



Estructura e impacto de la diversidad taxonómica en cacao del Soconusco, Chiapas, México¹

Structure and impact of taxonomic diversity on cocoa of Soconusco, Chiapas, México

Gicli Manuel Suárez-Venero², Carlos Hugo Avendaño-Arrazate³, Pablo Amín Ruiz-Cruz³,
Paulina Estrada-de-los-Santos⁴

¹ Recepción: 18 de julio, 2018. Aceptación: 25 de octubre, 2018. Este trabajo formó parte de una investigación desarrollada del proyecto: “Tecnología para la producción sostenible de *Theobroma cacao* L. con materiales genéticos compatibles a los cambios climáticos”, de la estancia posdoctoral del primer autor por medio de la Agencia Mexicana de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AMEXCID) de la Secretaría de Relaciones Exteriores (SRE) de México.

² Universidad de Guantánamo. Avenida Che Guevara, km 1.5 Carretera a Jamaica, Guantánamo, CP. 95 100, Cuba. gicli@cug.co.cu (<https://orcid.org/0000-0002-5235-9192>).

³ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Campo Experimental Rosario Izapa, Km. 18 Carretera Tapachula - Cacahoatán, Tuxtla Chico, CP. 30870, Chiapas, México. avendano.carlos@inifap.gob.mx (autor para correspondencia; <https://orcid.org/0000-0003-3591-2280>), ruiz.amin@inifap.gob.mx

⁴ Instituto Politécnico Nacional, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Prolongación de Carpio y Plan de Ayala s/n. Colonia Santo Tomás. Delegación Miguel Hidalgo. Ciudad de México, México. CP. 11340. pestradadelossantos@gmail.com

Resumen

Introducción. El cultivo del cacao en México constituye un rubro exportable que garantiza la subsistencia de miles de familias. El estado de Chiapas es uno de los productores más importantes; sin embargo, aún los rendimientos son bajos, debido a diferentes factores que pueden ser minimizados con un adecuado diseño agroforestal que responda a los requerimientos del cultivo. **Objetivo.** El objetivo de este trabajo fue evaluar la estructura de la diversidad taxonómica en plantaciones de cacao y analizar su influencia sobre el cultivo en el Soconusco, Chiapas, México. **Materiales y métodos.** La investigación se efectuó durante los meses de enero a mayo del 2018, en trece municipios: Cacahoatán, Tuxtla Chico, Frontera Hidalgo, Metapa, Suchiate, Tapachula, Huixtla, Tuzantán, Huehuetán, Escuintla, Acacoyagua, Acapetagua y Mapastepec. Se establecieron parcelas representativas de 50x20 m, en las que se contabilizaron y clasificaron taxonómicamente las especies presentes. Se evaluó el diámetro a altura de pecho (DAP) y la altura total (Ht). Se realizó un análisis para definir los estratos (inferior, medio y superior) en la estructura vertical del sistema agroforestal y se hicieron consideraciones sobre la influencia de los resultados en el cacao. **Resultados.** Se determinaron 35 especies arbóreas con 199 plantas que pertenecen a veintidós familias. Las especies más importantes fueron *Cordia alliodora*, *Tabebuia rosea* y *Pouteria sapota*. **Conclusión.** Las especies de árboles de sombra registradas en la estructura vertical y horizontal de los sistemas agroforestales de cacao de la región del Soconusco, Chiapas, generaron un exceso de sombra equivalente a una media en la región de 14,16 % de la iluminación total, y la consecuente competencia por la luz entre las especies estudiadas, incluyendo el cultivo del cacao.

Palabras clave: sistema agroforestal, familia, árbol, inventario.



Abstract

Introduction. The cultivation of cocoa in Mexico is an exportable item that guarantees the subsistence of thousand families. The state of Chiapas is one of the most important producers; however, even the yields are low due to different factors. These can be minimized with appropriate agroforestry design that responds to the requirements of the crop. **Objective.** The objective of this work was to evaluate the structure of taxonomic diversity in cocoa plantations, and analyze its influence on the crop in Soconusco, Chiapas, Mexico. **Materials and methods.** The research was carried out from January to May 2018 in thirteen municipalities: Cacahoatán, Tuxtla Chico, Frontera Hidalgo, Metapa, Suchiate, Tapachula, Huixtla, Tuzantán, Huehuetán, Escuintla, Acacoyagua, Acapetagua and Mapastepec. Representative plots of 50x20 m were established, in which the present species were counted and classified taxonomically. The diameter at chest height (DAP) and total height (Ht) were evaluated. An analysis was made to define the strata (lower, middle and upper) in the vertical structure of the agroforestry system, and considerations were made about the influence of the results on the cocoa. **Results.** 35 tree species were determined with 199 plants belonging to twenty-two families. The most important species were *Cordia alliodora*, *Tabebuia rosea* and *Pouteria sapota*. **Conclusion.** The shade tree species registered in the vertical and horizontal structure of the agroforestry cocoa systems of the Soconusco region, Chiapas, generated an excess of shade equivalent to an average in the region of 14.16 % of the total illumination, and the consequent competition for light among the species studied, including cocoa cultivation.

Keywords: agroforestry system, family, tree, inventory.

Introducción

El cultivo del cacao (*Theobroma cacao* L.) en México constituye un rubro exportable importante que garantiza la subsistencia de miles de familias. México ocupa el octavo lugar en la producción de este cultivo a nivel mundial, pero en los últimos diez años se ha observado una tendencia decreciente en su producción. A pesar de esto, la producción de cacao avanzó ligeramente en 2017 (27 326 t) con respecto al 2016 (26 969 t) (SIAP, 2018).

Chiapas es uno de los estados productores de cacao más importantes en México y ocupa el segundo lugar en producción después de Tabasco. Al cierre del 2017 tuvo una superficie destinada al cultivo de 17 812 ha, con una producción media de 9707 t e intención de cosecha en el año 2018 de 9675 t, traducibles en un rendimiento promedio de 0,44 t.ha⁻¹ (SIAP, 2018). Las principales regiones de producción son Norte, Centro, Soconusco y Selva-Norte. Son muchos los factores que intervienen en estos resultados productivos; entre ellos el aspecto fitosanitario y los actuales cambios climáticos que constituyen retos fundamentales. No obstante, ambos factores se pueden minimizar con un adecuado manejo de las plantaciones, que considere un correcto diseño agroforestal, en que la estructura horizontal y vertical responda a los requerimientos del cultivo y logre la conservación de los recursos naturales, suelo y agua.

La mayor parte de las plantaciones de cacao en el mundo se encuentran establecidas en convivencia con especies de árboles de sombra, ya sea bajo un diseño de manejo agroforestal o no. Esta convivencia se asemeja al ambiente de origen del cacao, pero con manejo de las especies de sombra con el objetivo de obtener mayor productividad bajo esas condiciones. En este contexto Almeida y Valle (2007) sugirieron cultivar el cacao bajo sombra tras realizar experimentos de tolerancia a altas radiaciones.

La función que cumplen las especies de sombra en las plantaciones de cacao, ha sido estudiada por Somarriba y Quesada (2005) y Silva et al. (2013). Aunque la sombra tiene grandes ventajas para el cultivo (González, 2008), su exceso puede afectarlo considerablemente (Alvim et al., 1974; Beer et al., 2003). Debido a esto, es necesaria una adecuada selección de las especies para sombra en los sistemas agroforestales de cacao. En México se han

desarrollado algunas investigaciones sobre este tema; Ramírez et al. (2013) en el estado Tabasco y Salgado-Mora et al. (2007) y Roa et al. (2009) en el Soconusco, Chiapas. Estos últimos autores indicaron que al no tener ningún registro de la estructura y función de los árboles que son utilizados como sombra para el cultivo en la región del Soconusco, se complica el desarrollo de políticas, proyectos o investigaciones que lleven al mejoramiento del cultivo y al conocimiento de los recursos naturales con los que se cuenta en esta región del sur del estado de Chiapas.

Conocer la estructura e influencia que poseen las especies de sombra sobre el cultivo, permite adoptar estrategias con enfoque ecológico y agronómico en función de mejorar la sostenibilidad de estos sistemas agroforestales. Por ello, el objetivo de este trabajo fue evaluar la estructura de la diversidad taxonómica en plantaciones de cacao y analizar su influencia sobre el cultivo del cacao en el Soconusco, Chiapas, México.

Materiales y Métodos

Descripción del área de estudio

La investigación se desarrolló durante los meses de marzo a mayo de 2018 en trece municipios de Soconusco, sur del estado de Chiapas, México. La región de Soconusco está localizada entre las coordenadas 15°19'N y 92°44'W, cubre 4 605,4 km², lo que representa 6,28 % de la superficie estatal, y es la séptima región de mayor extensión territorial en el estado de Chiapas.

La región se caracteriza por climas cálidos y semicálidos; predomina el cálido subhúmedo con lluvias de verano, seguido por el cálido húmedo con lluvias abundantes de verano. Por tanto, de acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por García (1973), el clima predominante en la región de estudio es del tipo Aw2(w)ig con humedad relativa media de 79,4 %, con la temperatura media anual de 26,8 °C (CNA, 1998). Presenta diez unidades de suelo, las principales son cambisol, acrisol y feozem (IUSS, 2008). En las zonas de producción de cacao, por lo general, los suelos predominantes son el andosol y fluvisol (López et al., 1988).

Muestreo

Para determinar las zonas de muestreo, se realizó previamente un recorrido exploratorio por el 90 % de las plantaciones de cacao en cada municipio que desarrolla el cultivo del cacao en el Soconusco, Chiapas, con el objetivo de definir criterios para seleccionar municipios y parcelas experimentales objeto del inventario, en conjunto con los productores y decisores de cada zona.

Se realizaron entrevistas y diálogos con los productores de cacao, lo que permitió definir los siguientes criterios de selección: 1) superficie plantada con el cultivo y su representación con el total del estado; 2) número de productores dedicados a la actividad cacaotera y su representación con el total del estado; 3) porcentaje del aporte a la producción total del estado; 4) representatividad geográfica por niveles de altura desde 0-800 m. Con base en los criterios anteriores se seleccionaron trece de los quince municipios que integran la región del Soconusco, Chiapas (Cuadro 1).

Inventario forestal en el sistema agroforestal con cacao

El muestreo se realizó en parcelas de 20 x 50 m en cada uno de los municipios, donde se cuantificó el número de árboles de cacao y se realizó el inventario de las especies presentes. A cada árbol se le tomó el nombre común, que permitió la identificación taxonómica del componente arbóreo (familia, género y especie), con base en el manual de árboles de Centroamérica del CATIE (Barrance et al., 2003) y árboles tropicales de México (Pennington y Sarukhán, 2005). A cada árbol se le midió el área basal, la cual se obtuvo a partir de la variable de diámetro

Cuadro 1. Localidades para el inventario forestal en el sistema agroforestal con cacao en la región de Soconusco, Chiapas, México. 2018.

Table 1. Locations for the forest inventory in the agroforestry system with cocoa in the Soconusco region, Chiapas, Mexico. 2018.

Municipio	Localidad	Propietario	Edad del cultivo (años)	Coord. X	Coord. Y	Altitud (m)
Acacoyagua	Los cacaos	Adelita Miranda Paz	5	536672	1701221	398
Acapetagua	Rancho San Antonio	Alberto Montes Espinoza	30	530773	1692492	34
Escuintla	El triunfo	Gabriel Escobar Mejía	6	544935	1697062	36
Frontera Hidalgo	La primavera	Santiago Galindo Vázquez	9	587577	1635447	83
Huehuetán	Rancho Esquipulas	Transito Cruz Guzmán	12	559941	1657255	17
Huixtla	El arenal	Efraín Santiago Cruz	10	554524	1666228	19
Mapastepec	La fronterita	Emilio Marroquín Hernández	25	514271	1700423	29
Metapa	Los cacahuatales	Francisca Hernández Guzmán	30	586045	1637418	91
Suchiate	Manuel Ávila Camacho	Manuel Mérida Villatoro	20	582086	1618980	19
Tapachula	Raymundo Enriquez	Eder Herrera López	20	571924	1643444	60
Tuxtla Chico	C. E. Rosario Izapa	Rosario Izapa	7	590658	1655363	433
Tuzantán	Tercer cantón	Olinto López Jiménez	25	558966	1669483	33
Cacahoatán	Santa Martha	Anselmo Mounguerza	30	586167	1658130	500

medido a altura de pecho (DAP: 1,3 m sobre el nivel del suelo); se midió con una cinta diamétrica de 5 m (Jackson, MS). Además, se midió la altura con un clinómetro.

Variables de respuesta

Estructura horizontal

Se calculó el índice de valor de importancia (IVI) según Curtis y McIntosh (1951), que determina las especies más importantes en el uso específico de la tierra. Para ello, se utilizaron las siguientes fórmulas:

$$IVI = \text{densidad relativa} + \text{dominancia relativa} + \text{frecuencia relativa}$$

Donde:

$$\text{Densidad relativa} = \frac{\text{Densidad por especie}}{\text{Densidad de todas las especies}} \times 100$$

$$\text{Densidad por especie} = \frac{\text{Número de individuos}}{\text{Área muestreada}}$$

$$\text{Dominancia relativa} = \frac{\text{Dominancia por especie}}{\text{Dominancia de todas las especies}} \times 100$$

$$\text{Dominancia por especie} = \frac{\text{Total de área basal}}{\text{Área muestreada}}$$

$$\text{Frecuencia relativa} = \frac{\text{Frecuencia por especie}}{\text{Frecuencia de todas las especies}} \times 100$$

$$\text{Frecuencia por especie} = \frac{\text{Unidades de muestreo que está presente la especie}}{\text{Número total de unidades de muestreo}}$$

Estructura vertical

Se evaluó la estratificación vertical dada por la distribución de las copas en el perfil vertical respecto al cultivo del cacao, en cada uno de los municipios muestreados. Se identificaron las especies presentes en los estratos bajo, medio, alto. Los estratos se clasificaron en correspondencia con la altura de las especies de sombra según Somarriba et al. (2004), como sigue:

- a) Estrato inferior: especies que ocupan una altura entre 2-8 m.
- b) Estrato medio: especies que ocupan una altura entre 9-25 m.
- c) Estrato superior: especies que ocupan una altura entre 26-40 m.

Influencia de la estructura arbórea sobre el cultivo del cacao en el sistema agroforestal

Se consideraron los resultados de las estructuras horizontal y vertical en función del cultivo principal del sistema agroforestal. Se contó el número de plantas de cacao en cada parcela y las existentes en la zona bajo el dosel de sombra. Se realizó un análisis en correspondencia con los requerimientos de sombra del cultivo y se determinó la capacidad de sombra del conjunto de doseles de los árboles en las parcelas, a partir del porcentaje de iluminación promedio que penetra en el interior de la plantación, medido por la cantidad de luxes ($\text{lux} \cdot \text{FC}^{-1}$). Para aleatorizar el dato de la parcela, se realizaron veinte repeticiones repartidas aleatoriamente dentro de cada una de ellas, cuyos resultados se promediaron por parcela y por municipio. Para la medición se utilizó un luxómetro marca SPER SCIENTIFIC 840020.

Análisis estadístico

Los datos se sistematizaron y registraron en una base de datos creada con el paquete de Excel versión 9.1. Se calculó la frecuencia y el promedio de especies. Además, se realizó un análisis de varianza y una prueba de comparación de medias para la variable cantidad de luz con el paquete estadístico STATGRAPHICS plus ver 5.1.

Resultados

Estructura horizontal

En el Soconusco, se identificaron 35 especies arbóreas que se seleccionaron por los productores de cacao como sombra de este cultivo. Se trata de la vegetación nativa del bosque natural y vegetación secundaria por regeneración natural (Cuadro 2).

Cuadro 2. Catálogo de especies sombreadoras de cacao encontradas en los municipios muestreados del Soconusco, Chiapas, México. 2018.**Table 2.** Catalog of cocoa shading species found in the sampled municipalities of Soconusco, Chiapas, Mexico. 2018.

Familia	Especie	Nombre común	Usos
Anacardiaceae	<i>Mangifera indica</i> L.	Mango	Frutal
Apocynaceae	<i>Aspidosperma megalocarpum</i> Müll.Arg	Chiche	Maderable
Apocynaceae	<i>Stemmadenia donnell-smithii</i> (Rose) Woodson	Chapon	Maderable
Bignoniaceae	<i>Tabebuia donnell-smithii</i> Rose	Primavera	Maderable
Bignoniaceae	<i>Tabebuia rosea</i> (Bertol) DC.	Roble	Maderable
Boraginaceae	<i>Cordia alliodora</i> (Ruiz& Pav.) Oken	Laurel	Maderable
Bombacaceae	<i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaertn.	Ceiba	Maderable
Burseraceae	<i>Bursera simaruba</i> (L.) Sarg.	Jiote	Maderable
Cecropiaceae	<i>Cecropia obtusifolia</i> Bertol	Guarumo	Otros usos
Chrysobalanaceae	<i>Couepia polyandra</i> (Kunth) Rose	Carnero	Maderable
Combretaceae	<i>Terminalia amazonia</i> (J.F.Gmel.) Exell	Guayabo volador	Maderable
Clusiaceae	<i>Garcinia humilis</i> (Vahl) C.D. Adams	Achachayru	Frutal
Euphorbiaceae	<i>Sapium macrocarpum</i> Müll. Arg	Chonte	Maderable
Euphorbiaceae	<i>Hippomane mancinella</i> L.	Manzanillo	Maderable
Fabaceae	<i>Inga micheliana</i> Harms	Chalum	Maderable
Fabaceae	<i>Schizolobium parahyba</i> Müll. Arg	Zope	Maderable
Fabaceae	<i>Poeppigia procera</i> C. Presl	Tepemistle	Maderable
Fabaceae	<i>Erythrina fusca</i> Lour	Pito	Otros usos
Lauraceae	<i>Persea americana</i> Mill.	Aguacate	Frutal
Malvaceae	<i>Chiranthodendron pentadactylon</i> Larreat	Canaque	Maderable
Malvaceae	<i>Theobroma bicolor</i> Humb. & Bonpl	Pataste	Frutal
Meliaceae	<i>Cedrela odorata</i> L.	Cedro	Maderable
Meliaceae	<i>Guarea glabra</i> Vahl.	Cedrillo	Maderable
Moraceae	<i>Castilla elastica</i> Sesse	Hule	Maderable
Moraceae	<i>Ficus</i> sp.	Mata Palo	Otros usos
Moraceae	<i>Maclura tinctoria</i> (L.) Steud	Mora Blanco	Maderable
Muntingiaceae	<i>Muntingia calabura</i> L.	Capulín	Otros usos
Rutaceae	<i>Citrus nobilis</i> Lour	Mandarina	Frutal
Rutaceae	<i>Citrus sinensis</i> L.	Naranja	Frutal
Rutaceae	<i>Citrus aurantifolia</i> (Christm) Swingle	Limón	Frutal
Sapindaceae	<i>Nephelium lappaceum</i> L.	Rambután	Frutal
Sapotaceae	<i>Manilkara zapota</i> (L.) van Royen	Chicozapote	Frutal
Sapotaceae	<i>Pouteria sapota</i> (Jacq.) H. E. Moore & Stearn	Zapote	Frutal
Sterculiaceae	<i>Sterculia apelata</i> (Jacq.) Karst	Castaño	Maderable
Tiliaceae	<i>Apeiba tibourbou</i> Aubl.	Peine de Mico	Maderable

Las especies registradas, se agruparon en 32 géneros y 22 familias. Los géneros más representados fueron *Citrus* (8,5 %) y *Tabebuia* (5,71 %), que en su conjunto agruparon a un 25,12 % de los árboles. Las familias más representadas fueron Fabaceae, Moraceae, y Rutaceae, con cuatro, tres y tres especies cada una, respectivamente; seguidas de las familias Apocynaceae, Bignoniaceae, Euphorbiaceae, Malvaceae, Meliaceae y Sapotaceae, con dos especies cada una. Estas familias agruparon el 54,1 % de las especies inventariadas.

La mayor diversidad se registró en los municipios de Tuxtla Chico y Escuintla, con doce especies cada uno, seguidos por Acacoyagua y Acapetagua con once y ocho especies, respectivamente. En Tapachula y Huehuetán se inventarió el menor número de especies con una y dos, respectivamente.

Respecto a la abundancia de especies, el inventario determinó un total de 199 árboles. El *C. alliodora*, *T. rosea* y *P. sapota* fueron las especies más abundantes, con 29, 26 y 23 árboles, respectivamente (Figura 1).

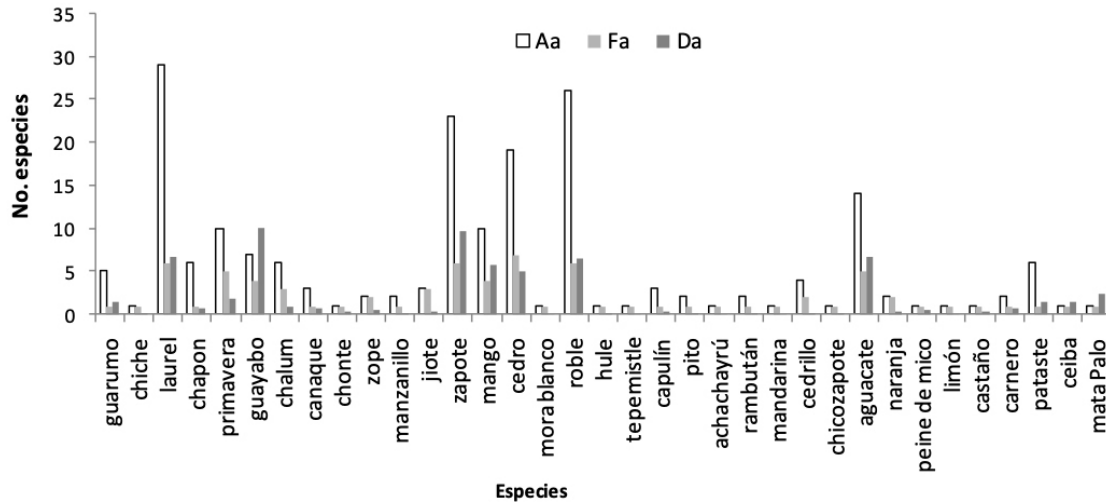


Figura 1. Abundancia absoluta (Aa), frecuencia absoluta (Fa) y dominancia absoluta (Da) de las especies de árboles de sombra registradas en el inventario en todas las parcelas muestreadas de cacao en el Soconusco, Chiapas, México. 2018.

Figure 1. Absolute abundance (Aa), absolute frequency (Fa), and absolute dominance (Da) of the shade tree species registered in the inventory in all the plots sampled of cocoa in the Soconusco, Chiapas, Mexico. 2018.

La especie *C. alliodora* mayormente se encontró en la parcela de Frontera Hidalgo (diecisiete árboles), el *T. rosea* en el municipio Tuzantán (nueve árboles) y el *P. sapota* en Tapachula (ocho árboles). Coincidentemente, estas especies resultaron ser las más importantes por su densidad, frecuencia y dominancia relativa (Figura 2).

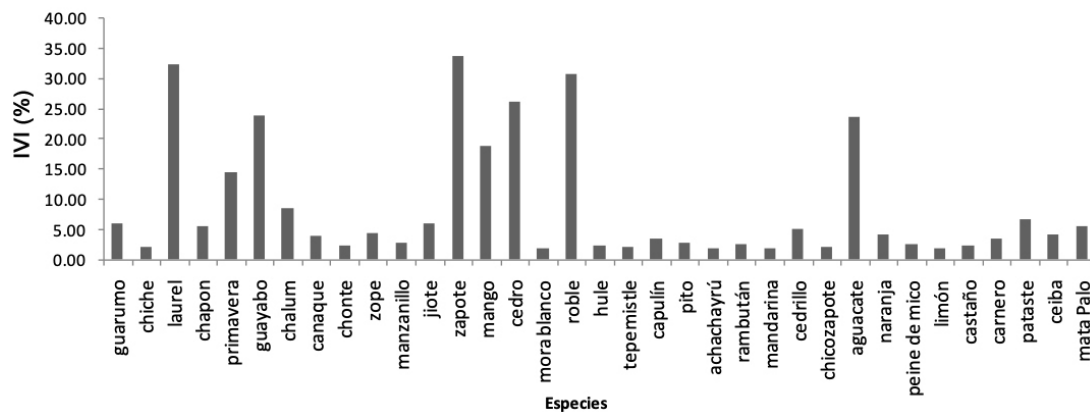


Figura 2. Índice de valor de importancia (IVI) de las especies inventariadas en plantaciones de cacao en la región del Soconusco, Chiapas, México. 2018.

Figure 2. Importance value index (IVI) of the species inventoried in cocoa plantations in the Soconusco region, Chiapas, Mexico. 2018.

La densidad de especies de árboles de sombra en todos los municipios varió entre 80 y 300 árboles.ha⁻¹. Los municipios con mayor densidad de especies de sombra en el interior de las plantaciones de cacao, fueron Tuxtla Chico, Tuzantán y F. Hidalgo, con valores entre 230 y 300 árboles.ha⁻¹, no así en las plantaciones de Cacahoatán, cuya densidad solo fue de 40 árboles.ha⁻¹, siendo este el único registro de densidad adecuada para el cultivo.

Estructura vertical

El 73 % y 75 % del total de árboles y especies registrados, respectivamente, se encontraron ocupando el estrato medio de las plantaciones de cacao en todos los municipios, siendo *C. alliodora*, *P. sapota* y *T. rosea*, las especies más abundantes en ese nivel, mientras que, los municipios con mayor número de árboles fueron Tuxtla Chico, Frontera Hidalgo y Tuzantán (Cuadro 3).

Cuadro 3. Número de especies de árboles de sombra registrados por estratos en parcelas de cacao en los municipios estudiados del Soconusco, Chiapas, México. 2018.

Table 3. Number of shade tree species registered by strata in the cacao plots in the studied municipalities of Soconusco, Chiapas, Mexico. 2018.

Municipios	Estrato inferior		Estrato medio		Estrato superior	
	No. especies	% del total	No. especies	% del total	No. especies	% del total
Cacahoatán	0	0,00	0	0,00	4	22,22
Tuxtla Chico	5	13,89	24	16,55	1	5,56
F. Hidalgo	3	8,33	17	11,72	3	16,67
Metapa	3	8,33	10	6,90	3	16,67
Suchiate	0	0,00	12	8,28	1	5,56
Tapachula	1	2,78	7	4,83	0	0,00
Huixtla	3	8,33	10	6,90	2	11,11
Tuzantán	6	16,67	16	11,03	0	0,00
Huehuetán	1	2,78	6	4,14	0	0,00
Excuintla	7	19,44	14	9,66	0	0,00
Acacoyagua	6	16,67	7	4,83	4	22,22
Acapetagua	1	2,78	13	8,97	0	0,00
Mapastepec	0	0,00	9	6,21	0	0,00
Total	36	100	145	100	18	100

El menor número de especies se registró en el nivel superior, donde *P. americana* y *M. indica* fueron las especies de mayor presencia, con el mayor número de árboles registrado en los municipios Acacoyagua y Cacahoatán.

Por lo general, las plantas de cacao en todas las plantaciones muestreadas se encontraron en el estrato inferior, compartiendo el mismo espacio vertical con un 18 % y 50 % del total de árboles y especies, respectivamente. Lo anterior significa que, en los actuales sistemas agroforestales con cacao del estado, se encuentran especies en similares alturas con el cultivo, tales como: *S. donnell-smithii*, *T. abebuia*, *C. odorata* y *Guarea glabra*, entre otras. En los municipios de Cacahoatán, Suchiate y Mapastepec no se registraron especies en este estrato.

Influencia de la morfología de árboles de sombra sobre el cultivo del cacao

En las plantaciones de cacao de los municipios Acacoyagua y Tapachula, se registraron los mayores valores de iluminación de los árboles de sombra, seguidos por Escuintla, Suchiate y Mapastepec. Sin embargo, estos fueron muy bajos, comparados con los valores de iluminación promedio, óptimos para el cultivo del cacao. La cantidad de iluminación evaluada en el interior de las parcelas (Cuadro 4), mostró que los valores máximos fueron muy diferentes entre las plantaciones en los municipios.

Cuadro 4. Iluminación medida en el interior de las parcelas estudiadas en trece municipios del Soconusco, Chiapas, México. 2018.

Table 4. Lighting measured inside the plots studied in thirteen municipalities of Soconusco, Chiapas, Mexico. 2018.

Municipios/ Estadígrafos	Media	Valor Mínimo (lux.FC ⁻¹)	Valor Máximo (lux.FC ⁻¹)	C. V. (%)	E. S.
Cacahoatán	2321,55 ab	510	4530	54,73	284,15
Tuxtla Chico	1486,00 a	900	2200	25,96	86,27
Frontera Hidalgo	1818,65 ab	943	2700	30,70	124,87
Metapa	4170,00 ab	940	7400	48,23	449,77
Suchiate	4630,00 ab	450	8810	56,22	582,06
Tapachula	4840,00 b	550	9400	55,54	601,12
Huixtla	4015,50 ab	1100	6700	42,76	383,94
Tuzantán	3994,00 ab	700	7250	53,60	478,74
Huehuetán	3994,00 d	700	7250	53,60	478,74
Escuintla	4680,50 b	500	8900	52,35	547,97
Acacoyagua	11578,60 c	826	25000	67,93	1758,87
Acapetagua	2499,25 ab	975	4200	39,27	219,51
Mapastepec	4810,00 b	820	8800	51,65	555,60

C.V.: coeficiente de variación; ES: error estándar de la media / C.V.: coefficient of variation; E.S.: standard error of the mean.

Otro de los efectos que se observaron, fue la heterogeneidad de la iluminación dentro de las plantaciones, demostrado por el alto coeficiente de variación en todos los municipios (Cuadro 4), siendo significativos los municipios de Acacoyagua, Tapachula, Suchiate, Cacahoatán, Tuzantán, Huehuetán, Escuintla y Mapastepec, donde se evaluaron más del 50 % de coeficiente de variación.

Los resultados del registro de la densidad de plantas de cacao por parcela, indicaron bajo porcentaje de población en las plantaciones de cacao en todos los municipios, con excepción de Tuxtla Chico; con muy bajas densidades en los municipios de Acapetagua, Escuintla y Mapastepec. De igual forma, se registró, poca cantidad de plantas de cacao bajo los doseles de sombra de diferentes especies, con la mayor influencia de *M. indica*, *P. sapota* y *P. americana*, debido a su inadecuado manejo (Cuadro 5).

Cuadro 5. Cantidad de plantas de cacao por parcela, en los municipios estudiados del Soconusco, Chiapas, México. 2018.

Table 5. Quantity of cocoa plants per plot, in the studied municipalities of Soconusco, Chiapas, Mexico. 2018.

Municipios/ Variables	No. cacao por parcela	Árboles/ha	Población (%)	Total plantas cacao en dosel	Promedio plantas de cacao por dosel
Cacahoatán	68	680	61,2	62	15,54
Tuxtla Chico	108	1080	97,2	285	9,50
Frontera Hidalgo	73	730	65,7	161	7,00
Metapa	55	550	49,5	50	3,32
Suchiate	81	810	72,9	91	7,00
Tapachula	66	660	59,4	38	4,20
Huixtla	53	530	47,7	36	3,00
Tuzantán	76	760	68,4	78	3,54
Huehuetán	74	740	66,6	60	7,51
Escuintla	37	370	33,3	78	3,94
Acacoyagua	52	520	46,8	56	4,00
Acapetagua	32	320	28,8	25	2,58
Mapastepec	41	410	36,9	57	6,32
Promedio	62,70	627,60	56,70	82,80	5,60

Discusión

La composición florística determinada fue típica de los sistemas agroforestales con cacao de esta región, con especies comunes de la selva alta perennifolia, como *T. amazonia* y *A. megalocarpon*, lo que coincide con las afirmaciones de Roa et al. (2009). Este mismo autor obtuvo resultados similares a los alcanzados en la presente investigación con *P. sapota* en cuatro municipios de esta misma región, donde este fue el frutal más abundante, junto con *M. indica*. Por lo general, el tipo de sombra presente en las plantaciones estudiadas define diversos sistemas de producción familiar, dado la importancia de las especies presentes en los sistemas agroforestales, donde los productores obtienen productos de autoabastecimiento, para el pequeño comercio, para leña (energía) o para buscar opciones de sustituir el cacao con otras especies, en caso de que decidan hacer un cambio de uso del suelo, aspectos que coinciden con lo expresado por Hernández et al. (2015).

Las especies con mayor índice de importancia eran aprovechadas por los productores en estos sistemas agroforestales. En este contexto, *C. alliodora* era importante en la región por el alto valor de su madera para uso local y combinada con cultivos anuales y perennes en sistemas agroforestales, además de su empleo como planta medicinal en México (Barrance et al., 2003). Por otra parte, *T. rosea* es un árbol de valor maderero, que se utiliza en los sistemas silvopastoriles, linderos, sombra y ornamental. Sin embargo, *P. sapota* es un frutal de aceptación en la región, por los aportes que hace al productor a los ingresos económicos familiares. Comúnmente se encuentra formando parte de la estructura arbórea dentro de las plantaciones de café y cacao en muchos países, establecidas o regeneradas naturalmente, ya sea bajo diseño agroforestal o no (Salgado-Mora et al., 2007). Su localización es aleatoria, como se registró en el inventario realizado en el municipio de Tapachula, donde esta fue la única especie registrada con ocho árboles.

De acuerdo con la estructura horizontal y vertical analizada, se evaluó en todos los municipios un exceso de sombra sobre el cultivo, con valores medios máximos de iluminación total entre 4,8 % y 44,8 %. En este contexto,

fue determinante la influencia de la densidad de árboles de sombra y su distribución, los cuales fueron muy variables entre los municipios, características típicas de estos tipos de sistemas con regeneración natural de especies y posterior selección por parte del productor.

La densidad de árboles de sombra registrada (80-300 árboles.ha⁻¹), fue superior a lo indicado en la tecnología de manejo para el cultivo de cacao y fueron similares a los que obtuvieron Sánchez et al. (2016) en SAFc en el estado de Tabasco, quienes encontraron una densidad media de 286 árboles.ha⁻¹, y que varió de 96 a 618 árboles.ha⁻¹. La densidad de siembra para las plantaciones en producción con plantas desarrolladas y autosombreadas, debe ser entre 25 y 50 árboles.ha⁻¹ para originar 60-75 % de luz total (González, 2008), información que coincide con lo afirmado por Somarriba (2004), quien además afirmó que esta iluminación depende del manejo agronómico del cacao y de las características del dosel de sombra.

La distribución de la iluminación en los sistemas agroforestales estudiados, se observó con una alta variabilidad en las plantaciones de cacao, debido al número y tipo de especies por parcelas, la dimensión del dosel de cada especie y la altura, así como un deficiente manejo de la diversidad de los árboles. Según Silva et al. (2013), si esta diversidad es manejada adecuadamente, se pueden lograr importantes beneficios para el cultivo. Además, las especies de mayor altura y amplios doseles de sombra aportan una densa sombra en mayor cantidad de horas. Al respecto, Somarriba (2002) sugirió que el recorrido sobre el suelo de la sombra de la copa de un árbol, a mayor altura, es más largo que el recorrido de la sombra de la copa de un árbol a baja altura; por ello, Silva et al. (2013) afirmaron que entre los atributos deseables de los árboles de sombra está la altura media entre 15 y 25 m. En el estrato superior de los SAF de cacao en Centroamérica, Ramírez et al. (2013) registraron especies que alcanzaron una altura de 36 m, DAP de 137 cm y área basal media de 11 m².ha⁻¹ a 47,2 m².ha⁻¹.

La composición florística evaluada en la estructura vertical y horizontal de los sistemas agroforestales del Soconusco Chiapas, permitió reconocer una competencia por la luz entre los árboles de sombra con el cultivo del cacao, con el consiguiente efecto sobre los procesos fisiológicos que requieren de la iluminación. Por ello, el manejo de la sombra debe ir dirigido a reducir los estreses fisiológicos (Schroth et al., 2000).

Dentro de los procesos que se afectan por el exceso de sombra en el cacao se encuentran la fotosíntesis, la expansión celular de ciertos tejidos y la apertura estomática (Alvim, 1977). Sobre este último proceso, en condiciones normales de iluminación, teóricamente se lleva a cabo durante el periodo del día en que existe mayor iluminación. Sin embargo, después los estomas comienzan a cerrarse por disminución de la intensidad lumínica, por lo que, bajo condiciones de exceso de sombra como están dispuestas las plantaciones de cacao en la región estudiada, este proceso se afecta, y disminuyó además la asimilación de CO₂ y el proceso fotosintético, lo cual coincide con lo expresado por Jaimez et al. (2008). Por ello, la fotosíntesis en el cultivo del cacao es mayor sin sombra o con sombra ligera. El exceso de sombra en los sistemas agroforestales de cacao facilita también la aparición de enfermedades como la moniliasis, por la creación de las condiciones de humedad adecuadas para su desarrollo. Para ello, el método más utilizado es el control cultural, que involucra labores para adecuar la sombra y el tamaño del dosel de los árboles de cacao, con lo cual se permite la entrada de luz y el flujo de aire dentro del cultivo (Barros, 1977).

Niveles de iluminación como los obtenidos en este estudio podrían favorecer la reproducción de patógenos, debido a las condiciones microclimáticas originadas en el interior de las plantaciones por el aumento de la humedad relativa. Entre esos patógenos la *Moniliophthora roreri* fue considerada por Hernández et al. (2015) como el principal factor parasitológico que ha influido en la pérdida de producción y biodiversidad del cacao en Chiapas y se observó en el 100 % de las plantaciones muestreadas en esta investigación.

Por otra parte, la densidad de plantación del cacao es uno de los factores a considerar en el tema de la sombra, por el efecto del autosombreo del cultivo. En general, la densidad de población promedio de las plantaciones de cacao en el estado de Chiapas no superó el 70 % (630 plantas.ha⁻¹), sin embargo, la densidad óptima para el cultivo es de 1111 plantas.ha⁻¹ y la más empleada en la región estudiada. Lo anterior coincide con lo planteado por ANECACAO (2015) y González et al. (2015).

Las condiciones de iluminación, puede ser uno de los factores que influye sobre los rendimientos del cultivo en esta región, el cual es en promedio 0,44 t.ha⁻¹ (SIAP, 2018). Ello sugiere a los productores adoptar las medidas y decisiones adecuadas en función de implementar labores de rehabilitación, resiembra y manejo de la sombra, considerando el mantenimiento de los frutales, en los municipios de Acacoyagua, Escuintla y F. Hidalgo, por tener una edad que no sobrepasan los diez años. Sin embargo, en el resto de los municipios, donde las plantaciones de cacao son de 20-30 años de edad, se deberán evaluar sistemas de renovación con el consiguiente manejo de la sombra. Para todo tipo de plantación es indispensable lograr el 100 % de población de plantas de cacao.

Estos resultados se relacionan con los reportados en esta misma región por Avendaño et al. (2011), quienes registraron plantaciones de más de veinticinco años. Sin embargo, Hernández et al. (2015) determinaron que las plantaciones de cacao en Chiapas tienen un promedio de 36 años y solo un 4 % de los productores tienen plantaciones nuevas. Estos últimos autores manifestaron que solo el 38 % de los productores en el estado regulan la sombra en las plantaciones de cacao, la gran mayoría indicaron que esta actividad aporta pocos beneficios al cacao e implica un mayor costo de producción, aspecto que explica las condiciones existentes en las plantaciones sobre esta técnica de cultivo.

Conclusión

Las especies de árboles de sombra registradas en la estructura vertical y horizontal de los sistemas agroforestales de cacao de la región del Soconusco, Chiapas, generan un exceso de sombra equivalente a una media en la región de 14,16 % de la iluminación total, y la consecuente competencia por la luz entre las especies estudiadas, incluyendo el cultivo del cacao.

Literatura citada

- Almeida, A.Y., and R. Valle. 2007. Ecophysiology of the cocoa tree. *Braz. J. Plant Phys.* 19:425-448. doi:10.1590/S1677-04202007000400011
- Alvim, T. 1977. Cacao. In: P.T. Alvin, and T.T. Kozlowski, editors, *Ecophysiology of tropical crops*. Academic Press, NY, USA. p. 279-313.
- Alvim, T., M.A. Dantas, and F. Vello. 1974. Physiological responses of cacao to environmental factors. *Rev. Theobroma* 4:3-25.
- ANECACAO (Asociación Nacional de Exportadores de Cacao). 2015. Distancia de siembra. ANECACAO, ECU. <http://www.anecacao.com/es/servicios/articulos-tecnicos/distancia-de-siembra.html> (consultado 10 jul. 2018).
- Avendaño, A.C.H., J.M. Villareal, R.E. Campos, R.A. Gallardo, L.A. Mendoza, J.F. Aguirre, A. Sandoval, y S. Espinosa. 2011. Diagnóstico de cacao en México. Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, MEX.
- Barrance, A., J. Beer, O.H. Boshier, J. Chamberlain, J. Cordero, G. Detlefsen, B. Finegan, G. Galloway, M. Gómez, J. Gordon, M. Hands, J. Hellin, C. Hughes, M. Ibrahim, R. Leakey, F. Mesén, M. Montero, C. Rivas, E. Somarriba, y J. Stewart. 2003. Árboles de Centroamérica: Un manual para extensionistas. Oxford Forestry Institute, y CATIE, Turrialba, CRI.
- Barros, O. 1977. Investigaciones sobre el hongo *Monilia royeri* Cif. and Par., causante de la pudrición acuosa de la mazorca del cacao; sus daños y su control. *Cacaotero Colomb.* 3:42-52.
- Beer, J., M. Ibrahim, E. Somarriba, A. Barrance, y R. Leakey. 2003. Establecimiento y manejo de árboles en sistemas agroforestales. Oxford Forestry Institut, y CATIE, Turrialba, CRI.
- CNA (Comisión Nacional del Agua). 1998. Datos meteorológicos del municipio de Tapachula, Chiapas. CNA, MEX.

- Curtis, J.T., and R.P. McIntosh. 1951. An upland forest continuum in the prairie-forest border region of Wisconsin. *Ecology* 32:476-496. doi:10.2307/1931725
- García, E. 1973. Modificaciones del sistema de clasificación climática de Köppen para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, MEX.
- González, F. 2008. Ecofisiología del cacao. Blogspot. <http://diplomado2007unas.blogspot.com/2008/01/ecofisiologia-del-cacao.html> (consultado 20 may. 2018).
- González, J., O. Rodríguez, J. De-La-Cruz, y J. Almonte. 2015. Evaluación de tres densidades de plantación de cacao y dos arquitecturas provenientes de reproducción asexual. *Rev. APF* 4(2):7-12.
- Hernández, E., J. Hernández, C.H. Avendaño., G. López, E.R. Garrido, J. Romero, y C. Nava. 2015. Factores socioeconómicos y parasitológicos que limitan la producción del cacao en Chiapas, México. *Rev. Mex. Parasitol.* 33:232-246.
- IUSS (International Union of Soil Science). 2008. Base referencial mundial del recurso suelo. Informes sobre recursos mundiales de suelos 103. FAO, Roma, ITA.
- Jaimez, R.E., W. Tezara, I. Coronel, y R. Urich. 2008. Ecofisiología del cacao (*Theobroma cacao* L.): su manejo en el sistema agroforestal. Sugerencia para su mejoramiento en Venezuela. *Rev. For. Venezol.* 52:253-258.
- López, O., A. Sandoval, y J. Soto. 1988. Sistemas de producción de cacao (*Theobroma cacao* L.) en la región del Soconusco, Chiapas, México. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Ciudad de México, MEX.
- Pennington, T.D., y J. Sarukhán. 2005. Árboles tropicales de México: manual para la identificación de las principales especies. Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, MEX.
- Ramírez, A., E. García, J.J. Obrador, O. Ruiz, y W. Camacho. 2013. Diversidad florística en plantaciones agroforestales de cacao en Cárdenas, Tabasco, México. *Univ. Cienc.* 29:215-230.
- Roa, H.A., M.G. Salgado, y J. Álvarez. 2009. Análisis de la estructura arbórea del sistema agroforestal de cacao (*Theobroma cacao* L.) en el Soconusco, Chiapas - México. *Acta Biol. Colomb.* 14(3):97-110.
- Salgado-Mora, M.G., G. Ibarra, J.E. Macías-Sámano, y O. López-Báez. 2007. Diversidad arbórea en cacaotales del Soconusco, Chiapas, México. *Interciencia* 32:763-768.
- Sánchez, F., J. Pérez, O. Obrador, J. José, A. Sol, y O. Ruiz. 2016. Árboles maderables en el sistema agroforestal de cacao en Cárdenas, Tabasco, México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 14:2711-2723. doi:10.29312/remexca.v0i14.440.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2018. Intención de cosecha de cultivos perennes por estado en México 2018. SIAP, MEX. http://infosiap.siap.gob.mx/opt/agricultura/intension/Intencion_cosechaPerenne_estado2018.pdf (consultado 24 abr. 2018).
- Silva, C., L. Orozco, M. Rayment, y E. Somarriba. 2013. Conocimiento local sobre los atributos deseables de los árboles y el manejo del dosel de sombra en los cacaotales de Waslala, Nicaragua. *Agrofor. Am.* 49:51-60.
- Somarriba, E. 2002. Estimación visual de la sombra en cacaotales y cafetales. *Agrofor. Am.* 9(35-36):86-94.
- Somarriba, E. 2004. ¿Cómo evaluar y mejorar el dosel de sombra en cacaotales? *Agrofor. Am.* 41-42:122-130.
- Somarriba, E., C. Harvey, M. Samper, F. Anthony, J. Gonzalez, C. Stracer, and R. Rice. 2004. Conservation of biodiversity in neotropical coffee (*Coffea arabica*) plantations. In: G. Schroth et al., editors, *Agroforestry and biodiversity conservation in tropical landscapes*. Island Press, WA, USA. p. 198-226.
- Somarriba, E., y F. Quesada. 2005. El diseño y manejo de la sombra en el cacaotal. CATIE, Turrialba, CRI.
- Schroth, G., U. Krauss, L. Gasparotto, J.A. Duarte, and K. Vohland. 2000. Pest and diseases in agroforestry systems of the humid tropics. *Agroforest. Syst.* 50:199-241. doi:10.1023/A:1006468103914