



## FLORISTIC COMPOSITION AND ARRANGEMENT OF AGROFORESTRY SYSTEMS OF COCOA IN TABASCO, MEXICO †

### [COMPOSICIÓN FLORÍSTICA Y ARREGLO DE SISTEMAS AGROFORESTALES DE CACAO EN TABASCO, MEXICO]

Vanessa Lisbeth Morán-Villa<sup>1\*</sup>; Alejandro Ismael Monterroso-Rivas<sup>2</sup>;  
Jesús David Gómez-Díaz<sup>2</sup>; Sergio Roberto Márquez-Berber<sup>3</sup>  
and Eduardo Valdes-Velarde<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo Km. 38.5 Carretera México-Textcoco, C.P. 56230, México. Email. moranvilla@hotmail.com

<sup>2</sup> Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo Km. 38.5 Carretera México-Textcoco, C.P. 56230, México.

<sup>3</sup> Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo Km. 38.5 Carretera México-Textcoco, C.P. 56230, México.

<sup>4</sup> Centro de Agroforestería para el Desarrollo Sostenible. Universidad Autónoma Chapingo Km. 38.5 Carretera México-Textcoco, C.P. 56230, México

\*Corresponding author

### SUMMARY

**Background.** The floristic composition of the cacao (*Theobroma cacao* L.) agroforestry systems in Tabasco provides a way to describe the genetic and tree diversity of traditional forms of production. Objective. to evaluate how the cacao agroforestry systems are floristically composed in the state. **Methodology.** Thirteen plots were sampled in four municipalities, with a total area of 30.5 ha. The species were counted, and the importance, diameter classes, height, and main uses were estimated. **Results.** Seventeen families and 2370 individuals belonging to 36 species were recorded. The dominant families were Fabaceae and Rutaceae; The species with the highest presence (74.5%) were represented by *Cedrela odorata* L., *Erythrina americana* Mill., *Gliricidia sepium* (Jacq.) Walp., *Tabebuia rosea* (Bertol) DC., *Swietenia macrophylla* Willd., *Cocos nucifera* L., *Colubrina arborescens* (P. Mill) Sarg., *Pimenta dioica* L., *Cecropia obtusifolia* Bertol and *Roystonea dunlapiana* P. H. Allen. In addition to providing shade, trees are used to obtain wood, fruit, fencing, or similar medicinal alternatives. On average, each plot has 46 trees per ha, a diversity of 9 different shade trees in young plantations, and 18 species in mature plantations, demonstrating the variety and floristic richness in the agroecosystem. **Implications.** It lays the foundations for future work that quantifies and enhances the environmental services provided by agroecosystems, as its utility on cacao agroforestry systems to preserve wildlife species. **Conclusion.** More studies should be implemented to deepen the knowledge of cocoa agroforestry systems (CAFS), particularly in quantifying and providing environmental services. Maintaining these CAFS will promote biodiversity and other environmental benefits, such as carbon storage, which with integrative plans, can represent alternative sources of income for producers in a sustainable way.

**Key words:** Tree diversity, Importance value, Dominance, Richness, *Theobroma cacao* L.

### RESUMEN

**Antecedentes.** Conocer la composición florística de los sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao* L.) en Tabasco aporta elementos para describir la diversidad genética de éstos y arbórea de las formas tradicionales de producción. **Objetivo.** Evaluar la estructura, composición y diversidad florística de los sistemas agroforestales de cacao en el estado. **Metodología.** Se muestrearon 13 parcelas en cuatro municipios, con superficie total de 30.5 ha. Se contabilizaron las especies y se estimó el valor de importancia, la estructura horizontal y vertical así como los usos principales. **Resultados.** Muestran que en total se cuantificaron 2370 individuos pertenecientes a 17 familias y a 36 especies. Las familias dominantes fueron Fabaceae y Rutaceae; Las especies más abundantes (67%) fueron: *Cedrela odorata* L., *Erythrina americana* Mill., *Gliricidia sepium* (Jacq.) Walp., *Tabebuia rosea* (Bertol.) DC., *Swietenia macrophylla* Willd., *Cocos nucifera* L., *Colubrina arborescens* (P. Mill) Sarg., *Pimenta dioica* L., *Cecropia obtusifolia* Bertol. y *Roystonea dunlapiana* P H Allen. Además de sombra, los árboles son utilizados para obtener madera, leña, fruta, cercos o medicinas. En promedio, cada parcela presenta 46 árboles por ha, una diversidad de 9 diferentes especies de árboles de sombra en plantaciones jóvenes y 18 especies en plantaciones maduras, lo que demuestra la variedad y

† Submitted June 9, 2021 – Accepted March 11, 2022. <http://doi.org/10.56369/tsaes.3840>



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

ISSN: 1870-0462.

riqueza florística en el agroecosistema ( $H' = 2.95$ , 30-40 años y  $H' = 2.23$ , 50-60 años). **Implicaciones.** Sienta las bases para futuros trabajos que cuantifiquen y potencien los servicios ambientales proveídos por los agroecosistemas, así como su utilidad para la conservación de especies silvestres en los sistemas de producción de cacao. **Conclusión.** Deberán implementarse más estudios para profundizar el conocimiento de los sistemas agroforestales de cacao (SAF-C), particularmente en la cuantificación y provisión de servicios ambientales. Mantener estos SAF-C fomentará la biodiversidad y otros beneficios ambientales, como el almacenamiento de carbono, que con planes integrales pueden representar fuente de ingresos alternos de manera sustentable.

**Palabras clave:** Diversidad arbórea, Valor de importancia, Dominancia, Riqueza, *Theobroma cacao* L.

## INTRODUCCIÓN

Los sistemas agroforestales (SAF) son fuente importante de provisión de servicios ecosistémicos cada vez más reconocidos en el mundo y en México. Contribuyen con la reducción de la vulnerabilidad y el impacto de las actividades humanas sobre ecosistemas frágiles y desempeñan un papel clave en el aumento de la resiliencia de los sistemas ante el cambio climático (Nguyen *et al.*, 2013). Ayudan a mitigar la contaminación ambiental, controlar la erosión del suelo, mantienen hábitats de vida silvestre, facilitan respuestas flexibles a cambios rápidos en las condiciones ecológicas al tiempo que mantienen los recursos de suelo y agua (Beer *et al.*, 1998). Un atributo de los SAF es que incrementan la productividad a través de un aprovechamiento diversificado en menor espacio. Dentro de la composición de los SAF se combinan cultivos anuales y perennes, especies herbáceas y leñosas, en términos del número de especies de plantas, las interacciones biológicas, y las prácticas de manejo, son sistemas complejos (Torquebiau, 2007). Destacan sobre los sistemas tradicionales de producción porque su funcionamiento se basa en las relaciones entre las especies, es decir, son sistemas especializados de cultivo a través de tres aspectos esenciales derivados de los ecosistemas naturales: (i) por las relaciones entre las especies (competencia, facilitación), (ii) ofrecen una alta diversidad biológica constitutiva, y (iii) producen una multiplicidad de productos y servicios ambientales (Malézieux, 2012). En el país cumplen un rol fundamental para el abastecimiento de productos como madera, alimento, forraje, leña, postes, materia orgánica, medicina, cosméticos, aceites y resinas (Beer *et al.*, 2004). Mejoran la estabilidad económica y biológica, recuperan suelos degradados y benefician las propiedades químicas y físicas de los suelos (Torres *et al.*, 2008). Socioculturalmente disminuyen riesgos económicos para las familias al lograr diversificar la producción; emplea mano de obra familiar y mantiene las costumbres sobre las prácticas de uso de la tierra.

Los sistemas agroforestales de cacao (SAF-C) representan una alternativa de uso de la tierra en el sureste del país. Proporcionan diversidad de productos agrícolas y forestales: madera, leña, frutos, forraje, medicinas, sombra para cultivos y animales, protección (en el caso de cortina rompevientos) y mejoramiento del suelo. México es el decimotercer

productor mundial de cacao (ICCO, 2016). Sin embargo, por su calidad, el cacao mexicano es uno de los mejores, como se manifiesta en el reciente logro para el cacao de Tabasco al obtener la denominación de origen como “*Cacao Grijalva*”, único en el mundo (DOF, 2016). Se estima que para el año 2030 el consumo nacional de cacao aumente de 65 a 77 Mt y que la producción nacional se incremente de 26 a 47 Mt (SAGARPA, 2017). Recientemente se impulsa la producción de cacao en los estados de Tabasco y Chiapas para mejorar y aumentar su calidad (SEGOB, 2017). El cacao cultivado en Tabasco significa 69% de la producción nacional, y es seguido por el estado de Chiapas con 30%; juntos constituyen 99% de la producción total (SIAP, 2018).

Los árboles de sombra constituyen un elemento que puede contribuir a la sustentabilidad de este sistema debido a la producción de hojarasca, reciclaje de nutrientes y prevención de erosión de suelos (Alvim y Nair, 1986; Salgado *et al.*, 2007). En este sentido, los SAF-C pueden ser espacios para la conservación de biodiversidad, captura de carbono y amortiguador de condiciones climáticas adversas, aspecto que aún carece de valor para gran parte de las zonas cacaoteras de México y del mundo (Roa *et al.*, 2009; Sánchez-Gutiérrez *et al.*, 2016). También, los SAF-C son sistemas de producción diversificada con mayor capacidad de adaptación ante un clima cambiante (Ramos-Tovar *et al.*, 2015). Por su carácter de sistema sucesional incorpora componentes agrícolas y forestales que le confieren atributos de sostenibilidad por el hecho de diversificar las fuentes de ingreso y por su contribución a la protección/conservación del recurso suelo-agua-aire y ser un reservorio importante del CO<sub>2</sub> atmosférico (Silva *et al.*, 2013). Por lo anterior, el diseño y manejo de los árboles de sombra en SAF-C determinan en gran medida el valor del cacaotal para la conservación, su diversidad funcional y su potencial de provisión de bienes y servicios (Tschardtke *et al.*, 2011; Smith Dumont *et al.*, 2014).

El conocimiento de la estructura y función de los árboles que se utilizan como sombra y, particularmente, la de los SAF-C es relevante para sustentar mejores alternativas de producción en el sureste del país. Al contar con la información anterior permitirá conocer y resaltar la provisión de servicios ecosistémicos por los SAF-C. Ante el reto que significa el aumento de la demanda y calidad de cacao

es necesario contar con información detallada para sustentar la competitividad en un mercado más consciente de la estabilidad del medio ambiente y con preferencia por cultivos que sean manejados de forma amigable y respetuosa con la naturaleza.

En el sureste mexicano, no obstante las condiciones climáticas óptimas para ser productor principal de cacao en la región, la baja rentabilidad de este producto y la alta incidencia de enfermedades, ha propiciado que muchos productores derriben sus plantaciones para destinar el terreno a la siembra de pastos para la ganadería extensiva y el establecimiento de monocultivos más rentables como la palma de aceite, el litchi, rambután, mangostán y por supuesto, el plátano (Díaz José, Porras Umaña, & Aguilar Ávila, 2013). Derivado de esto, en las últimas décadas, el sureste mexicano ha sufrido severos procesos de degradación causada por la intervención humana particularmente por los cambios de uso de suelo y deforestación (Ramos, Palma, Ortiz, Ortiz y Díaz-Padilla, 2004; Sánchez *et al.* 2005).

Hasta ahora no se conoce estudio que incluya diagnóstico sobre la función y estructura de los árboles de sombra que intervienen en la actividad, lo cual dificulta el desarrollo de proyectos o investigaciones para el mejoramiento y el conocimiento de los recursos naturales. Es por ello la importancia de cuantificar los recursos disponibles y crear estrategias de producción para un desarrollo sostenible, con especial énfasis en el estado de Tabasco. Si bien se han realizado algunos estudios sobre la composición florística de los SAF-C, como los desarrollados por Sánchez y colaboradores (2016) mediante los cuales evaluaron los árboles maderables y la estructura arbórea en los SAF-C de Cárdenas, Tabasco, así como al realizado por Salvador-Morales *et al.* (2019) en el que se analizó la diversidad y estructura de la vegetación arbórea de los SAF-C, no se cuenta con suficientes registros que muestren la estructura de los árboles de sombra que son utilizados en el cultivo del cacao de la Región Chontalpa del estado de Tabasco. Por lo que el objetivo del presente fue caracterizar y analizar la estructura y diversidad arbórea del sistema agroforestal de cacao (*Theobroma cacao* L.) en Tabasco para contar con información sobre edad, usos e integración de los SAF-C típicos de la región. Se espera contribuir con información sobre los SAF-C que, en comparación con otros sistemas terrestres, se posicionan como opción importante de mitigación del cambio climático. Además, proveerá de información regional para fomentar la seguridad alimentaria y mantener la biodiversidad sobre y bajo el suelo, manteniendo los corredores entre bosques protegidos como sumideros de metano (CH<sub>4</sub>), la hidrología de las cuencas hidrográficas y la conservación del suelo. Éstos también ayudan a mitigar la demanda de madera y

reducen la presión sobre los bosques naturales (Pandey, 2002; Somarriba *et al.*, 2013).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Zona de estudio

La zona comprende los municipios de Cárdenas, Paraíso, Cunduacán y Comalcalco en el estado de Tabasco (Figura 1). Los sitios fueron seleccionados porque concentran 77% de la superficie sembrada de cacao en el estado (SIAP, 2019) y se ubican entre las coordenadas geográficas 14°52' y 14°55' de latitud norte y 92°10' y 92°29' de longitud oeste. La zona es mayormente plana con escasas elevaciones ligeras en los municipios de Cárdenas y Comalcalco. Se distinguen llanura y pequeños lomeríos (INEGI, 2017). La llanura aluvial es de baja altitud, plana, con suelos profundos y fértiles predominantemente vertisoles, cambisoles y gleysoles, pero con excesos de humedad en la época de lluvias. Fuera de las zonas con SAF-C presenta pastizales introducidos para ganado y cultivos agrícolas diversos tales como cultivos de caña de azúcar, plátano, maíz grano y cítricos (SIAP, 2020). Los pequeños lomeríos registran altitudes entre 20 y 50 msnm, con suelos ácidos de baja fertilidad, predominantemente vertisoles y gleysoles. La vegetación nativa de la zona de estudio está representada mayormente por sabana y pastizales introducidos (Palma-López, *et al.*, 2007; 2011) mientras que en las regiones de selva alta perennifolia los cultivos principales son la caña, el plátano y el cacao. El cultivo anual más importante es el maíz (Miranda y Hernández X, 1963).

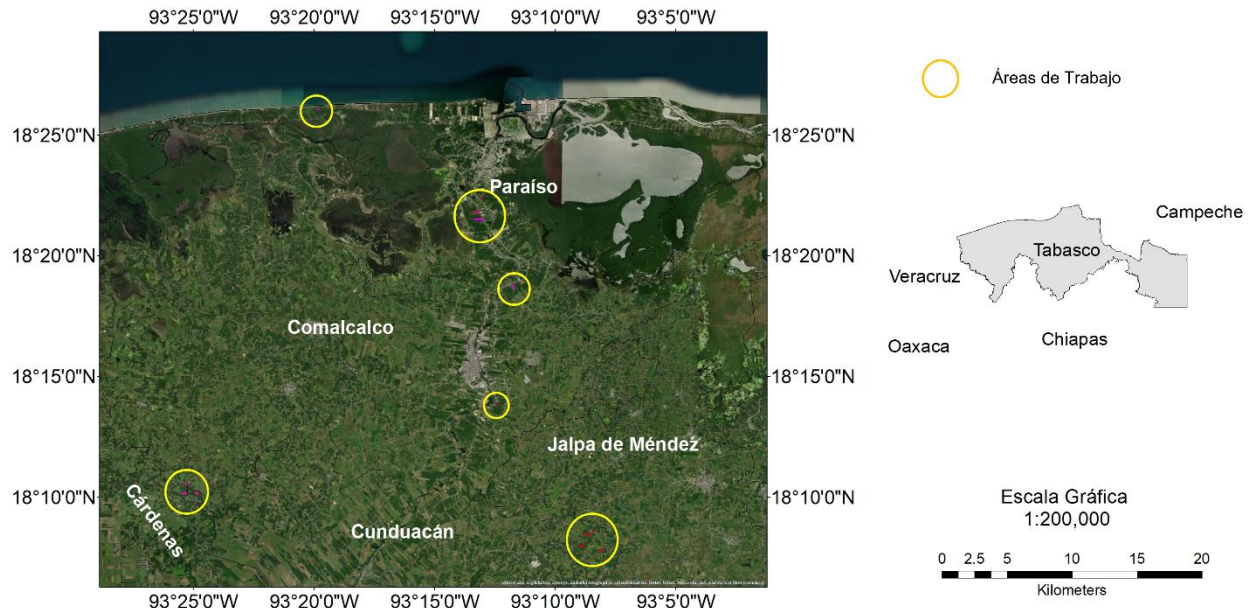
De acuerdo con la clasificación de Köppen modificado por García (1988), el clima predominante es del tipo Am(f) que corresponde a cálido húmedo con lluvias de verano mayores a 10.2% anual. La temperatura media anual es de 26.2 °C con máxima en mayo de 30.6 °C y mínima en enero de 14 °C. La precipitación es en promedio 2052 mm anuales con un máximo mensual de 342 mm en septiembre y mínimo mensual de 6 mm en abril. La lluvia invernal representa el 14.4% del total anual (INEGI, 2017).

### Muestreo de la vegetación

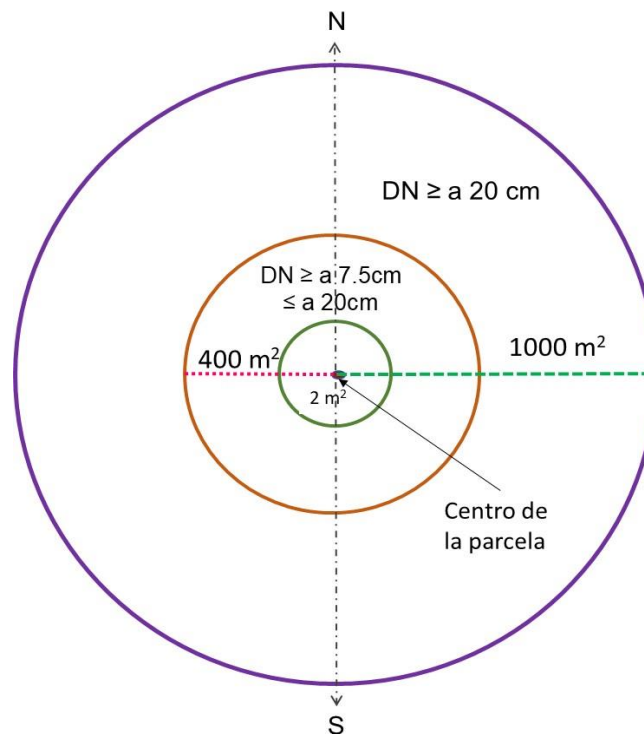
Para conocer la composición florística, diversidad y estructura arbórea de los SAF-C se muestrearon 13 parcelas con una superficie total de 30.5 ha. Las parcelas varían de 1.0 a 8.0 ha. observando un valor medio de 2.5 ha. En cada parcela se estableció 1 punto de muestreo ubicado sistemáticamente en donde el productor señaló que se encontraba el centro de la parcela y dividido en cuatro cuadrantes (PMC, 2011). La forma del área de muestreo para el inventario fue circular y con dos círculos concéntricos: la unidad principal de muestreo fue 1,000 m<sup>2</sup> y la unidad

secundaria de 400 m<sup>2</sup> (Figura 2). Dentro de esta última se tuvieron a su vez otras dos áreas de muestreo, una para la medición de arbustos y otra para el estrato herbáceo en caso de presentarse. Entre el círculo de 1,000 m<sup>2</sup> y el de 400 m<sup>2</sup> se midió y registró sólo el arbolado cuyo diámetro normal (DN) a la altura de 1.3 m sobre la superficie del suelo fue igual o mayor a 20

cm. En el sitio de 400 m<sup>2</sup> se midió y registró el arbolado cuyo DN fue igual o mayor a 7.5 cm y menor o igual a 20 cm. Se registró cada una de las especies de árboles de sombra y arbustos que se encontraron en las parcelas, así como las de cacao. El muestreo tuvo una orientación de norte a sur, de acuerdo con lo sugerido por Woldemariam *et al* (2008).



**Figura 1.** Localización de áreas de trabajo.



**Figura 2.** Diseño metodológico para el muestreo de la vegetación.

En cada unidad de muestreo se realizó un inventario de las especies arbóreas usadas para sombra, así como de los árboles de cacao. Para los árboles de cacao se registró el diámetro normal y altura total; de las especies de sombra se registró el nombre común, el total de plantas y las variables dasométricas altura total y diámetro normal en centímetros. Para estas mediciones se utilizó una cinta diamétrica, mientras que la altura fue estimada mediante un clinómetro tipo Haga. Se registraron los nombres comunes de las especies arbóreas de acuerdo con lo comentado por los productores y se realizó su clasificación taxonómica a nivel de familia, género y especie con ayuda de investigadores de la zona y registros sobre las especies en la zona de estudio.

### Análisis estructural de SAF-C

Para conocer la estructura se calcularon valores de densidad, frecuencia y dominancia por especie, con el fin de obtener el índice de valor de importancia (IVI) que considera la densidad relativa, dominancia y frecuencia relativas (Curtis y McIntosh, 1951; Villavicencio-Enríquez y Valdez-Hernández, 2003). Los valores de frecuencia de cada especie y diversidad de las especies se determinaron con las siguientes fórmulas (Mueller-Dombois y Ellenberg, 1974):

$$Fr = \left( \frac{\text{plantaciones en que está presente la especie}}{\text{No. total de plantaciones}} \right) * 100 \quad (1)$$

$$F_{\text{relativa}} (FR) = \left( \frac{Fr \text{ cada especie}}{Fr \text{ de todas las especies}} \right) * 100 \quad (2)$$

$$\text{Diversidad por especie por plantación} (DR) = \frac{\text{No. especies}}{\text{plantación}} \quad (3)$$

$$\text{Abundancia Relativa (ABR)} = \frac{\text{frecuencia de la especie}}{\text{Total de especies}} \quad (4)$$

De cada individuo se registraron los nombres comunes asignados en la región, mismos que fueron proporcionados por los dueños de las parcelas.

Los individuos registrados se agruparon en familias, géneros y especies, incluyendo nombres comunes y ubicación geográfica de las parcelas donde fueron localizados. Por otra parte, las especies registradas se agruparon de acuerdo con los principales usos alternativos que los productores reportaron.

Los datos dasométricos se ordenaron por parcela y edad de la plantación evaluada. La estructura de los SAF-C se evaluó para cada parcela, así como para los cuatro grupos de edades en conjunto por medio del índice de valor de importancia relativa (IVI), el cual se

estimó a partir del área basal relativa, densidad y frecuencia relativas de especies, calculándose a partir de la ecuación 5.

$$IVI = \frac{ABR + FR + DR}{3} \quad (5)$$

donde ABR es el área basal relativa, FR es la frecuencia relativa y DR es la densidad relativa (Cox 1981). Se realizó una agrupación por edad de la plantación y clase diamétrica de las especies más representativas que, en suma, significan 50% y hasta 75% del IVI, para elaborar histogramas de cada una de ellas.

Los datos de alturas y diámetro normal fueron recabados durante las mediciones realizadas en los recorridos de campo y, mediante la aplicación de entrevistas semiestructuradas a los productores, donde se realizaron los muestreos, se recopiló información para conocer el nivel de manejo que se da al sistema productivo que incluía superficie de la parcela, variedad de cacao, edad de la plantación, prácticas agrícolas, rendimientos estimados, especies asociadas, realización de podas (de manejo o fitosanitarias) a los árboles de cacao y de sombra, deshierbes, manejo del cacao, usos de árboles de sombra, fertilización, entre otros.

### Diversidad, uniformidad y similitud de especies

A partir de la información obtenida se calculó la diversidad de especies, géneros y familias de plantas asociadas al agroecosistema cacao. Para estimar la *heterogeneidad* de las especies se calculó el índice de Shannon-Wiener ( $H'$ ) mediante:

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \ln(P_i) \quad (6)$$

Donde  $P_i$  es igual a la abundancia proporcional de la  $i$ -ésima especie, es decir  $\left(\frac{n_i}{N}\right)$  y  $S$  es el número de especies. La *diversidad de las especies* se calculó mediante el índice de Simpson ( $\lambda$ ) cuyo valor va de 0 a 1: entre más cercano sea el valor a 1 es menor la diversidad del hábitat y cuando el valor se acerca a 0 la diversidad del hábitat es mayor:

$$\lambda = \frac{\sum_{i=1}^S n_i(n_i-1)}{N(N-1)} \quad (7)$$

Donde  $S$  es el número de especies,  $N$  es el total de organismos presentes (o unidades cuadradas) y  $n$  es el número de ejemplares por especie. La *riqueza de especies* ( $D_\alpha$ ) se calculó a través del índice de Margalef, donde  $S$  es el número de especies y  $N$  es el número total de individuos.

$$D_\alpha = \frac{S-1}{\log N} \quad (8)$$

Con el fin de conocer la similitud entre las poblaciones agroforestales de cacao se calculó mediante el *coeficiente de Sorensen* (SI) el cual se basa en la presencia-ausencia de especies entre dos sistemas cuyos valores varían de cero a 1 conforme son más similares (Magurran 1988).

$$SI = \frac{2C}{A+B} \quad (9)$$

El coeficiente de Jaccard (Cj) se basa en la relación de presencia-ausencia entre el número de especies en cada sistema y el número total de especies (Stiling, 1999), dado por:

$$Cj = \frac{c}{A+B-c} \quad (10)$$

Donde A es el número de especies encontradas en el sistema A; B es el número de especies encontradas en el sistema B y C, el número de especies comunes a ambos sistemas. La Equidad (E) o uniformidad se calculó mediante la siguiente ecuación; en donde valores cercanos a 0 representan la dominancia de una sola especie y aquellos con valores cercanos a 1 especies igualmente abundantes.

$$E = \frac{H'}{\ln(S)} \quad (11)$$

Se comparó la varianza de la diversidad de las poblaciones de las cuatro edades. Finalmente, se elaboraron perfiles semirrealistas para representar la diversidad en los SAF-C por grupos de edad de acuerdo con las especies con mayor IVI.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se muestrearon trece parcelas con SAF-C. Los resultados muestran que la edad de las plantaciones de cacao varía de 17 a 60 años con una predominancia de parcelas (7) ubicadas en el rango de edad de 30 a 40 años mientras que la superficie de producción va de 1 a 8 ha (Tabla 1, Anexo 1).

Composición y arreglo de los SAF-C. En cuanto a la composición florística se encontraron 2370 individuos pertenecientes a 36 especies agrupados en 17 familias (Tabla 1, Anexo 2). Lo anterior es parecido con lo descrito por Ramos (2001) en 9 ha de SAF-C al registrar 33 especies pertenecientes a 31 géneros y 17 familias. Las siete especies con el mayor número de individuos del total de los sitios muestreados fueron *Cecropia obtusifolia* Bertol, *Cedrela odorata* L., *Cocos nucifera* L., *Erythrina americana* Mill., *Gliricidia sepium* (Jacq.) Walp., *Swietenia macrophylla* Willd. y *Tabebuia rosea* (Bertol) DC.; las cuales significaron 68 % del total de los árboles registrados. Resultados similares reportaron a *E. americana* como una de las especies de sombra de mayor presencia (Cordova et

al., 2001; Sánchez et al., 2016; Sánchez et al., 2017) en plantaciones de cacao, esto puede deberse a que *E. americana* presenta un rápido crecimiento en comparación con otras especies además de ser utilizada por su importancia como una especie fijadora de nitrógeno.

Las familias predominantes fueron Fabaceae con 5 especies, Rutaceae 5, Malvaceae 3, Arecaceae 3, Anacardiaceae 2, Meliaceae 2 y Myrtaceae con 2 especies. Sin embargo, cada familia está representada de forma diferente dependiendo de la edad de la plantación, sobresaliendo en 3 de los 4 grupos, las familias Meliaceae y Fabaceae. La preferencia de especies de uso maderables como árboles de sombra en el cultivo de cacao fue evidente en todos los sitios de estudio debido a que además de la sombra que proveen son una alternativa económica para los productores. Esto coincide con información reportada por Salvador-Morales et al., 2019; Sánchez Gutiérrez et al., 2017; Ramírez-Meneses et al., 2013, quienes registraron que en sistemas agroforestales de cacao de Tabasco la familia predominante fue Fabaceae. Otros estudios (Orozco y Somarriba, 2003) han reportado que las familias predominantes fueron Moraceae y Anacardiaceae.

Las especies que muestran un mayor IVI son especies casi en su totalidad de índole maderables (*C. odorata*, *E. americana*), excepto por *Cocos nucifera* L. y *Mangifera indica* L., preferidas por los productores por la sombra que les proporcionan y al ser especies que pueden ser fácilmente aprovechables para la venta u obtención de maderas, o en el caso de las especies frutales con un IVI significativo con respecto al resto de las especies encontradas, les proporcionan frutos que pueden ser comercializados fácilmente en la zona y que ayudan a diversificar los ingresos familiares cuando el precio del cacao es bajo o que pueden servir como alimento para la familia. El IVI o valor de importancia de las especies en los diferentes rangos de edad se presenta en el Cuadro 1. En los sitios de  $\geq 10$  a  $\leq 20$  años, las 3 especies que representan el 67% de los individuos son *E. americana*, *S. macrophylla* y *C. odorata*, registrando las dos primeras, las mayores áreas basales con 43.23 y 31.34 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>. En los sitios de  $\geq 20$  a  $\leq 30$  años, las dos especies que representan el 63% del total de los individuos registrados son *C. nucifera* y *E. americana* coincidiendo con Oke y Odebiyi (2007) en SAF de cacao en Nigeria, donde los sistemas de producción cuentan con plantaciones adultas, rendimientos más bajos por hectárea, la falta de implementación de buenas prácticas por parte de los agricultores y la falta de disponibilidad de insumos (Boshler, 2012). En los sitios maduros ( $\geq 30$  y  $\leq 40$  años) el número de especies registrado fue mayor que en el resto de los sitios, contabilizando al menos 20 de las 33 especies además de que el área basal superó 233.7 y 150.63 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>. Diversos estudios han demostrado

**Tabla 1. Densidad, Área basal, abundancia relativa (ABR), frecuencia (FR), dominancia (DR) e índice de valor de importancia (IVI) de las familias arbóreas de los sistemas agroforestales cacao.**

| Edad de la plantación          | Familia       | Especie                                     | Nombre común   | Diámetro (cm) | Altura (m) | Individuos (ha) | Área basal (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> ) | ABR   | DR    | FR    | IVI          |
|--------------------------------|---------------|---|----------------|---------------|------------|-----------------|---|-------|-------|-------|--------------|
| ≥10 y ≤20 años<br>(1 parcela)  | Fabaceae      | <i>Erythrina americana</i> Mill             | Mote           | 39.1          | 11.0       | 60              | 43.23   | 38.19 | 23.08 | 27.27 | <b>29.51</b> |
|                                | Meliaceae     | <i>Swietenia macrophylla</i> Will           | Caoba          | 32.5          | 12.4       | 60              | 31.34   | 27.68 | 23.08 | 27.27 | <b>26.01</b> |
|                                | Meliaceae     | <i>Cedrela odorata</i> L.                   | Cedro          | 14.7          | 8.7        | 50              | 5.06  | 5.36  | 19.23 | 11.36 | <b>11.98</b> |
|                                | Bignoniaceae  | <i>Tabebuia rosea</i> (Bertol.) DC.         | Macuili        | 25.2          | 11.3       | 30              | 4.92  | 8.69  | 11.54 | 6.82  | <b>9.02</b>  |
|                                | Arecaceae     | <i>Roystonea dunlapiana</i> P. H. Allen     | Palma real     | 30.3          | 6.5        | 20              | 2.89  | 7.65  | 7.69  | 9.09  | 8.14         |
|                                | Sapotaceae    | <i>Manilkara zapota</i> L. Royen            | Chicozapote    | 42.0          | 12.0       | 10              | 1.39  | 7.34  | 3.85  | 4.55  | 5.25         |
|                                | Anacardiaceae | <i>Mangifera indica</i> L.                  | Mango          | 31.5          | 10.0       | 10              | 0.78  | 4.13  | 3.85  | 4.55  | 4.17         |
|                                | Fabaceae      | <i>Tamarindus indica</i> L.                 | Tamarindo      | 13.5          | 8.0        | 10              | 0.14  | 0.76  | 3.85  | 4.55  | 3.05         |
|                                | Musaceae      | <i>Musa</i> sp                              | Plátano        | 7.1           | 2.0        | 10              | 0.04  | 0.21  | 3.85  | 4.55  | 2.87         |
| ≥20 y ≤30 años<br>(3 parcelas) | Arecaceae     | <i>Cocos nucifera</i> L.                    | Palma cocotera | 26.63         | 9.98       | 200             | 233.71  | 24.66 | 43.48 | 16.67 | <b>28.27</b> |
|                                | Fabaceae      | <i>Erythrina americana</i> Mill             | Moté           | 48.39         | 8.22       | 90              | 150.63  | 35.31 | 19.57 | 8.33  | <b>21.07</b> |
|                                | Bignoniaceae  | <i>Tabebuia rosea</i> (Bertol.) DC.         | Macuili        | 30.12         | 11.33      | 60              | 27.23   | 9.58  | 13.04 | 16.67 | <b>13.10</b> |
|                                | Meliaceae     | <i>Cedrela odorata</i> L.                   | Cedro          | 39.85         | 10.75      | 40              | 21.19   | 11.18 | 8.70  | 16.67 | <b>12.18</b> |
|                                | Myrtaceae     | <i>Pimenta dioica</i> (L.) Merr.            | Pimienta       | 30.27         | 4.73       | 30              | 7.75  | 5.45  | 6.52  | 8.33  | 6.77         |
|                                | Moraceae      | <i>Artocarpus heterophyllus</i> Lam         | Castaño        | 73.30         | 12.00      | 10              | 4.22  | 8.90  | 2.17  | 8.33  | 6.47         |
|                                | Fabaceae      | <i>Gliricidia sepium</i> (Jacq.) Steud      | Cocohite       | 48.60         | 8.00       | 10              | 1.86  | 3.91  | 2.17  | 8.33  | 4.81         |
|                                | Annonaceae    | <i>Annona reticulata</i> L.                 | Anona          | 20.00         | 8.50       | 10              | 0.31  | 0.66  | 2.17  | 8.33  | 3.72         |
|                                | Rhamnaceae    | <i>Colubrina arborescens</i> (P.Mill) Sarg  | Tatuán         | 14.50         | 8.00       | 10              | 0.17  | 0.35  | 2.17  | 8.33  | 3.62         |
| ≥30 y ≤40 años<br>(7 parcelas) | Fabaceae      | <i>Gliricidia sepium</i> (Jacq.) Steud      | Cocohite       | 29.21         | 10.15      | 200             | 380.76  | 15.32 | 15.04 | 10.53 | <b>13.63</b> |
|                                | Meliaceae     | <i>Cedrela odorata</i> L.                   | Cedro          | 32.73         | 14.53      | 180             | 341.13  | 15.25 | 13.53 | 10.53 | <b>13.1</b>  |
|                                | Fabaceae      | <i>Erythrina americana</i> Mill.            | Moté           | 28.54         | 14.96      | 120             | 108.34  | 7.26  | 9.02  | 8.77  | <b>8.35</b>  |
|                                | Urticaceae    | <i>Cecropia obtusifolia</i> Bertol          | Guarumo        | 30.63         | 6.92       | 130             | 161.14  | 9.97  | 9.77  | 3.51  | <b>7.75</b>  |
|                                | Meliaceae     | <i>Swietenia macrophylla</i> Willd.         | Caoba          | 30.78         | 11.59      | 110             | 97.43   | 7.13  | 8.27  | 7.02  | <b>7.47</b>  |
|                                | Rhamnaceae    | <i>Colubrina arborescens</i> (P. Mill) Sarg | Tatuán         | 28.41         | 13.44      | 90              | 65.32   | 5.84  | 6.77  | 7.02  | <b>6.54</b>  |
|                                | Bignoniaceae  | <i>Tabebuia rosea</i> (Bertol.) DC.         | Macuili        | 28.47         | 18.57      | 70              | 32.02   | 3.68  | 5.26  | 7.02  | <b>5.32</b>  |
|                                | Arecaceae     | <i>Roystonea dunlapiana</i> P.H. Allen      | Palma real     | 26.04         | 13.29      | 70              | 31.49   | 3.62  | 5.26  | 3.51  | <b>4.13</b>  |
|                                | Myrtaceae     | <i>Pimenta dioica</i> L.                    | Pimienta       | 44.33         | 10.33      | 30              | 19.33   | 5.18  | 2.26  | 3.51  | <b>3.65</b>  |
|                                | Arecaceae     | <i>Acrocomia aculeata</i> Lodd. Ex Mart.    | Palma coyol    | 40.17         | 13.00      | 30              | 12.17   | 3.26  | 2.26  | 3.51  | <b>3.01</b>  |
|                                | Anacardiaceae | <i>Spondias mombin</i> L.                   | Jobo           | 28.74         | 3.16       | 50              | 19.02   | 3.06  | 3.76  | 1.75  | <b>2.86</b>  |
|                                | Anacardiaceae | <i>Mangifera indica</i> L.                  | Mango          | 24.67         | 14.33      | 30              | 4.40  | 1.18  | 2.26  | 3.51  | 2.32         |
|                                | Fabaceae      | <i>Diphysa robinoides</i> Benth.            | Chipilin       | 11.25         | 10.00      | 40              | 1.68  | 0.34  | 3.01  | 3.51  | 2.28         |

| Edad de la plantación                             | Familia             | Especie  | Nombre común  | Diámetro (cm) | Altura (m) | Individuos (ha) | Área basal (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> ) | ABR   | DR    | FR    | IVI          |
|---|---------------------|--|---------------|---------------|------------|-----------------|---|-------|-------|-------|--------------|
| continuación...<br>≥30 y ≤40 años<br>(7 parcelas) | Rutaceae            | <i>Citrus x limon</i> (L) Osbeck                   | Limón dulce   | 46.30         | 4.50       | 20              | 6.75  | 2.72  | 1.50  | 1.75  | 1.99         |
|   | Myrtaceae           | <i>Psidium guajava</i> L.                          | Guayaba       | 70.00         | 3.50       | 10              | 3.85  | 3.10  | 0.75  | 1.75  | 1.87         |
|   | Especie desconocida | <i>Sin identificar</i> <sup>1</sup>                |               | 40.25         | 5.75       | 20              | 5.73  | 2.30  | 1.50  | 1.75  | 1.85         |
|   | Lauraceae           | <i>Persea americana</i> Mill                       | Aguacate      | 18.00         | 7.00       | 20              | 1.05  | 0.42  | 1.50  | 3.51  | 1.81         |
|   | Malvaceae           | <i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.                      | Guácimo       | 34.10         | 8.00       | 20              | 3.73  | 1.50  | 1.50  | 1.75  | 1.59         |
|   | Rutaceae            | <i>Citrus aurantifolia</i> (Christm) Swingle       | Limón         | 59.50         | 7.00       | 10              | 2.78  | 2.24  | 0.75  | 1.75  | 1.58         |
|   | Rutaceae            | <i>Citrus aurantium</i> L.                         | Naranja agria | 59.30         | 8.00       | 10              | 2.76  | 2.22  | 0.75  | 1.75  | 1.58         |
|   | Burseraceae         | <i>Bursera simaruba</i> Sarg.                      | Palo Mulato   | 46.00         | 22.00      | 10              | 1.66  | 1.34  | 0.75  | 1.75  | 1.28         |
|   | Malvaceae           | <i>Theobroma bicolor</i> Hump                      | Pataxte       | 44.20         | 9.00       | 10              | 1.53  | 1.23  | 0.75  | 1.75  | 1.25         |
|   | Malvaceae           | <i>Hibicus costatus</i> A. Rich                    | Tulipan       | 35.20         | 14         | 10              | 0.97  | 0.78  | 0.75  | 1.75  | 1.10         |
|   | Rutaceae            | <i>Citrus sinensis</i> L. Osb.                     | Naranja       | 31.80         | 9.00       | 10              | 0.79  | 0.64  | 0.75  | 1.75  | 1.05         |
|   | Verbenaceae         | <i>Cornutia pyramidata</i> L.                      | Robo lagarlo  | 19.30         | 14.00      | 10              | 0.29  | 0.24  | 0.75  | 1.75  | 0.91         |
|   | Especie desconocida | <i>Sin identificar</i> <sup>2</sup>                | Pochicotillo  | 14.60         | 9.00       | 10              | 0.17  | 0.13  | 0.75  | 1.75  | 0.88         |
|   | Fabaceae            | <i>Inga jinicuil</i> Schltdl. & Cham. Ex G. Don    | Jinicuil      | 8.30          | 19.00      | 10              | 0.05  | 0.04  | 0.75  | 1.75  | 0.85         |
| ≥50 y ≤60 años<br>(2 parcelas)                    | Meliaceae           | <b><i>Cedrela odorata</i> L.</b>                   | Cedro         | 40.26         | 15.60      | 50              | 32.71   | 17.67 | 15.63 | 12.50 | <b>15.27</b> |
|   | Fabaceae            | <b><i>Gliricidia sepium</i> (Jacq.) Steud</b>      | Cocohite      | 47.88         | 11.00      | 40              | 35.09   | 23.71 | 12.50 | 6.25  | <b>14.15</b> |
|   | Bignoniaceae        | <b><i>Tabebuia rosea</i> (Bertol.) DC</b>          | Macuili       | 16.32         | 10.83      | 60              | 8.31  | 3.74  | 18.75 | 12.50 | <b>11.66</b> |
|   | Fabaceae            | <b><i>Erythrina americana</i> Mill.</b>            | Mote          | 42.45         | 10.00      | 40              | 22.72   | 15.34 | 12.50 | 6.25  | <b>11.37</b> |
|   | Sapotaceae          | <b><i>Manilkara zapota</i> L. Royen</b>            | Chicozapote   | 62.65         | 12.00      | 20              | 12.49   | 16.88 | 6.25  | 6.25  | <b>9.79</b>  |
|   | Rhamnaceae          | <b><i>Colubrina arborescens</i> (P. Mill) Sarg</b> | Tatuán        | 25.15         | 11.00      | 20              | 1.99  | 2.68  | 6.25  | 12.50 | <b>7.14</b>  |
|   | Anacardiaceae       | <i>Spondias mombin</i> L.                          | Jobo          | 25.00         | 5.67       | 30              | 4.48  | 4.03  | 9.38  | 6.25  | <b>6.55</b>  |
|   | Myrtaceae           | <i>Pimenta dioica</i> L.                           | Pimienta      | 63.50         | 13.00      | 10              | 3.17  | 8.56  | 3.13  | 6.25  | 5.98         |
|   | Arecaceae           | <i>Roystonea dunlapiana</i> P.H. Allen             | Palma real    | 39.00         | 13.00      | 10              | 1.19  | 3.23  | 3.13  | 6.25  | 4.20         |
|   | Urticaceae          | <i>Cecropia obtusifolia</i> Bertol                 | Guarumbo      | 33.10         | 10.00      | 10              | 0.86  | 2.33  | 3.13  | 6.25  | 3.90         |
|   | Rutaceae            | <i>Citrus x reticulata</i> Blanco                  | Mandarina     | 21.00         | 7.00       | 10              | 0.35  | 0.94  | 3.13  | 6.25  | 3.44         |
|   | Anacardiaceae       | <i>Mangifera indica</i> L.                         | Mango         | 19.10         | 8.00       | 10              | 0.29  | 0.77  | 3.13  | 6.25  | 3.38         |
|   | Malvaceae           | <i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.                      | Guácimo       | 7.60          | 7.00       | 10              | 0.05  | 0.12  | 3.13  | 6.25  | 3.17         |

\*Especies en negritas son aquellas que representan el 75% de Índice de Valor de Importancia (IVI) por grupo de edad.



los beneficios de la diversidad de árboles de alta sombra para el cacao, como la supresión de malezas y plagas, ayudan al reciclamiento de nutrientes del suelo y la reducción del estrés fisiológico del cacao. En los sitios de  $\geq 50$  a  $\leq 60$  años, se registraron el 39% del total de las especies, siendo la de mayor importancia (IVI 15.27, ABR 17.7) *C. odorata* pero la que presentó mayor abundancia de individuos fue *G. sepium* (ABR 23.7, IVI 14.15).

Las especies arbóreas pertenecientes a la familia Fabaceae mejoran los nutrientes del suelo mediante la fijación de nitrógeno, proporcionan sombra rápida, mantienen el suelo a su alrededor fresco y húmedo, o son fuentes importantes de material de construcción local y madera comercial (Asase *et al.*, 2009). Los usos más comunes de los árboles de sombra son medicinales, producción de madera (cercos, casas) frutales, ornamentales y condimentos (Anexo 2). Tschardt *et al.*, (2011) afirman que el mantenimiento de árboles maderables de alto valor, como los registrados en este estudio, sirven como un fondo de inversión para los productores de cacao y sus familias.

Algunos productores reportan baja en la producción (menos de 300 kg ha<sup>-1</sup>) debido a la edad de las plantaciones, así como a problemas fitosanitarios derivados de la presencia de moniliasis. Patiño *et al.* (2018), observó que el cacao reduce su producción después de 25 años por lo que algunas parcelas requieren ser renovadas. La producción obtenida por ciclo promedio es de 750 kg ha<sup>-1</sup> de grano de cacao seco.

Sobre la estructura vertical y horizontal los resultados se presentan en la figura 3a y 3b. La altura total promedio del componente arbóreo fue de 10.88 m, predominando en los cinco rangos de altura, la de 5-10 m, que corresponde al 49 % del total de los individuos registrado y al 44 % del total de las especies encontradas en los SAF-C estudiados. En el rango de 0.5 a  $\geq 5$  m se registró un 6.7% de los individuos por hectárea significando el 11.8 % de las especies reportadas mientras que en el rango de altura de 10 a 15 m se concentró el segundo mayor porcentaje con 31.2 % de los individuos, lo cual representa el 38.2% de las especies y el 12.6 % restante correspondió a los rangos de 15 a 20 m (8.4% individuos, 2.94 % especies) y mayores a 20 m (4.2 % individuos, 2.94% especies). Derivado de esto, se diferenció el componente arbóreo en tres estratos: inferior ( $\leq 5$  m), medio ( $>5$  m y  $\leq 10$  m) y superior ( $>10$  m).

En cuanto a los valores de diámetro a la altura del pecho (DAP), el promedio del total de las especies fue de 31.45 cm, variando de 2 a 83.5 cm. En el grupo de

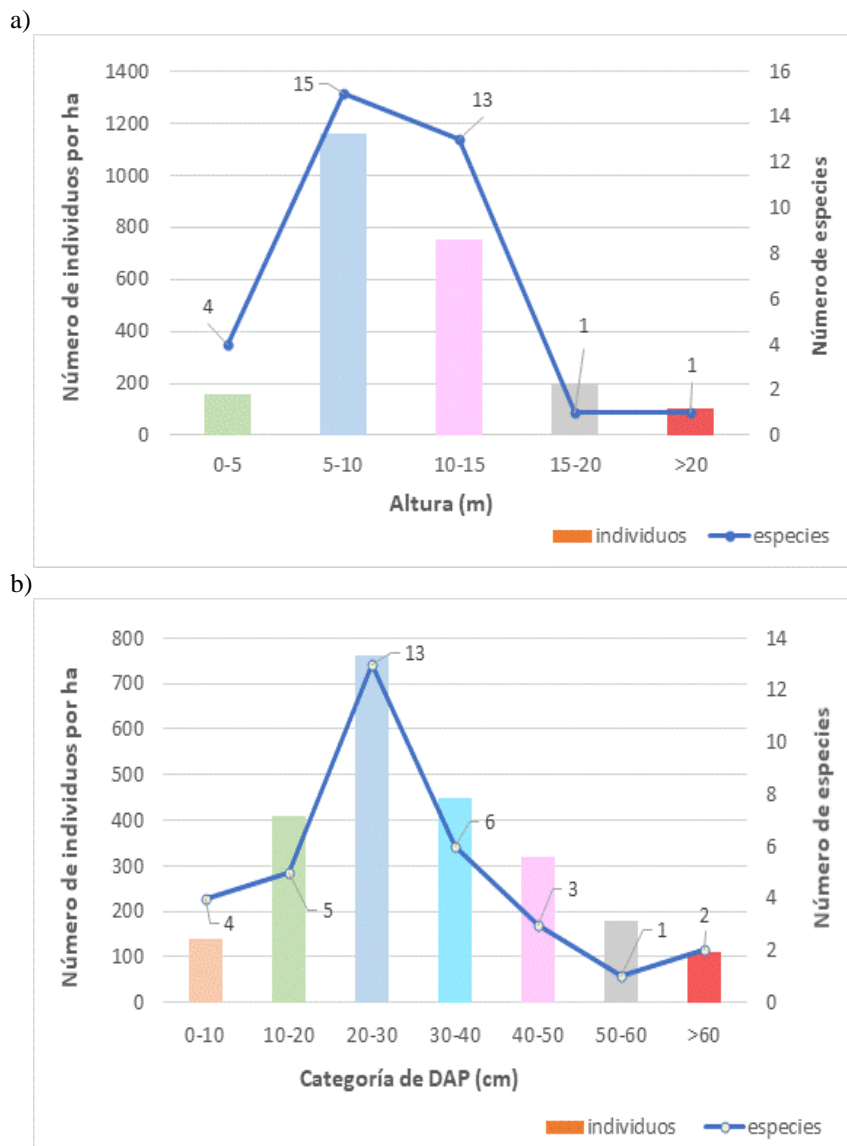
10-20 años, el DAP con mayor número de individuos se obtuvo entre los 30-40 cm de DAP representando el 46% del total. En el grupo de 20-30 años, el 37% de los individuos se encontró en la categoría de 20-30 cm DAP. Para el grupo de 30-40 años, los DAP variaron desde los 2 cm hasta por arriba de 60cm, distribuyéndose el 51% de los individuos entre las categorías de 10-20 cm (21%) y de 20-30 cm (30%). Finalmente, en el grupo de 50-60 años, el mayor número de individuos se registró en la categoría de 20-30 cm (30.3%) (Figura 3b).

En cuanto a la estructura vertical y horizontal entre la categorización de las parcelas de acuerdo con las edades, se obtuvo que el mayor número de individuos se concentra en el rango de altura de 5 a 10 m en las cuatro categorías de edad y en cuanto a la estructura horizontal, el mayor número se concentró en el rango de 20 a 30 cm. En ambos casos, las parcelas agrupadas en la categoría de 30 a 40 años son las que sobresalen con respecto al resto, esto es debido a que más del 50 % de las parcelas se ubicaron en este rango de edad (Figura 4a y 4b).

Los SAF ubicados en la localidad Santana del municipio de Cárdenas registraron mayor AB, con un valor medio de 64.3 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> por las especies *Erythrina americana* y *Gliricidia sepium* que fueron las predominantes; la menor AB la presentaron los SAF-cacao ubicados en Huimango con 3.7 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>. La altura promedio para los árboles de sombra varió de 0.7 m a 24 m, donde las especies que registran más altura fueron *Roystonea dunlapiana*, *Tabebuia rosea*, *Cedrela odorata* y *Swietenia macrophylla* con 24, 23 y 22 m respectivamente.

Los resultados del presente estudio son comparables a los estudios realizados en sistemas agroforestales de cacao en África y otros sistemas como el café, y los olivares. Del mismo modo, Bandanaa *et al.*, (2014) informaron una mayor diversidad de especies en las parcelas de cacao de la región Ashanti de Ghana, donde los productores de cacao buscan explotar los beneficios adicionales que conlleva la introducción o mantenimiento de una mayor diversidad de árboles de sombra en sus parcelas. En general, la gran riqueza y diversidad de especies en los cacaotales estudiados muestran el potencial que estos sistemas tienen para la conservación de especies arbóreas (Gockowski *et al.*, 2010).

Derivado de lo anterior, se diseñaron cuatro perfiles semirealistas de los estratos y los arreglos forestales del SAF-C que se encuentran en las parcelas estudiadas, las cuales se muestran en la figura 5.

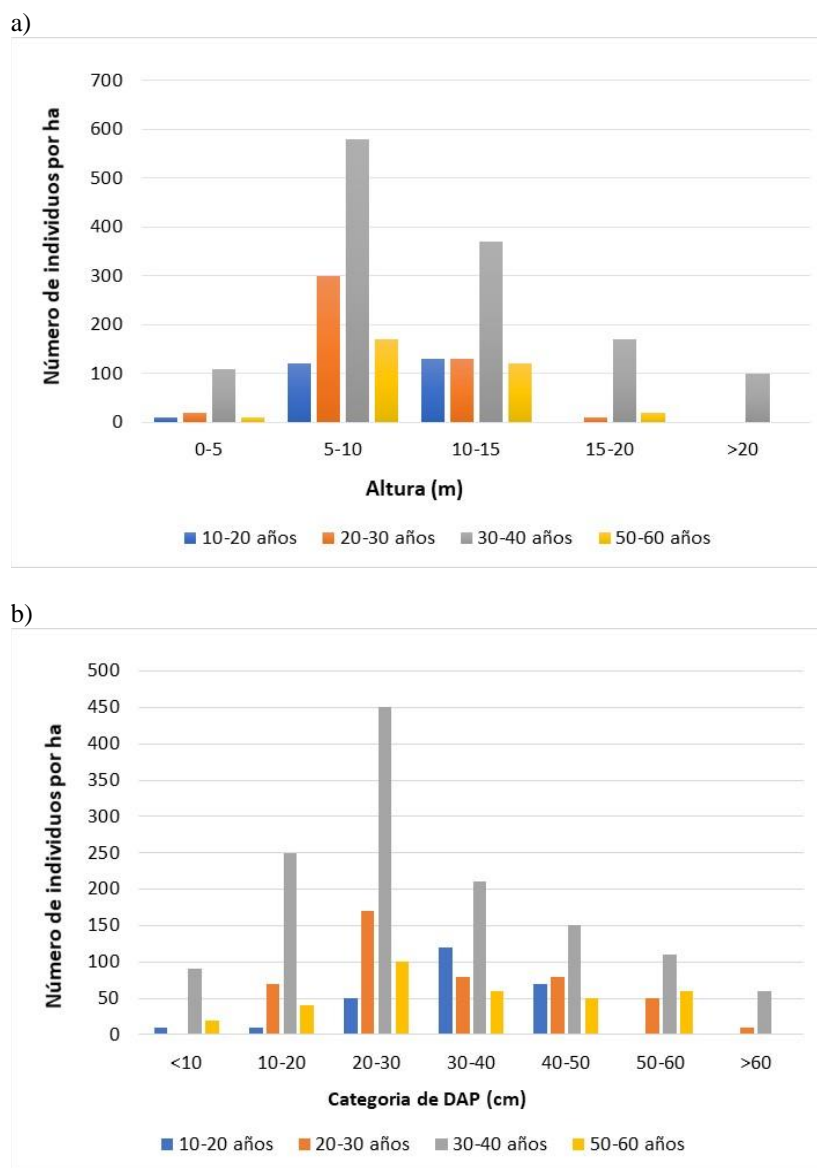


**Figura 3.** Estratificación vertical del componente arbóreo (a) y estructura horizontal (b).

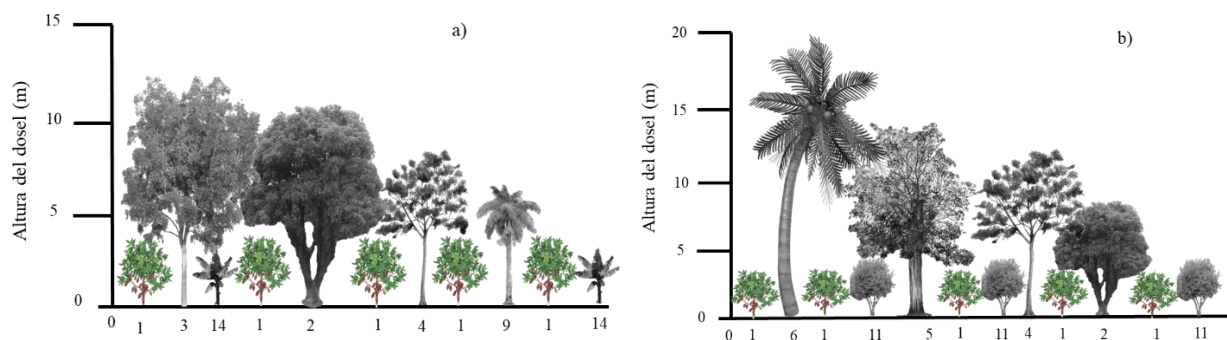
El perfil mostrado en el inciso a) de la figura 5, al ser el más joven, el arreglo del SAF-C presentó un menor número de especies en comparación con el resto de los perfiles (Figura 4b, c y d), en contraste con el perfil c), donde el SAF-C cuenta con un gran número de árboles de sombra para distintos usos, lo que a su vez podría afectar la producción de cacao al tener una mayor cobertura a la deseada, generando algunos problemas fitosanitarios como la presencia en mayor índice de moniliasis o de manejo, ya que, al existir tantos árboles en el estrato superior, complica las labores de podas para manejo de sombra y fitosanitarias.

En cuanto a los valores obtenidos de los índices de diversidad de Shannon-Wiener ( $H'$ ) los SAF-C con edades entre 30 y 50 años tienden a tener una mayor

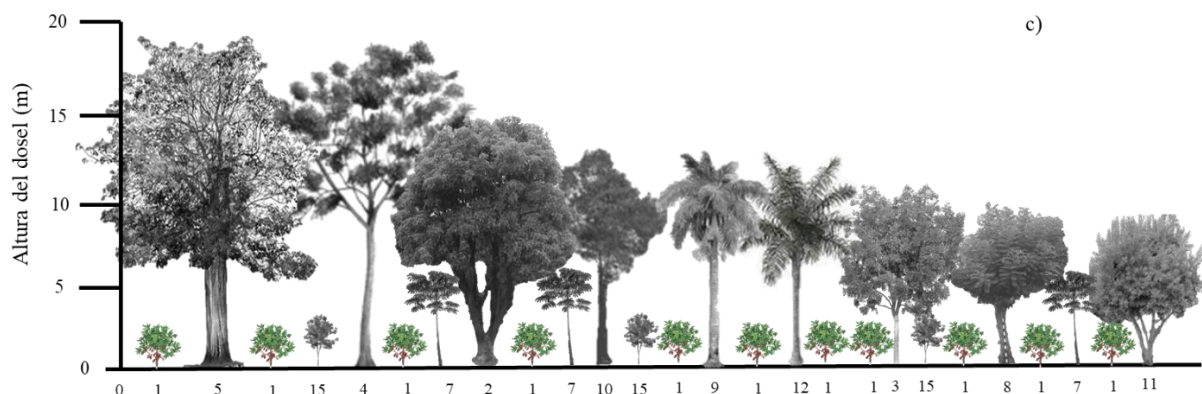
diversidad de especies ( $H'=2.95$ , 30-40 años y  $H'=2.23$ , 50-60 años) comparados con los que tienen entre 10-20 años ( $H'=1.94$ ) y 20-30 años ( $H'=1.72$ ). Lo anterior coincide con lo reportado por Salgado *et al.*, (2007) donde encontraron que la diversidad forestal de sistemas agroforestales de cacao en la Región de Soconusco, Chiapas varió de 2.74 a 2.99. Zarco-Espinoza *et al.*, (2010) analizaron la diversidad de la vegetación arbórea en Macuspana, Tabasco registrando valores de diversidad similares a los encontrados por estos estudios por lo que podría relacionarse la diversidad vegetal con la intensidad de manejo que se les da a los sistemas, provocando así una disminución de la diversidad arbórea a medida que se intensifica el manejo de los sistemas de producción de cacao.



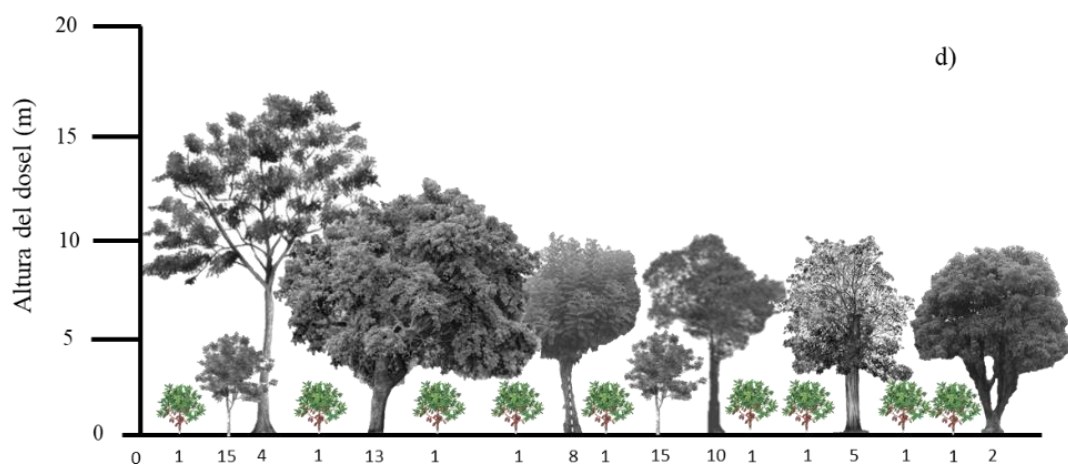
**Figura 4.** Estratificación vertical por rango de edades del componente arbóreo (a) y estructura horizontal (b).



**Figura 5a y b.** Perfiles semirealistas según los estratos y arreglos del SAF-C. **a)** Edad de la plantación de **10 a 20** años, Estrato inferior: 1. Cacao (*Theobroma cacao*), 14. Plátano (*Musa* sp); Estrato medio: 9. Palma real (*Roystonea dunlapiana*), 4. Cedro (*Cedrela odorata*); Estrato superior: 2. Moté (*Erythrina americana*), 3. Caoba (*Swietenia macrophylla*). **b)** Edad de la plantación de **20 a 30** años, Estrato inferior: 1. Cacao (*Theobroma cacao*), 11. Pimienta (*Pimenta dioica*); Estrato medio: 2. Moté (*Erythrina americana*); Estrato superior: 6. Palma cocotera (*Cocos nucifera*) 5. Macuilí (*Tabebuia rosea*), 4. Cedro (*Cedrela odorata*).



**Figura 5c.** Perfiles semirealistas según los estratos y arreglos del SAF-C. Edad de la plantación de **30 a 40** años; Estrato inferior: 1. Cacao (*Theobroma cacao*), 15. Jobo (*Spondias mombin*); Estrato medio: 7. Guarumbo (*Cecropia obtusifolia*), 11. Pimienta (*Pimenta dioica*), 8. Cocohite (*Gliricidia sepium*); Estrato superior: 3. Caoba (*Swietenia macrophylla*), 9. Palma real (*Roystonea dunlapiana*), 12. Palma coyol (*Acrocomia aculeata*), 10. Tatuán (*Colubrina arborescens*), 2. Moté (*Erythrina americana*), 4. Cedro (*Cedrela odorata*), 5. Macuilí (*Tabebuia rosea*).



**Figura 5d.** Perfiles semirealistas según los estratos y arreglos del SAF-C. Edad de la plantación de **50 a 60** años. Estrato inferior: 1. Cacao (*Theobroma cacao*), 15. Jobo (*Spondias mombin*); Estrato medio: 2. Moté (*Erythrina americana*); Estrato superior: 5. Macuilí (*Tabebuia rosea*), 8. Cocohite (*Gliricidia sepium*), 10. Tatuán (*Colubrina arborescens*), 13 Chicozapote (*Manilkara zapota*), 4. Cedro (*Cedrela odorata*).

El comportamiento del índice de diversidad (Tabla 2) también se comprueba con los valores obtenidos del índice de Simpson ( $\lambda$ ), donde la categoría de 30-40 años ( $\lambda=0.09$ ) es la que tiene una mayor diversidad de especies comparada con las categorías de 50-60 años ( $\lambda=0.11$ ), 10-20 años ( $\lambda=0.17$ ) y finalmente la más homogénea en su composición es la categoría de 20-30 años ( $\lambda=0.22$ ).

En cuanto a los resultados de equidad de especies, muestran que las especies son igualmente dominantes en la mayoría de las categorías, sin embargo, es mayor la equidad en aquellos cuya edad ronda entre los 30-40 años ( $E=0.98$ ), disminuyendo ligeramente en aquellos de las categorías 10-20 años y 50-60 años ( $E=0.88$  y  $0.87$ , respectivamente), mientras que en la categoría de 20-30 años, aunque se muestra una equidad ( $E=0.78$ ),

existe la dominancia de algunas especies. Los resultados para los índices de Sorensen y Jaccard entre las cuatro categorías de edades, indicaron que los SAF de cacao indican en su mayoría, una tendencia hacia la similitud media de especies que presenta cada categoría.

Como se observa, la diversidad de los SAF cacao entre las categorías de edad muestran diferencias. Estos hallazgos concuerdan con lo reportado por otras investigaciones realizadas en sistemas cacaotales del estado de Tabasco. Salvador-Morales *et al.*, (2019) reportan que la diversidad en SAF-C con una edad de 40 años tiene valores más altos de diversidad que aquellos más jóvenes o viejos e incluso que son ligeramente más equitativos que las categorías por debajo de los 30 años.

**Tabla 2. Diversidad ( $H'$ ,  $\lambda$ ), Riqueza ( $D\alpha$ ), Equidad ( $E$ ) y Similitud de especies ( $SI$ ,  $Cj$ )**

| Categoría      | $H'$ | $\lambda$ | $D\alpha$ | $E$  |
|----------------|------|-----------|-----------|------|
| 10-20 años     | 1.94 | 0.17      | 1.44      | 0.88 |
| 20-30 años     | 1.72 | 0.22      | 1.27      | 0.78 |
| 30-40 años     | 2.95 | 0.09      | 3.03      | 0.97 |
| 50-60 años     | 2.23 | 0.11      | 2.08      | 0.87 |
|                | $SI$ |           | $Cj$      |      |
| 10-20 vs 20-30 | 0.33 |           | 0.20      |      |
| 10-20 vs 30-40 | 0.33 |           | 0.19      |      |
| 10-20 vs 50-60 | 0.55 |           | 0.38      |      |
| 20-30 vs 30-40 | 0.40 |           | 0.25      |      |
| 20-30 vs 50-60 | 0.55 |           | 0.38      |      |
| 30-40 vs 50-60 | 0.53 |           | 0.36      |      |

Las parcelas jóvenes presentan un IVI mayor en especies que les representan una alternativa de comercialización de madera, así como de aprovisionamiento de esta para uso doméstico. La dominancia por las especies frutales (tales como coco, mango y jobo), se presenta de manera general en todos los sitios concordando con lo reportado por Asigbaase *et al.*, (2019) y Tondoh *et al.*, (2015) lo cual podría ser un indicativo de la transformación deliberada del paisaje por parte de los agricultores para reemplazar las especies nativas que tradicionalmente se han cultivado (macuilís, macayo, palo mulato, palma real, guácimo, ceiba, acacias) con cacao a especies que proporcionan beneficios alimenticios y medicinales (Dawoe *et al.*, 2016). Se ha demostrado que la edad de las plantaciones de cacao cumple un rol importante en las plantaciones de la zona de trabajo, no solo por la diversidad de especies de árboles de sombra y la finalidad que los productores persiguen, si no la significativa influencia que tienen la edad sobre la productividad de las plantaciones y los bajos rendimientos que se ha demostrado tienen las plantaciones mayores a 25 años (Patiño *et al.*, 2018). Si bien las plantaciones mayores de 25 años pueden ser rentables, es indispensable que estas cuenten con buenas prácticas agrícolas para asegurar rendimientos similares a los que tienen las plantaciones jóvenes o incluso mayores (Jagoret *et al.*, 2011).

El manejo de los cacaotales proporciona una mediación entre el desarrollo agrícola y la conservación, facilitando la cooperación y la colaboración entre los productores y los conservacionistas (Parrish *et al.*, 1999). Algunos estudios han permitido conocer que los cacaotales mantienen una amplia diversidad de aves, murciélagos, mamíferos no voladores e invertebrados, similar a la de los bosques naturales y superior a las de otros hábitats agrícolas de uso más intensivo (Rice y Greenberg, 2000; Ibarra y Estrada, 2001).

Los productores de cacao de la región han expresado que prefieren especies maderables y frutales ya que tienen un uso variado, ya que pueden ser utilizadas para madera, pilares para construir casas, mangos de herramientas, postes para cercos, la producción de frutos, sombra para cacao, leña, ornamentales y techos para casas además de no necesitar un gran número de especies ya que darles el manejo agrícola a las parcelas de producción, involucraría contratar jornales debido a que los jóvenes se van de la zona buscando trabajos mejor remunerados y mejores oportunidades de desarrollo, reflejándose en el abandono casi total de algunas parcelas. Para tratar de solventar esta problemática, en el año 2016, el gobierno federal y el gobierno del estado de Tabasco, impulsaron la declaración de la denominación de origen del cacao de Tabasco, con la intención de darle proyección al cultivo y evitar así la migración de los jóvenes hacia otras regiones o países, sin embargo, los rendimientos del cacao convencional se ven afectados por la edad de las plantaciones, altura de los árboles, regulación de sombra y manejo de humedad del suelo; propiciando una mayor presencia de moniliasis (*Moniliophthora roreri*) y otras enfermedades. Aunado a esto, las prácticas agrícolas que realizan los productores no se registran en bitácoras o se realizan conforme a una programación preestablecida, sino en base a lo que el productor considera que le hace falta, provocando que, en algunos casos, los problemas fitosanitarios mermen la producción hasta en un 60%, y sumado al bajo precio de comercialización del cacao, las ganancias obtenidas por la venta de cacao sean muy bajas y haga al cultivo de cacao poco redituable para continuar con ello.

El gobierno de México en su búsqueda por impulsar el arraigo y mantenimiento de los sistemas de producción de cacao, ha desarrollado e implementado en los últimos años, programas federales orientados a pequeños productores (hasta 20 hectáreas), canalizando los apoyos productivos para impulsar las prácticas agroecológicas y sustentables, la conservación del suelo, el agua y la agrobiodiversidad, alentando la autosuficiencia en la producción de semillas y otros insumos, así como en maquinaria y equipo apropiado a la agricultura de pequeña escala, entre otros. Sin embargo, estos programas no han tenido el éxito esperado debido a que en su planeación inicial no contemplaron a aquellos productores con superficies menores a las 2.5 hectáreas y que ya tuvieran establecido un sistema agroforestal. Uno de estos programas es **Sembrando Vida**, el cual es un programa dirigido a los productores poseedores de 2.5 hectáreas para impulsar su participación en el desarrollo rural integral, incentivando el establecimiento de sistemas productivos agroforestales combinando la producción de los cultivos tradicionales en conjunto con árboles frutícolas y maderables, y el sistema de Milpa Intercalada entre Árboles Frutales (MIAF), cuyo propósito es generar empleos, mejorar

los ingresos de los pobladores y recuperar la cobertura forestal de un millón de hectáreas en el país.

## CONCLUSIONES

En este estudio se caracterizó la composición y estructura arbórea de los sistemas agroforestales de cacao en el estado de Tabasco, así como también se presentaron los perfiles en los que se muestra el arreglo por edad. Lo anterior permitió una mejor comprensión de los SAF. La diversidad y abundancia de especies fue mayor en parcelas en el rango de 30 a 40 años y menor en los sistemas más jóvenes (10-20 años), haciéndolos más rentables en términos de la cantidad de carbono que pueden almacenar y el número de leñosas que son útiles en términos de conservación de especies. Fue posible identificar las principales especies y sus usos secundarios en los sistemas tradicionales de producción de cacao. Las especies arbóreas juegan un papel importante para la conservación de la biodiversidad y disponibilidad de germoplasma en la región. Si bien el cacao tiene un alto valor cultural se encontraron plantaciones de mayor edad (más de 40 años) y poco manejo, lo que pone en riesgo su producción y a las familias que lo trabajan; por lo que es necesaria la implementación, por parte de los productores, de programas de manejo que atiendan de manera inmediata los problemas que afectan la productividad de estos sistemas. Se sugiere la urgencia de atención con políticas incluyentes y específicas para el sistema cacao ya que cuando a estas plantaciones no se les rehabilita y se da un manejo integral, la moniliasis reduce la cosecha entre 50% y 80%. La implementación de programas de manejo adecuados de los sistemas agroforestales fomentará y mantendrá los beneficios ambientales que conlleva conservar estos sistemas, como el almacenamiento de carbono, que con planes integrales pueden representar fuente de ingresos alternos al aprovechar los árboles de sombra de manera sustentable aunado a la preservación de la biodiversidad. La diversidad arbórea en la producción de cacao son ejemplos de sistemas agrícolas resilientes y que promueven la captura de carbono, siendo una herramienta en la mitigación del cambio climático. En el futuro, las próximas investigaciones deberían concentrarse en los servicios ambientales proporcionados por estos sistemas como alternativa, dado que la estructura boscosa de los cacaotales los convierte en sumideros de carbono, además también pueden proveer otros servicios como abastecimiento de agua, paisajismo, calidad de aire o medicinas, ofrecer mejores oportunidades para la polinización y favorecer la descomposición del mantillo y la circulación de nutrientes. Esta diversificación, permitiría crear y fortalecer las empresas familiares y agrupaciones de productores, dirigidas a buscar valores agregados, mediante su transformación, y

acceder a otros eslabones productivos e incluso especializados.

## Agradecimientos

A los integrantes y productores de la organización Orgánicos de la Chontalpa A.C. y a los productores de cacao no agremiados, que de manera desinteresada proporcionaron información sin la cual este estudio no hubiera sido posible. A la Universidad Autónoma Chapingo a través de los Departamentos de Fitotecnia y Suelos, al Instituto Tecnológico de la Zona Olmeca (ITEZO), así como al Programa de Doctorado en Agricultura Multifuncional para el Desarrollo Sostenible. A los revisores anónimos cuyos comentarios ayudaron a mejorar el manuscrito.

**Funding statement.** Funding was obtained from the National Council of Science and Technology (CONACYT-Mexico), through the scholarship grant to the first author.

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

**Compliance with ethical standards.** The authors declared have been fulfilled within the international and national regulations and have previous authorizations by the producers to make semi-structured interviews to know the real status and condition the cocoa plots/parcels have.

**Data availability:** Data are available with Vanessa Lisbeth Morán-Villa (moranvilla@hotmail.com) upon reasonable request.

**Author contribution statement (CRediT).** V. L. Morán-Villa – Conceptualization, Data curation, Investigation, Formal analysis, Writing-original draft, A. I. Monterroso-Rivas – Supervision, Conceptualization, Funding acquisition, Validation, Writing-review & editing; J. D. Gómez-Díaz – Methodology, Resources, Writing-review & editing; S. R. Márquez-Berber – Funding acquisition, Writing-review & editing; E. Valdes-Velarde – Writing-review & editing.

## REFERENCIAS

- Alvim, R. and Nair, P.K.R., 1986. Combination of cocoa with other plantations crops. *Agroforestry Systems*, 4, pp.3-15. <https://doi.org/10.1007/BF01834698>
- Asase, A., Ofori-Frimpong K. and Ekpe K.P., 2009. Impact of cocoa farming on vegetation in an agricultural land- scape in Ghana. *African Journal of Ecology*, [e-journal] 48, pp.338–346. <https://doi.org/10.1111/j.1365->

- 2028.2009.01112.x
- Asigbaase, M., Sjogersten, S., Lomax, B.H. and Dawoe, E., 2019. Tree diversity and its ecological importance value in organic and conventional cocoa agroforests in Ghana. *PLoS ONE*, 14(1), pp. 1-19. e0210557. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0210557>
- Bandanaa, J., Egyir, I.S. and Asante, I., 2014. Cocoa farming households in Ghana consider organic practices as climate smart and livelihoods enhancer. *Agriculture and Food Security*, 5(29), pp.1-9. <https://doi.org/10.1186/s40066-016-0077-1>
- Beer, J., Ibrahim, M., Somarriba, E., Barrance, A. and Leakey, R., 2004. Establecimiento y manejo de árboles en sistemas agroforestales. In: J. Cordero y D. Boshier (eds), *Árboles de Centroamérica*. OFI-CATIE. Turrialba, Costa Rica. pp 197-242.
- Boshier D., 2012. *Conservación de la diversidad de especies arbóreas en cacao agroforestal en Nigeria. Estudio de caso y notas para el profesor*. En: Manual de Formación en Recursos Genéticos Forestales. Editado por D. Boshier, M. Bozzano, J. Loo, P. Rudebjer. Bioversity International, Roma, Italia. Available at <http://forest-genetic-resourcestraining-guide.bioversityinternational.org/>
- Córdova, A.V., Sánchez, H.M., Estrella, C.N.G., Macías, L.A., Sandoval, C.E., Martínez, S.T. and Ortíz, G.C.F., 2001. Factores que afectan la producción de cacao (*Theobroma cacao* L) en el ejido de Francisco I. Madero del Plan Chontalpa, Tabasco, México. *Universidad y Ciencia*, 17(34), pp. 93-100. Available at: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=15403405>
- Cox, W.G., 1981. *Laboratory manual of general ecology*. William C. Brown Co. Publishers. Iowa, USA. 230 pp.
- Curtis, J. and McIntosh, R.P., 1951. An upload forest continuum in the prairie-forest border region of Wisconsin. *Ecology*, 32(3), pp. 476-496. Available at: <http://www.jstor.org/stable/1931725>
- Dawoe, E., Asante, W., Acheampong, E. and Bosu P., 2016. Shade tree diversity and aboveground carbon stocks in Theobroma cacao agroforestry systems: implications for REDD+ implementation in a West African cacao landscape. *Carbon Balance Manage* 11, 17, pp.1-13. <https://doi.org/10.1186/s13021-016-0061-x>
- Diario Oficial de la Federación (DOF)., 2016. *Declaración general de protección de la Denominación de Origen "CACAO GRIJALVA"*. Villahermosa, Tabasco, México. Fecha de publicación 29/08/2016. Available at: [http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5449991&fecha=29/08/2016](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5449991&fecha=29/08/2016)
- Díaz-José, O., Porras-Umaña, V.H. and Aguilar-Ávila, J., 2013. *El cacao (Theobroma cacao L): avances y retos en la gestión de la innovación*. 1a ed. Universidad Autónoma Chapingo: CIESTAAM.
- Gockowski, J. and Sonwa, D., 2010. Cocoa intensification scenarios and their predicted impact on carbon dioxide emissions, biodiversity conservation, and rural livelihoods in the Guinea Rain Forest of West Africa. *Environmental Management*, 48(2), pp.307-321 <https://doi.org/10.1007/s00267-010-9602-3>
- Ibarra, M.A. and Estrada, M., 2001. Avifauna asociada a dos cacaotales tradicionales en la región Chontalpa, Tabasco, México. *Universidad y Ciencia*, 17(34), pp.101-112 <https://doi.org/10.19136/era.a17n34.212>
- International Cocoa Organization (ICCO), 2016. *Annual Report 2014-2015*. Available at: <https://www.icco.org/about-us/icco-annual-report.html> [Accessed May 4th, 2020].
- INEGI, 2018. *Cuéntame. Información por entidad*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). [online] Available at: <http://cuentame.inegi.org.mx/Monografias/default.aspx?Tema=ME> [Accessed 06 diciembre 2018].
- Jacobi, J., Schneiderb, M., Mariscal, M.P., Huber, S., Weidmann, S. and Bottazzi, P., 2015. Farm resilience in organic and non-organic cocoa farming systems in Alto Beni, Bolivia. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 39, pp.798-823. <https://doi.org/10.1080/21683565.2015.1039158>
- Jagoret, P., Michel-Dounias, I. and Mal'ezieux, E., 2011. Long-term dynamics of cocoa agroforests: a case study in central Cameroon. *Agroforestry Systems*, 81, pp. 267-278. doi: 10.1007/s10457-010-9368-x
- Magurran, A.E., 1988. *Diversidad ecológica y su medición* (1 ed.). (A. M. Cirer, Trad.) Barcelona, España: Vendra 200 pp.



- Méndez, V.E., Gliessman, S.R. and Gilbert, G.S., 2007. Tree biodiversity in farmer cooperatives of a shade coffee landscape in western El Salvador. *Environment*, 119 (1-2), pp.145-159. doi:10.1016/j.agee.2006.07.004
- 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.
- Nguyen, Q., Hoang, M.H., Öborn, I. and van Noordwijk, M., 2013. Multipurpose agroforestry as a climate change resiliency option for farmers: an example of local adaptation in Vietnam. *Climatic Change*, 117(1-2), pp 241-257. Available at: <http://link.springer.com/10.1007/s10584-012-0550-1> [Accessed Apr. 21, 2019].
- Oke, D. and Odebiyi, K., 2007 Traditional cocoa-based agroforestry and forest species conservation in Ondo State, Nigeria. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, (122), pp.305-311. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2007.01.022>
- Orozco, L. and Somarriba, E., 2005. Árboles maderables en fincas de cacao orgánico del Alto Beni, Bolivia. *Agroforestería en las Américas*, 43-44, pp.46-53. Available at: <http://hdl.handle.net/11554/5797>
- Pandey, D.N., 2002. Carbon sequestration in agroforestry systems. *Climate Policy*, [online] 2(4), pp.367-377. Available at: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1469306202000256>> [Accessed 19 Apr. 2019].
- Parrish, J.; Reitsma, R.; Greenberg, R.; McLaren, W.; Mack, R. and Lynch, J., 1999. Los cacaotales como herramienta para la conservación de la biodiversidad en corredores biológicos y zonas de amortiguamiento. *Agroforestería en las Américas*, 6(22), pp.16-19. Available at: <http://hdl.handle.net/11554/6505>
- Programa Mexicano del Carbono, 2011. Manual de Campo para el Inventario Estatal Cuantitativo. Bajo la Coordinación de Fernando Paz; con la colaboración Marcos Casiano, Carlos Omar Cruz, Jesús Argumedo, Ben de Jong, y Rafael Flores. México, D.F., 129 pp.
- Pearson, T., Walker, S. and Brown, S., 2005. *Sourcebook for Land use, land-use change and forestry projects*. World Bank, Washington, DC. pp.57. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/16491>
- Ramírez-Meneses, A., García-López, E., Obrador-Olán, J.J., Ruiz-Rosado, O. and Camacho-Chiu, W., 2013. Diversidad florística en plantaciones agroforestales de cacao en Cárdenas, Tabasco, México. *Universidad y Ciencia*, 29(3), pp.215-230.
- Ramos, R., Palma L., D.J., Ortiz S., C.A., Ortiz G., C.F. and Díaz-Padilla, G., 2004. Cambios de uso de suelo mediante técnicas de sistemas de información geográfica en una región cacaotera. *Terra Latinoamericana*, 22(3), pp.267-278.
- Rendón, N. and Soto-Pinto, L., 2007. *Metodología rápida para la estimación y monitoreo de Captura de Carbono*. El Colegio de la Frontera Sur. Chiapas, México. 47 pp.
- Rice, R.A and Greenberg, R., 2000. Cacao cultivation and the conservation of biological diversity. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 29(3), pp. 167-173. <https://doi.org/10.1579/0044-7447-29.3.167>
- Roa, R.H.A., Salgado, M.M.G. and Álvarez, H.J., 2009. Análisis de la estructura arbórea del sistema agroforestal de cacao (*Theobroma cacao* L.) en el Soconusco, Chiapas, México. *Acta Biológica Colombiana*, 14(3):97-110.
- SAGARPA, 2017. *Planeación agrícola nacional 2017-2030*. Ciudad de México. 11 p.
- Salgado-Mora, M.G., Ibarra-Núñez, G., Macías, S.J.E., 2007. Diversidad arbórea en cacaotales del Soconusco, Chiapas, México. *Interciencia*, 32 (11), pp 763-768.
- Salvador-Morales, P., Cámara-Cabral, L. del C., Martínez-Sánchez, J.L., Sánchez-Hernández, R. and Valdés-Velarde, E., 2019. Diversity, structure and carbon of the arboreal vegetation on cocoa agroforestry systems. *Madera y Bosques*, 25(1), pp. 1-14. <https://doi.org/10.21829/myb.2019.2511638>
- Sánchez Gutiérrez, F., Pérez-Flores, J., Obrador Olan, J.J., Sol Sánchez, Á. and Ruiz-Rosado, O., 2017. Estructura arbórea del sistema agroforestal cacao en Cárdenas, Tabasco, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, (14), pp 2695-2709. DOI: 10.29312/remexca.v0i14.439
- Sánchez Gutiérrez, F., Pérez-Flores, J., Obrador Olan, J.J., Sol Sánchez, Á. and Ruiz-Rosado, O., 2016. Árboles maderables en el sistema agroforestal de cacao en Cárdenas, Tabasco, México. *Revista Mexicana de Ciencias*



- Agrícolas*, (14), pp 2711-2723. DOI: 10.29312/remexca.v0i14.440
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), 2020. *Tabasco Infografía Agroalimentaria*. Available at: [https://nube.siap.gob.mx/gobmx\\_publicaciones\\_siap/pag/2020/Tabasco-Infografia-Agroalimentaria-2020](https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2020/Tabasco-Infografia-Agroalimentaria-2020) [Accessed 20 de marzo de 2021].
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), 2018. *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola*. Available at: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> [Accessed 06 diciembre 2018].
- SEGOB, 2017. *ACUERDO por el que se dan a conocer las Reglas de Operación del Programa de Productividad y Competitividad Agroalimentaria de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación para el ejercicio 2018*. [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5509793&fecha=30/12/2017](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5509793&fecha=30/12/2017) [Accessed 20 de marzo de 2021].
- Silva, C., Orozco, L., Rayment, M. and Somarriba, E., 2013. Conocimiento local sobre los atributos deseables de los árboles y el manejo del dosel de sombra en los cacaotales de Waslala, Nicaragua. *Agroforesteria en las Américas*, , pp.51–60. Available at: <http://hdl.handle.net/11554/7896>
- Smith Dumont, E., Gnahoua, G.M., Ohouo, L., Sinclair, F.L. and Vaast, P., 2014. Farmers in Côte d'Ivoire value integrating tree diversity in cocoa for the provision of ecosystem services. *Agroforestry Systems*, 88, pp.1047-1066. <https://doi.org/10.1007/s10457-014-9679-4>
- Somarriba, E., Cerda, R., Orozco, L., Cifuentes, M., Dávila, H., Espin, T., Mavisoy, H., Ávila, G., Alvarado, E., Poveda, V., Astorga, C., Say, E. and Deheuvels, O., 2013. Carbon stocks and cocoa yields in agroforestry systems of Central America. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 173, pp.46–57. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2013.04.013>
- Stiling, P. D., 1999. *Ecology: Theories and applications*. USA: Ed. Prentice Hall.
- Tondoh J.E., Kouamé F.N., Guéi A.M., Sey B., Koné A.W. y Gnessougou N. 2015. Ecological changes induced by full-sun cocoa farming in Cote d'Ivoire. *Global Ecology and Conservation*, 3, pp.575–595.
- Torres, J., Alfonso Tenorio, Anelí Gómez (Editores) 2008. *Agroforestería: una estrategia de adaptación al cambio climático*. Lima: Soluciones Prácticas-ITDG; 124 p.
- Tscharntke, T., Clough, Y., Bhagwat, S.A., Buchori, D., Faust, H., Hertel, D., Hölscher, D., Jührbandt, J., Kessler, M., Perfecto, I., Scherber, C., Schroth, G., Veldkamp, E. and Wanger, T.C., 2011. Multifunctional shade-tree management in tropical agroforestry landscapes - A review. *Journal of Applied Ecology*, 48(3), pp.619–629. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2010.01939.x>
- Villavicencio-Enríquez, L. and Valdez-Hernández, J. I., 2003. Análisis de la estructura arbórea del sistema agroforestal rusticano de café en San Miguel, Veracruz, México. *Agrociencia*, 37(4), pp 413-423.
- Woldemariam, G.T., Borsch, T.D.M., and Teketay, D., 2008. Floristic composition and environmental factors characterizing coffee forests in southwest Ethiopia. *Forest Ecology and Management*, 255, pp.2138-2150. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.12.028>
- Zarco E., V.M., Valdez H., J.L. and Castillo, A., 2010. Estructura y diversidad de la vegetación arbórea del parque estatal agua blanca, Macuspana, Tabasco. *Universidad y Ciencia*, 26(1), pp.1-17.

**Anexo 1. Localidades muestreadas, atributos ambientales y especies encontradas en SAF-C de cuatro municipios de Tabasco, México**

| <b>Localidad,<br/>Municipio</b> | <b>Edad<br/>plantación <sup>*1</sup><br/>(años)</b> | <b>Superficie<br/>(ha)</b> | <b>Precipitación<br/>media anual <sup>*2</sup><br/>(mm)</b> | <b>Temperatura<br/>media anual <sup>*2</sup><br/>(°C)</b> | <b>Altitud<br/>media <sup>*2</sup><br/>(msnm)</b> | <b>Especies<br/>arbóreas<br/>encontradas<br/>(#)</b> |
|---------------------------------|---|----------------------------|---|---|---|--|
| Huimango,<br>Cunduacán          | 17  | 2                          | 1947  | 20-34   | 10  | 9  |
| Quintín Arauz,<br>Paraíso       | 25  | 1.5                        | 1751.4  | 18.5-45   | 7   | 3  |
| Huimango,<br>Cunduacán          | 25  | 2                          | 1947  | 20-34   | 10  | 5  |
| La Unión 1ª,<br>Paraíso         | 28  | 3                          | 1751.4  | 18.5-45   | 2   | 2  |
| Huimango,<br>Cunduacán          | 30  | 1                          | 1947  | 20-34   | 10  | 5  |
| Santana,<br>Cárdenas            | 30  | 2                          | 2643  | 18.5-36   | 10  | 8  |
| Santana,<br>Cárdenas            | 30  | 2                          | 2643  | 18.5-36   | 10  | 10   |
| Huimango,<br>Cunduacán          | 31  | 1                          | 1947  | 20-34   | 10  | 10   |
| Moctezuma 2ª,<br>Paraíso        | 35  | 8                          | 1751.4  | 20-37   | 5   | 7  |
| Moctezuma 2ª,<br>Paraíso        | 40  | 5                          | 1751.4  | 20-36   | 5   | 13   |
| Santana,<br>Cárdenas            | 40  | 1                          | 2643  | 18.5-36   | 10  | 2  |
| Norte 1ª Sección,<br>Comalcalco | 50  | 3                          | 2052  | 22-40.5   | 7   | 7  |
| Santana,<br>Cárdenas            | 60  | 2                          | 2643  | 18.5-36   | 10  | 9  |
| <b>Total / Promedio</b>         | <b>34</b>   | <b>2.6</b>                 | <b>2109</b>   | <b>19.5-37.2</b>  | <b>8.15</b>                                       | <b>7</b>   |

**Fuente:** <sup>\*1</sup> Propia (Encuesta a productores), <sup>\*2</sup> INEGI, 2018.

**Anexo 2. Familias y usos más comunes en árboles y maleza dentro de SAF-C.**

| Familia       | Nombre Científico                               | Nombre Común        | Individuos / ha | Uso         | Origen | Tipo    |
|---------------|---|---------------------|-----------------|-------------|--------|---------|
| Anacardiaceae | <i>Mangifera indica</i> L.                      | Mango               | 50              | 1,2,4,8,9   | NN     | Árbol   |
| Anacardiaceae | <i>Spondias mombin</i> L.                       | Jobo                | 80              | 1,2,8       | N      | Árbol   |
| Annonaceae    | <i>Annona reticulata</i> L.                     | Anona               | 10              | 2,4,8,9     | NN     | Árbol   |
| Arecaceae     | <i>Roystonea dunlapiana</i> P H Allen           | Palma real mexicana | 100             | 5,7         | NN     | Palma   |
| Arecaceae     | <i>Acrocomia aculeata</i> Lodd. ex Mart         | Palma coyol         | 30              | 7           | NN     | Palma   |
| Arecaceae     | <i>Cocos nucifera</i> L.                        | Palma cocotera      | 200             | 2,4,9       | NN     | Palma   |
| Bignoniaceae  | <i>Tabebuia rosea</i> (Bertol.) DC.             | Macuilí             | 220             | 1,2,7,9     | N      | Árbol   |
| Burseraceae   | <i>Bursera simaruba</i> Sarg                    | Palo Mulato         | 10              | 1,3,5,7,8,9 | N      | Árbol   |
| Fabaceae      | <i>Gliricidia sepium</i> (Jacq.) Steud          | Cocohite            | 250             | 2,3,5,8,9   | N      | Árbol   |
| Fabaceae      | <i>Erythrina americana</i> Mill.                | Moté                | 310             | 1,2,7       | N      | Árbol   |
| Fabaceae      | <i>Diphysa robinoides</i> Benth.                | Chipilin            | 40              | 2,5,7,9     | N      | Arbusto |
| Fabaceae      | <i>Tamarindus indica</i> L.                     | Tamarindo           | 10              | 4,8,9       |        | Árbol   |
| Fabaceae      | <i>Inga jinicuil</i> Schltdl. & Cham. Ex G. Don | Jinicuil            | 10              | 1,7         |        | Árbol   |
| Lauraceae     | <i>Persea americana</i> Mill                    | Aguacate            | 20              | 1,2,4,5,7,9 | NN     | Árbol   |
| Malvaceae     | <i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.                   | Guácimo             | 30              | 2,3,4,5,8,9 | N      | Árbol   |
| Malvaceae     | <i>Theobroma bicolor</i> Hump                   | Pataxte             | 10              | 1,2,5,7,9   | NN     | Árbol   |
| Malvaceae     | <i>Hibiscus costatus</i> A. Rich.               | Tulipan             | 10              | 7           |        | Árbol   |
| Meliaceae     | <i>Cedrela odorata</i> L.                       | Cedro               | 320             | 1,2,8,9     | N      | Árbol   |
| Meliaceae     | <i>Swietenia macrophylla</i> Willd.             | Caoba               | 170             | 1,2,4,7     | N      | Árbol   |
| Moraceae      | <i>Artocarpus heterophyllus</i> Lam.            | Castaño             | 10              | 2,4,8       | N      | Árbol   |
| Musaceae      | <i>Musa</i> sp                                  | Plátano             | 10              | 4,5         |        | Arbusto |
| Myrtaceae     | <i>Pimenta dioica</i> (L.) Merr.                | Pimienta            | 70              | 1,4,7,8     |        | Árbol   |
| Myrtaceae     | <i>Psidium guajava</i> L.                       | Guayaba             | 10              | 3,4,7,8,9   |        | Árbol   |
| Rhamnaceae    | <i>Colubrina arborescens</i> (P. Mill) Sarg.    | Tatuán              | 120             | 1,2,5,7     |        | Árbol   |
| Rutaceae      | <i>Citrus x limon</i> (L.) Osbeck               | limón dulce         | 20              | 4,8         |        | Árbol   |
| Rutaceae      | <i>Citrus x aurantium</i> L.                    | Naranja agria       | 10              | 4,8         |        | Árbol   |
| Rutaceae      | <i>Citrus x reticulata</i> Blanco               | Mandarina           | 10              | 4,8         |        | Árbol   |
| Rutaceae      | <i>Citrus aurantiifolia</i> (Christm.) Swingle  | Limón               | 10              | 4,8         | NN     | Árbol   |
| Rutaceae      | <i>Citrus sinensis</i> L. Osb.                  | Naranja             | 10              | 2,4,8,9     | NN     | Árbol   |
| Urticaceae    | <i>Cecropia obtusifolia</i> Bertol              | Guarumbo            | 140             | 1,3,4       | N      | Árbol   |
| Verbenaceae   | <i>Cornutia pyramidata</i> L.                   | Robo lagarlo        | 10              | 8           |        | Árbol   |
| Sapotaceae    | <i>Manilkara zapota</i> L. Royen                | Chicozapote         | 30              | 4,9         | N      | Árbol   |
|               | <i>Dieffenbachia seguine</i>                    | Lengua de vaca      |                 | 3           | N      | Maleza  |

2340\*

Usos 1) Madera, 2) Leña, 3) Forraje, 4) Fruta, 5) Cerca viva, 7) Sombra, 8) Medicinal, 9) Miel; N: Nativa; NN: No Nativa

\*30 individuos no pudieron ser identificados apropiadamente por lo que el número total de individuos fue de 2340 y no 2370.