bourbón, Garnica, Oro azteca	2320	208	224
13	1.5	1.69	1230	Valle ligeramente ondulado	(A)Cb(fm)(i')gw"	Policultivo tradicional	Renuevo: 3.5 años; Planta grande: 40 años	Typica, Bourbón, Garnica, Oro azteca, Geisha y Colombia.	2400	240	0
25	1.05	0.93	1450	Ladera moderadamente escarpada	(A)Cb(fm)(i')gw"	Policultivo tradicional	Renuevo: 2 años; Planta grande: 52 años	Costa Rica, Oro azteca, y Typica	3360	304	928

Apéndice 2. Descripción de los diferentes tipos climáticos encontrados en las parcelas de café orgánico bajo sombra en el municipio de Chocamán, Veracruz.

Clima	Descripción
(A)Cb(fm) (i')gw"	Semicálido del grupo de los templados con verano fresco largo, húmedo, con régimen de lluvias intermedio, porcentaje de lluvia invernal menor de 18, con poca oscilación anual de las temperaturas medias mensuales, con marcha anual de la temperatura tipo Ganges y presencia de canícula.
(A)Ca(fm) (i')gw"	Semicálido del grupo de los templados con verano cálido, húmedo, con régimen de lluvias intermedio, porcentaje de lluvia invernal menor de 18, poca oscilación anual de las temperaturas medias mensuales, con marcha anual de la temperatura tipo Ganges y presencia de canícula.
A(C) f(m) (i')gw"	Semicálido del grupo de los cálidos, húmedo, con régimen de lluvias intermedio, porcentaje de lluvia invernal menor de 18, con poca oscilación anual de las temperaturas medias mensuales, con marcha anual de la temperatura tipo Ganges y presencia de canícula.

Apéndice 3. Composición arbórea y arbustiva del policultivo tradicional y comercial de café orgánico en la comunidad de Chocamán, Veracruz. Se consideró como árbol aquellos especímenes que presentaron un fuste principal con la primera ramificación después de 1 m de altura. Hábito: H= herbácea, Ar= arbusto, A= árbol.

Nombre común	Especie	Familia	Policultivo		Hábito
			tradicional	comercial	
Aguacate	<i>Persea americana</i> Mill.	Lauraceae	x		A
Aguacatillo	<i>Persea</i> spp.	Lauraceae	x		A
Alamo	<i>Platanus mexicana</i> Moric.	Platanaceae		x	A
Cacahuapatle	<i>Hamelia erecta</i> Jacq.	Rubiaceae	x		Ar
Cacahuatillo	N/I*		x		Ar
Cacao	<i>Virola guatemalensis</i> (Hemsl.) Warb.	Myristicaceae	x		A
Cacazaca	N/I		x		
Canilla de venado	<i>Cupania dentata</i> DC	Sapindaceae	x		A
Cedro	<i>Cedrela odorata</i> L.	Meliaceae	x		A
Cedro rosado	<i>Acrocarpus fraxinifolius</i> Wight et Arn	Fabaceae	x	x	A
Chalauite	<i>Inga spuria</i> Humb & Bonpl. Ex Willd	Fabaceae	x	x	A
Chinene	<i>Persea schiedeana</i> Nees	Lauraceae	x	x	A
Chinicuil	<i>Inga edulis</i> Mart.	Fabaceae	x		A
Durazno	<i>Prunus persica</i> (L.) Stokes	Rosaceae	x	x	Ar
Encino	<i>Quercus</i> spp	Fagaceae		x	A
Fresno	<i>Fraxinus uhdei</i> (Wenz.) Lingelsh	Oleaceae	x	x	A
Frijolillo	<i>Cojoba arborea</i> (L.) Britton & Rose	Fabaceae	x		A
Frutilla	N/I.		x		A
Grevilea	<i>Grevillea robusta</i> Cun.	Proteaceae	x	x	A
Guarumbo	<i>Cecropia obtusifolia</i> Bertol	Urticaceae	x		A
Guayaba	<i>Psidium guajava</i> L.	Myristicaceae	x		Ar
Gusanillo	<i>Lippia myriocephala</i> Schltdl. & Cham	Verbenáceas	x	x	A
Huizache	<i>Acacia pennatula</i> (Schltdl. et Cham.) Benth.	Fabaceae	x		A
Ilite	<i>Alnus acuminata</i> Kunth	Betulaceae	x	x	A
Ixpepe	<i>Trema micrantha</i> (L.) Blume	Canabaceae	x	x	A
Jinicuil	<i>Inga jinicuil</i> Schltdl. & Cham. Ex G. Don	Fabaceae	x	x	A
Jonote	<i>Heliocarpus donnellsmithii</i> Rose	Malvaceae	x	x	A
Limón	<i>Citrus limon</i> (L.)	Rutaceae	x		Ar
Macadamia	<i>Macadamia</i> spp.	Proteaceae	x	x	A
Mandarina	<i>Citrus reticulata</i>	Rutaceae	x		Ar
Merenjena	N/I			x	Ar
Naranja	<i>Citrus</i> sp	Rutaceae	x	x	Ar
Nispero	<i>Eriobotrya japonica</i>	Rosaceae	x		Ar
Nogal	<i>Juglans olanchana</i> Standl & L. O. Williams	Juglandaceae	x	x	A
Palma	<i>Chamaedorea</i> spp.	Arecaceae	x		A
Palo de agua	<i>Dendropanax arboreus</i> (L.) Decne. & Planch.	Araliaceae	x		A
Pata de cabra	<i>Bauhinia</i> spp.	Fabaceae	x		Ar
Pixtle	<i>Ehretia tinifolia</i> L.	Boraginaceae	x	x	A
Platano	<i>Musa acuminata</i> Colla	Musaceae	x	x	H
Poma rosa	<i>Syzygium jambos</i> (L.) Alston	Myristicaceae	x		A
Quebrache	<i>Diphyssa robinoides</i> Benth	Fabaceae	x		A
Quiahue	<i>Meliosma alba</i> (Schltdl.) Walp.	Sabiaceae	x		A
Quimite	<i>Erythrina americana</i> Mill	Fabaceae	x		A
Sauquillo	<i>Sanbucus nigra</i> L.	Sabiaceae	x	x	Ar
Sopa de pan	<i>Alchornea latifolia</i> Swartz	Euphorbiaceae	x		A
Tianguis	N/I		x		

Nombre común	Especie	Familia	Policultivo		Hábito
			tradicional	comercial	
Tomate de árbol	<i>Solanum betaceum</i> Cav. Anales Hist. Nat.	Solanaceae	x		Ar
Vainillo	<i>Inga vera</i> Willd	Fabaceae	x	x	A
Xochicuahuilt	<i>Cordia alliodora</i> (Ruíz & Pav.) Oken	Boraginaceae	x	x	A
Zapote negro	<i>Diospyros digyna</i> Jacq., PL. Hort. Schoenbr.	Ebenaceae	x		A

*No identificado