



Diversidad, estructura y carbono de la vegetación arbórea en sistemas agroforestales de cacao

Diversity, structure and carbon of the arboreal vegetation on cocoa agroforestry systems

Pedro Salvador-Morales^{1,2}, Luisa del Carmen Cámaras-Cabrales¹, José Luis Martínez-Sánchez^{1*},
Rufo Sánchez-Hernández^{3,2} y Eduardo Valdés-Velarde⁴

¹ Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. División Académica Ciencias Biológicas. Villahermosa, Tabasco, México.

² Instituto Tecnológico de la Zona Olmeca. Villa Ocuiltzapotlán, Tabasco, México.

³ Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. División Académica de Ciencias Agropecuarias. Villahermosa, Tabasco, México.

⁴ Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Fitotecnia. Texcoco, Estado de México, México.

* Autor de correspondencia: rusaher@hotmail.com

RESUMEN

La conservación de los sistemas agroforestales de cacao (SAFC) en Tabasco, México, requiere la revaloración de sus funciones ambientales, debido a que representan relictos de vegetación arbórea en un paisaje dominado por áreas cultivadas. Por tal motivo, se desarrolló una investigación para evaluar la diversidad, estructura arbórea y carbono almacenado en sistemas agroforestales de cacao en la región de la Chontalpa en el estado de Tabasco, México, según edad, suelos y municipios. Para ello, los SAFC se inventariaron para determinar la diversidad a través de los índices de Shannon-Wiener y Sorenson, la estructura arbórea mediante el índice de valor de importancia, clases diamétricas y altura, así como la biomasa aérea estimada a través de ecuaciones alométricas, con lo que se calcularon los contenidos de carbono. Se identificaron 24 familias, 37 géneros y 39 especies. Los SAFC ≥ 40 años poseen ligeramente más diversidad y densidad arbórea. Con base en la edad de los SAFC, la diversidad y estructura arbórea es mayor en los SAFC ≥ 40 años con respecto a los SAFC $> (10-15)$ años y SAFC $> (20-35)$ años; mientras que, con respecto al grupo de suelo, los indicadores antes mencionados son más altos en los Gleysols, seguido de los Fluvisols, Cambisols y Vertisols. La edad y el tipo de suelo determinan el carbono almacenado en la biomasa aérea. Setenta y cinco por ciento del carbono de la biomasa aérea se almacena en los árboles de sombra y 25% en el cacao. Se concluye que los SAFC en Tabasco son similares en diversidad y estructura arbórea. Los más viejos, establecidos en suelos Fluvisoles, son ligeramente más diversos y registran mayor área basal, por lo que almacenan más carbono en la biomasa aérea.

PALABRAS CLAVE: coeficiente de Sorenson, estructura vertical y horizontal, índice de Shannon-Wiener, servicios ambientales, *Theobroma cacao*.

ABSTRACT

The conservation of cocoa agroforestry systems (SAFC) in Tabasco, Mexico, requires the revaluation of their environmental functions, since they represent relictos of arboreal vegetation in a landscape dominated by cultivated areas. For this reason, a research was developed to evaluate the diversity, arboreal structure and carbon stored in the SAFC, according to age, soils and municipalities. For that, the SAFC were inventoried to determinate the diversity through the indexes Shannon-Wiener and Sorenson respectively, arboreal structure through the importance value index, diametric classes and height, as well as the aerial biomass estimated through allometric equations, with which the carbon contents were calculated. We identified 24 families, 37 genera and 39 species. The SAFC ≥ 40 years have slightly more diversity and arboreal density. Based in the age of the SAFC, the arboreal diversity and structure is highest in the SAFC ≥ 40 years with respect to SAFC > 10 years - 15 years and SAFC > 20 years - 35 years; while as with respect to soil group, the aforementioned indicators are higher in the Gleysols, followed by the Fluvisols, Cambisols and Vertisols. The age and soil type determine the carbon stored in the aerial biomass. 75% and 25% of the C of aerial biomass is stored in shade trees and cocoa, respectively. It is concluded that the SAFCs in Tabasco are similar in diversity and tree structure. The older ones established in Fluvisols are slightly more diverse and register a larger basal area, so they store more C in the aerial biomass.

KEYWORDS: Sorenson coefficient, vertical and horizontal structure, Shannon-Wiener index, environmental services, *Theobroma cacao*.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas agroforestales (SAF) combinan la actividad forestal con la agricultura o la ganadería, con la finalidad de producir alimentos, sin renunciar a los servicios ambientales que los árboles ofrecen (Sánchez, Mendoza, y Salcedo, 2013). Durante las últimas décadas, el sureste de México ha sufrido severos procesos de degradación, particularmente por cambio de uso de suelo y deforestación (Ramos, Palma, Ortiz, Ortiz y Díaz-Padilla, 2004). Por ello, resalta la importancia de los SAF, ya que estos representan relictos de vegetación arbórea, en paisajes dominados por tierras de cultivo, pastizales, zonas urbanas y humedales. Uno de los SAF más emblemáticos en los estados de Tabasco y Chiapas, es el sistema agroforestal de cacao (SAFC), el cual intercala el cultivo del árbol de cacao (*Theobroma cacao* L.) con árboles de sombra, ya sean cultivos anuales o perennes. En Tabasco, 96% de los SAFC se distribuyen en la región de la Chontalpa, ocupan una superficie de 41117 ha, que sustentan a 31139 familias (Sánchez, Pérez-Flores, Obrador, Sol y Ruiz-Rosado, 2016). A pesar de su importancia, los SAFC han sido presionados, particularmente debido a la caída de la producción; esta ha propiciado un cambio de uso de suelo, convirtiendo estos sistemas en otros tipos de cultivo. Sin embargo, la pérdida de cobertura arbórea debido a la tala de los SAFC tiene implicaciones sociales, económicas y ambientales (Valenzuela-Córdova *et al.*, 2015). Una función importante de los SAFC es la conservación de la biodiversidad, definida esta como la variedad y abundancia de especies en un área de estudio determinada. La biodiversidad puede medirse tanto por la riqueza de especies, como por la homogeneidad en su distribución; para ello se han desarrollado diversos índices (Magurran, 2004). Otra manera de medir el valor ecológico de un sistema forestal es a través del conocimiento sobre la estructura y función de los árboles, lo que permite crear estrategias de producción para un desarrollo sostenible (Roa, Salgado y Álvarez, 2009). La estructura arbórea es evaluada a través del índice de diversidad estructural, el cual depende de las especies presentes, las características del medio físico, el historial y

el tratamiento silvícola, donde el diámetro medio, la distribución diamétrica, la altura y la densidad, son características importantes (Del Río, Montes, Cañellas y Montero, 2003). Otra función importante de los SAFC es el almacenamiento de carbono en el suelo y la vegetación, dicha acumulación se puede estimar a partir del cálculo de los volúmenes de biomasa, tanto de los árboles de cacao, como de los árboles sombra y de especies acompañantes, a través de ecuaciones alométricas. Estas ecuaciones son afectadas por factores como el manejo y la edad de los árboles, así como por sus diámetros y alturas (Somarriba *et al.*, 2013; Cerdá, Espín y Cifuentes, 2013). En Tabasco se han desarrollado algunos estudios que se han enfocado en el conocimiento de la estructura y diversidad, así como en la relación de ambos con la edad de los SAFC (Ramírez-Meneses, García-López, Obrador-Olán, Ruiz-Rosado y Camacho-Chiu, 2013; Gutiérrez *et al.*, 2016). Sin embargo, poco se ha considerado la influencia de otros factores importantes como el suelo, el cual puede llegar a jugar un papel importante sobre la distribución espacio-temporal de la diversidad, la estructura arbórea y la captura de carbono de los SAFC.

OBJETIVOS

Evaluar la diversidad, la estructura de especies arbóreas y la capacidad de almacenamiento de carbono en la biomasa aérea en el SAFC en cuatro grupos de suelo en la región de la Chontalpa en el estado de Tabasco, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se realizó en los municipios de Cárdenas, Jalpa de Méndez y Comalcalco, en el estado de Tabasco. Sus coordenadas geográficas son 18° 00' 33.46" y 18° 15' 34.05" N, y 93° 40' 36.69" y 93° 04' 57.88" O. El clima es cálido-húmedo con abundantes lluvias en verano, temperatura media anual de 26 °C y precipitación anual de 2500 mm (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [Inegi], 2016).



Selección de sitios de muestreo

Para seleccionar los sitios de muestreo, se georreferenciaron aproximadamente 50 parcelas de cacao; las coordenadas de dichas parcelas fueron ubicadas en una imagen de satélite *Spot*, lo que permitió generar un mapa de cobertura vegetal que precisa la extensión y ubicación de la superficie cultivada con cacao. Posteriormente, mediante la técnica de álgebra de mapas, el mapa de distribución de los SAFC se sobrepuso a un mapa de distribución de suelos escala 1:250 000 elaborado por Zavala-Cruz, Jiménez-Ramírez, Palma-López, Bautista-Zúñiga y Gavi-Reyes (2016); de acuerdo con este mapa, los SAFC se establecen sobre suelos Cambisols (CM), Vertisols (VR), Fluvisols (FL) y Gleysols (GL), por lo que, en cada grupo de suelo, se seleccionaron de manera aleatoria cuatro unidades de muestreo (UM) de 1000 m² (20 m × 50 m).

Muestreo de la vegetación

En cada unidad de muestreo se realizó un inventario, donde se registraron las especies arbóreas y, de cada una de ellas, se midió el diámetro normal (1.3 m sobre el suelo), tanto de los árboles de sombra, como la de los árboles de cacao (0.3 m sobre el suelo). Para estas mediciones se utilizó una cinta diamétrica, mientras que la altura fue estimada mediante una regla de Christensen. Se registraron los nombres comunes de las especies arbóreas y se tomaron muestras botánicas para determinar los nombres científicos y su clasificación taxonómica a nivel de familia, género y especie.

Análisis de diversidad, uniformidad y similitud

Para comparar la diversidad de especies arbóreas en el SAFC, se calculó el índice de Shannon-Wiener ($H' = -\sum_{i=1}^S p_i \ln p_i$), donde la cantidad de p_i es la proporción (o abundancia relativa) de cada especie en la población, este índice considera que los individuos se muestrean al azar a partir de una población indefinidamente grande, también supone que todas las especies están representadas en la muestra (Magurran, 1988; Somarriba, 1999; Carreón y Valdez, 2014).

Asimismo, se evaluó el índice de uniformidad, también llamado índice de equidad (E) de las especies, que se define

como la relación entre diversidad observada y diversidad máxima; esta medida de uniformidad (E) queda representada por la ecuación $E = H'/\ln(S)$ (Pielou, 1969; Magurran, 2004; Zarco-Espinoza, Valdez-Hernández, Ángeles-Pérez y Castillo-Acosta, 2010), donde H' es el índice de Shannon-Wiener y S el número total de especies. El valor de E se sitúa entre 0 y 1; valores cercanos a 1 representan condiciones de igualdad en la abundancia entre las especies de una población, mientras que los valores cercanos a 0 indican la predominancia de una sola especie. La semejanza florística se calculó mediante el coeficiente de Sorensen $Si = (2C / (A + B))$ - que se basa en la relación presencia-ausencia de especies entre dos sistemas (Stiling, 1999) - donde A es el número de especies encontradas en la comunidad A, B es el número de especies encontradas en la comunidad B y C es el número de especies comunes en ambos sistemas (Sorensen, 1948; Magurran, 2004; Zarco-Espinoza *et al.*, 2010; Carreón y Valdez, 2014). Para determinar la existencia de diferencias significativas entre los valores de H' del SAFC, se aplicó el método de la t modificada de Hutcheson. Para determinar el valor de t se realizaron los siguientes cálculos: $t = (H_1 - H_2) / (VarH_1 + VarH_2)^{1/2}$, donde H_1 es el valor del índice de diversidad de Shannon para comunidad 1; H_2 es el valor del índice de diversidad de Shannon para comunidad 2. Se calcularon los grados de libertad con la expresión $gl = VarH_1 + VarH_2)^2 / ((VarH_1)^2 / N_1) + ((VarH_2)^2 / N_2)$, donde $VarH_1$ es la varianza del índice de diversidad de Shannon en la comunidad 1; $VarH_2$ es la varianza del índice de diversidad de Shannon en la comunidad 2. La varianza de los H' de cada SAFC se determinó mediante la ecuación $VarH = [(\sum p_i (\ln p_i)^2 - (\sum p_i \ln p_i)^2) / N - (S-1) / 2N^2]$, donde p_i es la proporción de individuos de la especie i , S es el número de especies y N es el número total de individuos (Magurran, 1988; Carreón y Valdez, 2014).

Para conocer la estructura del SAFC, se calcularon valores de densidad, dominancia y frecuencia por especie, con el fin de obtener el índice de valor de importancia (IVI = densidad relativa + dominancia relativa + frecuencia relativa) (Curtis y McIntosh, 1951; Villavicencio-Enríquez y

Valdez-Hernández, 2003). A partir de las variables diámetro normal (DN) y altura total (HT) de los árboles, se determinaron la estructura vertical y la estructura horizontal, siendo representadas en histogramas de frecuencias.

Carbono en la biomasa aérea del SAFC

Para cuantificar el carbono de la biomasa arbórea asociada al SAFC, se utilizó la ecuación propuesta por Chave *et al.* (2014), la cual se describe como: $B = 0.0673 * (\rho D^2 H)^{0.976}$, en donde B es la biomasa aérea estimada (kg), D es el diámetro normal (cm), H es la altura total (m) y ρ es la densidad de la madera (g cm^{-3}). Dicha ecuación tiene la ventaja de que puede extrapolarse a diferentes tipos de vegetación tropical, sin verse afectada negativamente por factores ambientales o regionales. De acuerdo con Ordoñez *et al.* (2015), la densidad de la madera es propia de cada especie, depende de la cantidad y tipo de elementos celulares que la constituyen, además que le confiere atributos físicos y mecánicos, tales como dureza, peso, resistencia al impacto y resistencia a la abrasión. Estos autores aseguran que las características antes mencionadas están asociadas a las condiciones climáticas que prevalecen en cada región donde crece la vegetación. Los valores de densidad de la madera se obtuvieron de dos fuentes, la Global Wood Density Database (Zanne *et al.*, 2009) y de Ordóñez *et al.* (2015).

La biomasa arbórea para cacao se estimó mediante la ecuación $\text{Log } B = -1.684 + 2.158 * \text{Log } (d30) + 0.892 * \text{Log } (H)$, consultada en Cerda *et al.* (2013), en donde B es la biomasa (kg); d30 es el diámetro (cm) del tronco a 30 cm del suelo y H es la altura total (m).

Para el cálculo del contenido de carbono, se empleó la ecuación $C = B * FC$ (Penman *et al.*, 2003; Cerda *et al.*, 2013), donde C es el carbono en la biomasa arbórea (kg), B es la biomasa arbórea (kg) y FC es el factor de la fracción de carbono igual a 0.5.

Análisis de los datos

Para los análisis estadísticos de diversidad, uniformidad (E) y similitud, los SAFC muestreados se agruparon según su

edad en tres categorías: 10 años a 15 años, 20 años a 35 años y mayores de 40 años. Esas mismas parcelas se agruparon según suelo, clasificándose en CM, VR, FL y GL. El análisis de significancia ($p < 0.05$) de diversidad se realizó con la *t* de Hutchenson (Magurran, 1988; Carreón y Valdez, 2014). Se calculó el IVI, las estructuras vertical y horizontal se caracterizaron mediante estadística descriptiva. El contenido de carbono se analizó mediante estadística no paramétrica, usando la prueba de Kruskal Wallis con un nivel de significancia de ($P < 0.05$).

RESULTADOS

Diversidad florística

De manera general, en los SAFC evaluados se registraron 524 árboles sombra, agrupados en 37 géneros, 39 especies y 24 familias. Las especies con el mayor número de individuos fueron *Diphysa robinioides* Benth, *Erythrina americana* Mill, *Colubrina arborescens* Mill. Sarg., *Cedrela odorata* L. y *Tabebuia rosea* [Bertol] DC. Las familias mayormente representadas en los SAFC, fueron Fabaceae, Myrtaceae y Moraceae.

Diversidad, equidad (E) y similitud

El índice de diversidad de Shannon-Wiener (H') indica que, a mayor edad del sistema, el número de especies se incrementa, por lo que los SAFC > 40 años registraron la mayor diversidad de especies ($H' = 2.6$), seguidos de los de las categorías (10 - 15) años y (20 - 35) años, los cuales registraron un similar índice H' de 2.1. Las pruebas pareadas de significancia por el método de Hutcheson (*t* modificada) para H' indican que existen diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre las categorías de edad (20 - 35) años y > 40 años, seguidas de las diferencias entre las categorías (10 - 15) años y > 40 años. Entre las categorías (10 - 15) años y (20 - 35) años, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas.

De acuerdo con los resultados de equidad de especies (E), el presente estudio indica que los SAFC mayores de 40 años son ligeramente más equitativos ($E=0.49$) que los de



las categorías (25-35) años y (10-15) años, con valores de E de 0.42 y 0.41, respectivamente.

Las pruebas entre pares para determinar el coeficiente de similitud florística de Sorenson (S_i) consisten en comparar el porcentaje de especies que se comparten entre dos poblaciones determinadas, por ejemplo, para el caso de los SAFC de las categorías (10 – 15) años y (20 – 35) años, el índice S_i fue de 0.41; es decir que 41% de las especies presentes en estas dos poblaciones son similares. El S_i correspondiente al comparativo entre los SAFC de (10 – 15) años y los de > 40 años es de 0.62; mientras que entre los SAFC (20 – 35) años y los SAFC > 40 años es de 0.52.

Los mayores IVI en los SAFC jóvenes (10 años - 15 años) correspondieron a *Diphysa robinioides*, *Erythrina*

americana, *Colubrina arborescens*, *Cupania dentata* y *Cocos nucifera* L. En los SAFC intermedios (20 años - 15 años), las especies más importantes fueron *Erythrina americana*, *Cedrela odorata*, *Tabebuia rosea*, *Guazuma ulmifolia* y *Gmelina arborea*. En los SAFC más viejos (> 40 años), *Diphysa robinioides*, *Colubrina arborescens*, *Erythrina americana*, *Cedrela odorata* y *Tabebuia rosea* (Tabla 1).

El análisis por grupos de suelo, indica que el índice de diversidad H' y los valores de equidad E fue mayor para GL (Tabla 2).

Las pruebas pareadas, revelaron la similitud florística (S_i) entre los diferentes grupos de suelo, siendo CM y VR los de mayor similitud, seguido de FL y GL y en último lugar CM y GL tal como se muestra en la Tabla 3.

TABLA 1. Índice de valor de importancia por categoría de edad de las especies arbóreas en el sistema agroforestal cacao de la Chontalpa, Tabasco, México.

Edad (años)	Familia	Especie	IVI
10-15	Fabaceae	<i>Diphysa robinioides</i> Benth	64.4
	Fabaceae	<i>Erythrina americana</i> Mill.	42.2
	Rhamnaceae	<i>Colubrina arborescens</i> Mill. Sarg.	27.5
	Sapindaceae	<i>Cupania dentata</i>	23.5
	Palmacea	<i>Cocos nucifera</i> L.	21.2
	Meliaceae	<i>Cedrela odorata</i> L.	18.6
	Bignonaceae	<i>Tabebuia rosea</i> [Bertol] DC.	18.4
	Otras especies		84.2
20-35	Total		300
	Fabaceae	<i>Erythrina americana</i> Mill.	80.1
	Meliaceae	<i>Cedrela odorata</i> L.	48.4
	Bignonaceae	<i>Tabebuia rosea</i> [Bertol] DC.	30.1
	Malvaceae	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	22.4
	Lamiaceae	<i>Gmelina arborea</i> Roxb	12.8
	Fabaceae	<i>Erythrina poeppigiana</i> (Walp) O.F.Cook	17.1
		<i>Artocarpus altilis</i> (Parkinson) Fosberg	13.9
>40	Otras especies		75.2
	Total		300
	Fabaceae	<i>Diphysa robinioides</i> Benth	53.7
	Rhamnaceae	<i>Colubrina arborescens</i> (Mill.) Sarg.	29.2
	Fabaceae	<i>Erythrina americana</i> Mill.	29
	Meliaceae	<i>Cedrela odorata</i> L.	26.5
	Bignonaceae	<i>Tabebuia rosea</i> [Bertol] DC.	18.5
	Anacardiaceae	<i>Mangifera indica</i> L.	17.3
	Myrtaceae	<i>Pimenta dioica</i> L. Merr	15.2
	Otras especies		110.6
	Total		300

Dr = densidad relativa (%); Dmr = Dominancia relativa (%); Fr = Frecuencia relativa (%); IVI = Índice de valor de importancia.

TABLA 2. Diversidad H' y equidad E por grupo de suelo

Grupo de suelo	H'	E
GL	2.3	0.82
FL	2.1	0.66
CM	2	0.7
VR	2	0.68

TABLA 3. Similitud florística (S_i) entre grupo de suelo

Sistema A	Sistema B	Especies en A	Especies en B	Especies compartidas	(S_i) %
CM	VR	17	19	11	61
CM	FL	17	24	9	44
CM	GL	17	17	7	41
VR	FL	19	24	10	46
VR	GL	19	17	9	50
FL	GL	24	17	12	58

Las pruebas pareadas de significancia por el método de Hutcheson para H' indican que no existen diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre los grupos de suelos.

El mayor número de especies se registró en los FL con 24 especies, de las cuales *Diphysa robinioides*, *Colubrina arborescens*, *Tabebuia rosea*, *Mangifera indica* y *Pimenta dioica* presentaron los mayores valores de IVI. Le siguen en número de especies, los VR con 19 registros, de las cuales *Erythrina americana*, *Tabebuia rosea*, *Guazuma ulmifolia*, *Erythrina poeppigiana* y *Cedrela odorata*. Los suelos que soportan menos diversidad son los CM, con 17 especies registradas, entre las que destacan *Cedrela odorata*, *Erythrina americana*, *Erythrina poeppigiana*, *Cecropia obtusifolia* y *Gmelina arborea*. En el suelo GL, al igual que en el CM, se identificaron 17 especies, entre las que destacan *Diphysa robinioides*, *Tabebuia rosea*, *Colubrina arborescens*, *Citrus sinensis* y *Cupania dentata* (Tabla 4).

Estructura vertical y horizontal de la vegetación del SAFC

Las clases de altura para árboles sombra por categoría de edad, presentaron una distribución donde la mayoría se concentraron en las clases de 6 m a 9 m y de 9 m a 12 m;

esto obedece a que en las tres categorías de edad, las mayores proporciones de altura (98%, 95% y 85%) midieron menos de 15 m (Fig. 1), mientras que la distribución por clases diamétricas para las tres categorías de edad, muestran que la mayor proporción de árboles (70.4%, 82.6% y 69.1%) se concentra hasta la clase diamétrica de 16 cm a 24 cm (Fig. 2).

En la tabla 5 se presentan los resultados de densidad arbórea, obtenidos por categoría de edad de los SAFC.

La altura promedio de los árboles de sombra fue de 9.9 m con un mínimo de 1 m y un máximo de 22 m. El diámetro promedio fue 21.4 cm con un mínimo de 2.5 cm y un máximo de 65.3 cm. La mayor área basal (AB) se encontró en la categoría de edad (10 – 15) años, con un valor de $16.7 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, seguida de la categoría ≥ 40 años, para la que se obtuvo $14.9 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$. La categoría de (20 – 35) años presentó el valor más bajo de AB con $8.4 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$. A nivel estructural, los SAFC de 25 años presentaron mayor AB, con un promedio de $22.7 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, que se debe a una mayor densidad de árboles de *Erythrina poeppigiana* y *Samanea saman*, especies que presentaron los mayores diámetros. *Cedrela odorata* se presentó en las tres clases de edad.



TABLA 4. Índice de valor de importancia por grupo de suelos de las especies arbóreas en el sistema agroforestal cacao de la Chontalpa, Tabasco, México.

Grupo de suelo	Familia	Especie	IVI
Cambisol	Meliaceae	<i>Cedrela odorta</i> L.	75.4
	Fabaceae	<i>Erythrina americana</i> Mill.	42.6
	Fabaceae	<i>Erythrina poeppigiana</i> (Walp) O.F.Cook	39.8
	Urticaceae	<i>Cecropia obtusifolia</i> Bertol.	27.4
	Lamiaceae	<i>Gmelina arborea</i> Roxb	17.2
	Fabaceae	<i>Samanea saman</i> (jacq.) Merr	16.9
	Rhamnaceae	<i>Colubrina arborescens</i> (Mill.) Sarg.	12.6
	Otras 10 especies		67.9
	Total		300
Vertisol	Fabaceae	<i>Erythrina americana</i> Mill	78.5
	Bignoniaceae	<i>Tabebuia rosea</i> [Bertol] DC.	35.3
	Malvaceae	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	31.9
	Fabaceae	<i>Erythrina poeppigiana</i> (Walp) O.F.Cook	30.1
	Meliaceae	<i>Cedrela odorta</i> L.	26.7
	Sapindaceae	<i>Cupania dentata</i>	11.6
	Fabaceae	<i>Gliricidia sepium</i> (Jacq.)	10.5
	Otras 12 especies		76.4
	Total		301
Fluvisol	Fabaceae	<i>Diphysa robinioides</i> Benth	100.5
	Rhamnaceae	<i>Colubrina arborescens</i> (Mill.) Sarg.	40.2
	Bignoniaceae	<i>Tabebuia rosea</i> [Bertol] DC.	18.8
	Anacardiaceae	<i>Mangifera indica</i> L.	18.0
	Myrtaceae	<i>Pimenta dioica</i> L. Merr	16.1
	Meliaceae	<i>Cedrela odorta</i> L.	11.4
	Fabaceae	<i>Erythrina americana</i> Mill.	10.8
	Otras 17 especies		84.2
	Total		300
Gleysol	Fabaceae	<i>Diphysa robinioides</i> Benth	60.9
	Bignoniaceae	<i>Tabebuia rosea</i> [Bertol] DC.	26.8
	Rhamnaceae	<i>Colubrina arborescens</i> (Mill.) Sarg.	16.9
	Rutaceae	<i>Citrus sinensis</i> (L.) Osb.	19.8
	Sapindaceae	<i>Cupania dentata</i>	15.9
	Meliaceae	<i>Cedrela odorta</i> L.	14.3
	Lauraceae	<i>Persea americana</i> Mill	14.1
	Otras 10 especies		131.2
	Total		300

Dr = densidad relativa (%); Dmr = Dominancia relativa (%); Fr = Frecuencia relativa (%); IVI = Índice de valor de importancia.

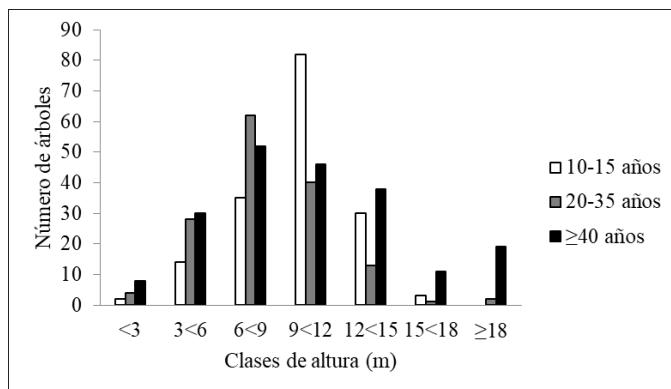


FIGURA 1. Número de árboles de sombra distribuidos por clase de altura según la edad de los SAFC.

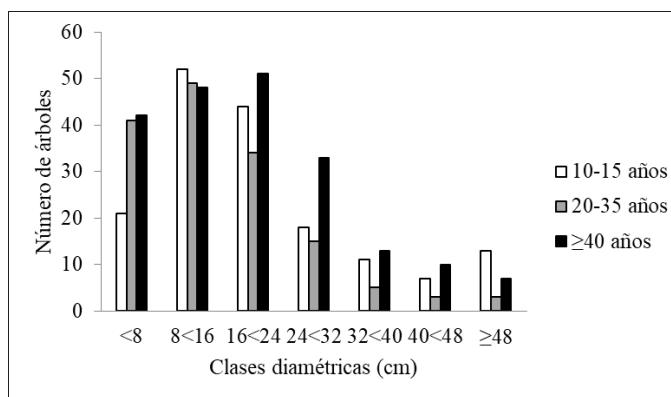


FIGURA 2. Número de árboles de sombra distribuidos por clase diamétrica según la edad de los SAFC.

TABLA 5. Densidad de árboles de sombra con respecto a categorías de edad de sistemas agroforestales de cacao de la región de la Chontalpa, Tabasco, México.

Categoría de edad (años)	Densidad de árboles de sombra ha^{-1}		
	Promedio	Mínimo	Máximo
10 – 15	322	150	710
20 – 35	300	40	500
≥ 40	340	120	640

Las clases de altura para árboles de sombra por grupo de suelo, presentaron una distribución similar a la observada cuando el análisis se realizó por categorías de edad. De nueva cuenta, la mayoría de las especies se concentraron entre las clases de altura (3 – 6) m, (6 – 9) m, (9 – 12) m y (12 – 15) m, respectivamente (Fig. 3); lo que significa que los árboles que se encuentran en estas clases de altura, presentes en los diferentes grupos de suelo, alcanzan 88%, 100%, 96% y 89% en los CM, VR, FL y GL,

respectivamente. Por su parte, la distribución por clases diamétricas por grupos de suelo, muestran que 85%, 79%, 97% y 82% de los árboles en los CM, VR, FL y GL respectivamente, se concentran en la clase diamétrica (24 – 32) cm (Fig. 4).

Los SAFC establecidos en los suelos FL presentaron la mayor densidad con 553 árboles de sombra por hectárea, en tanto que la menor densidad se registró en los CM con 250 árboles por hectárea.

Los SAFC establecidos en los FL presentaron el valor más alto de AB con 28.9 $m^2 ha^{-1}$, le siguen los de VR y CM con 24.5 $m^2 ha^{-1}$ y 21.7 $m^2 ha^{-1}$, respectivamente.

La altura promedio de los árboles de cacao fue de 4.4 m, variando de 1 m a 8 m y la densidad promedio fue de 613 árboles por hectárea, variando de 570 a 698 árboles por hectárea.

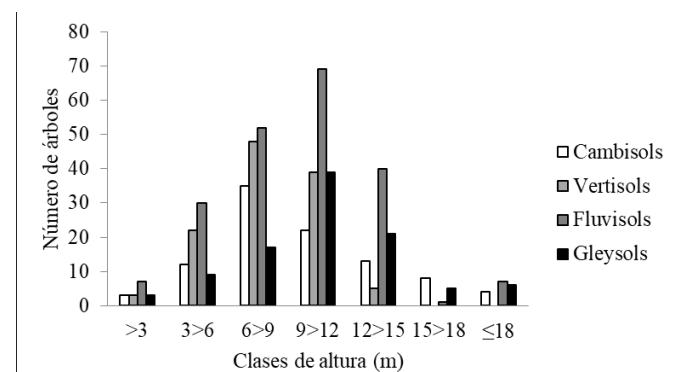


Figura 3. Número de árboles sombra distribuidos por clases de altura en el SAFC según grupos de suelos.

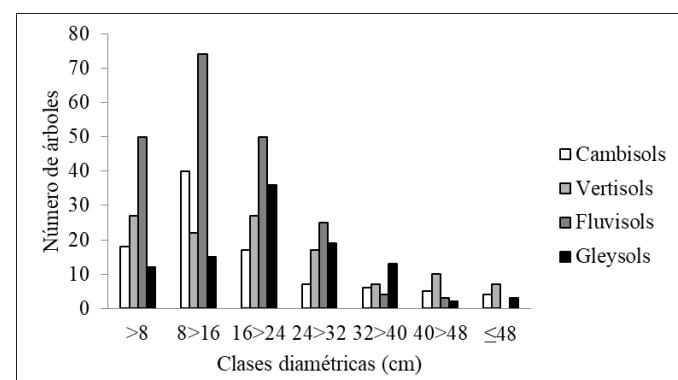


Figura 4. Número de árboles sombra distribuidos por clases diamétricas en el SAFC según grupos de suelos.



Carbono en la biomasa aérea de los SAFC

El carbono acumulado en el arbolado de los SAFC > 40 años, registró el valor más alto con 51.35 Mg ha^{-1} , le siguen las categorías (10-15) años con 41.17 Mg ha^{-1} y (20-35) años, con 33.1 Mg ha^{-1} (Fig. 5).

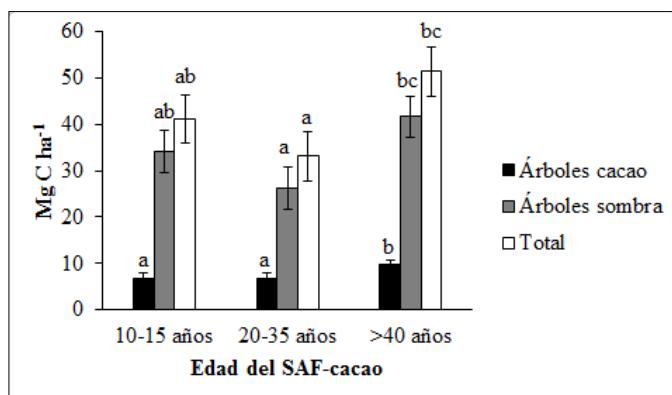


Figura 5. Carbono de la biomasa aérea por clase de edad del SAFC. Letras diferentes entre edades representan diferencia significativa ($P < 0.05$).

Al comparar la cantidad de carbono de la biomasa aérea por grupo de suelo, se determinó que los SAFC almacenan 56.51 Mg ha^{-1} en FL, 41.96 Mg ha^{-1} en GL, 40.94 Mg ha^{-1} en VR y 30.45 Mg ha^{-1} en CM (Fig. 6).

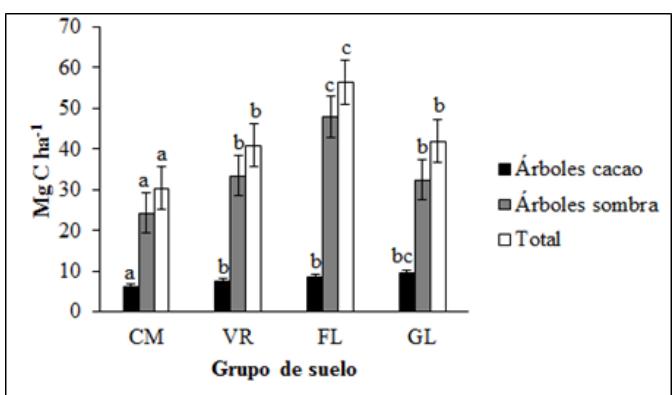


Figura 6. Carbono almacenado en la biomasa de los árboles en el SAFC por grupo de suelo.

Letras diferentes entre edades representan diferencia significativa ($P < 0.05$).

Los árboles de cacao almacenaron entre 6.22 Mg ha^{-1} y 9.6 Mg ha^{-1} de carbono, mientras que los árboles de sombra entre 24.33 Mg ha^{-1} y 47.94 Mg ha^{-1} . Los suelos Fluvisoles acumulan mayor cantidad de carbono en la biomasa

arbórea, debido a que los SAFC establecidos sobre este grupo de suelo registraron una mayor densidad arbórea y mayor área basal.

DISCUSIÓN

La diversidad de especies de los SAFC entre grupos de suelos es similar; mientras que, al compararlos según categorías de edad, se detectan diferencias estadísticamente significativas, siendo los SAFC > 40 años, los que son más diversos con respecto a los SAFC de (10 – 15) años y (20 – 35) años, respectivamente. Estos resultados son similares a lo hallado por otros investigadores, que han realizado trabajos en el estado de Tabasco. Gutiérrez *et al.* (2016), señalan que los SAFC > 35 años registran un mayor número de especies, mientras que Ramírez *et al.* (2013) afirman que los SAFC más viejos, albergan una mayor diversidad de especies con respecto a los más jóvenes. Los resultados de esta investigación indican que la diversidad florística entre los SAFC de (10 – 15) años y (20 – 35) años es similar estadísticamente. En los SAFC, la actividad de aves y roedores contribuyen a la dispersión de especies florísticas por lo que, con el paso de los años, el número de especies se incrementan (Gutiérrez *et al.*, 2016). Sin embargo, en los SAFC, por tratarse de sistemas perturbados, tanto la presencia como la distribución de las especies también obedecen a un aspecto cultural y de manejo. Los productores eligen las especies que utilizan como sombra e identifican y eliminan aquellas que no les ofrecen buenos resultados. Aunque el presente estudio no profundiza acerca del historial de manejo de los SAFC, algunas investigaciones indican que estos sistemas mantienen su productividad entre 25 años y 30 años (Hernández-Gómez *et al.*, 2015), por lo que algunas especies de árboles de sombra que presentan una muerte temprana son sustituidas. Tal es el caso de *Erythrina americana*, que requiere una renovación gradual debido a que su ciclo de vida es de apenas 12 años (Córdova *et al.*, 2001). Por lo tanto, un SAFC considerado como viejo puede contener un arbolado renovado de menor edad, con respecto a un SAFC considerado más joven. Al respecto, Córdova *et al.* (2001) señalan que los SAFC más viejos

incluyen una mayor diversidad de especies, que involucran maderables y frutales como árboles de sombra, mientras que en la actualidad ya no es frecuente observar dicha diversidad. Caso contrario se observa en los SAFC del estado de Chiapas, donde además de la familia Fabaceae, que es la dominante, aún mantienen la tradición de incluir árboles frutales de *Mangifera indica* y *Pouteria sapota* como sombra (Roa *et al.*, 2009). De acuerdo con Medrano, Hernández, Corral y Nájera. (2017), la diversidad de especies es mayormente afectada por las variaciones climáticas y edáficas, que ocurren entre sitios situados a diferentes gradientes altitudinales. Esto explica parcialmente por qué no se observaron diferencias estadísticas entre los grupos de suelos al comparar los valores del índice H', ya que toda la franja de la zona productora de cacao en el estado de Tabasco se sitúa en un solo paisaje geomorfológico, la planicie fluviodeltaica inactiva que se ubica entre los 2 m y los 40 m de altitud, en donde se han formado suelos FL, CM, VR y GL (Zavala-Cruz *et al.*, 2016). Dichos grupos de suelos presentan buena fertilidad, debido a sus altos contenidos de arcillas y materia orgánica; sin embargo, el nivel de fertilidad del suelo no siempre redonda en una mayor diversidad florística, ya que hay sitios como las tierras de barbecho, que aunque poseen un suministro de nutrientes relativamente bueno, presentan una diversidad de especies baja, mientras que hay otros sitios como las praderas, que aunque sus nutrientes pueden estar agotados, muestran una alta riqueza florística. En todo caso, dicha riqueza puede estar más asociada a la edad de los sistemas, así como al manejo de los mismos (Chmolowska, Kozak y Laskowski, 2016). Dado que no se observaron diferencias estadísticas en los los valores de los índices H' y E entre los diferentes grupos de suelos, y que dichos grupos se ubican en un solo paisaje geomorfológico, tampoco se observaron diferencias estadísticas al comparar dichos índices entre los tres municipios. De acuerdo con Ramírez *et al.* (2013), los SAFC \geq 50 años, que tienen presencia de *Colubrina arborescens*, *Musa* sp., *Gliricidia sepium*, *Diphysa robinioides*, *Guazuma ulmifolia* y *Cedrela odorata*, suman solamente 44% del total del IVI, mientras que en los SAFC

más jóvenes (30 años), *Samanea saman*, *Erythrina* sp., *Diphysa robinioides* y *Guazuma ulmifolia*, representan 52% del IVI. La presencia de especies como *Diphysa robinioides*, *Erythrina americana*, *Colubrina arborescens*, *Cedrela odorata*, *Gliricidia sepium* y *Samanea saman* en los SAFC de Tabasco, dan como resultado que las alturas promedio del componente arbóreo sean mayores a 10 m, con variaciones de 2 m hasta 35.5 m (Gutiérrez *et al.*, 2016). En plantaciones de 30 años, las alturas máximas fueron 37 m para *Samanea saman*, 30 m para *Guazuma ulmifolia* y 17 m para *Erythrina* sp., en tanto que, en plantaciones de 50 años, las alturas registradas son de 30 m para *Colubrina arborescens*, 30 m para *Gliricidia sepium*, 12 m para *Musa* sp., 35 m para *Guazuma ulmifolia* y 30 m para *Cedrela odorata* (Ramírez *et al.*, 2013).

En la presente investigación, las características dasométricas de algunas especies presentes son las que determinan las variables estructurales de los SAFC. Al respecto, Concha, Alegre, y Pocomucha (2007) señalan que la edad es un factor importante en el almacenamiento del carbono de los SAFC, por lo que los sistemas de 5 años, 12 años y 20 años de edad, pueden almacenar cantidades crecientes de carbono en la biomasa aérea de 14.23 Mg ha⁻¹, 35.5 Mg ha⁻¹ y 32.4 Mg ha⁻¹, respectivamente. Ortiz, Riascos y Somarriba (2008) mencionan entre 43 Mg ha⁻¹ y 62 Mg ha⁻¹ en SAFC de 25 años, mientras que, en plantaciones más jóvenes de 18 años y 35 años, se registran solamente 28.8 Mg ha⁻¹ y 33.6 Mg ha⁻¹, respectivamente (Andrade, Figueroa y Silva, 2013). Aunque son varias las investigaciones que mencionan la importancia de la edad del SAFC en el almacenamiento de carbono de la biomasa aérea, esa variable por sí misma no es determinante en la cantidad de carbono almacenado, la densidad de árboles en el sistema es un factor más influyente. Al respecto, Poveda, Orozco, Medina, Cerda y López (2013) indican que un SAFC de 19 años puede acumular 54.32 Mg de carbono por hectárea, cantidad superior a los 45.72 Mg ha⁻¹ que acumulan los SAFC de 21 años, aun cuando estos últimos presentan menor densidad de árboles, respecto a los SAFC más jóvenes. La presente investigación respalda este último argumento. Dado que a mayor cantidad de biomasa mayor



cantidad de carbono almacenado, los SAFC que presentan el arbolado de mayores clases diamétricas y alturas son los que acumulan mayor biomasa y carbono, por lo que la edad de los SAFC no es el factor más determinante en el almacenamiento de este elemento. En el presente estudio, los resultados indican que los árboles de cacao almacenan carbono entre 6.9 Mg ha^{-1} y 9.7 Mg ha^{-1} , mientras que los árboles de sombra acumulan entre 26.23 Mg ha^{-1} y 41.6 Mg ha^{-1} ; resultados que son similares a los encontrados por Somarriba *et al.* (2013), quienes cuantificaron una cantidad de 49 Mg de carbono por hectárea en la biomasa aérea del arbolado; de estas, 9 Mg ha^{-1} corresponden a los árboles de cacao, mientras que 32 Mg ha^{-1} se acumulan en los árboles de sombra. Por ello, Concha *et al.* (2007) indican que la especie de árbol de sombra y el manejo son factores importantes en el almacenamiento del carbono de la biomasa aérea en los SAFC. Por lo tanto, para comprender los procesos que conllevan a la acumulación del carbono de la biomasa aérea de estos sistemas, es necesario considerar los factores antes mencionados. Al respecto Bradford, Birdsey, Joyce y Ryan (2008), señalan que la edad de los árboles influye tanto en los almacenes como en los flujos de carbono, por lo que para modelar ambos, es necesario determinar el periodo crítico en el que los cambios ocurren. Esto es importante ya que, como se mencionó anteriormente, los árboles de cacao se renuevan cada 25 años o 30 años, mientras que los árboles de sombra cada 12 años. En ese sentido, más que considerar la participación de los árboles de cacao como un almacenamiento de carbono, se debería interpretar como un flujo, por lo que es importante considerar la dinámica de renovación en el SAFC como un operador importante en el ciclo biogeoquímico del carbono. Un ejemplo de lo anterior es la *Erythrina americana*, la cual puede ganar rápidamente biomasa aérea y absorber carbono, sin que esto llegue a significar una captura de largo plazo, ya que generalmente su renovación ocurre cada 12 años (Córdova *et al.*, 2001). Existen otras especies de mayor duración como *Samanea saman*, que pueden ganar una mayor cantidad de biomasa, por lo que pueden almacenar una mayor cantidad carbono,

por un mayor lapso de tiempo; sin embargo, estos árboles de sombra no son muy aceptados por los productores (Córdova *et al.*, 2001).

Si se toma en cuenta que los árboles de sombra más comunes en la región son *Erythrina americana*, *Diphysa robinioides* y *Colubrina arborescens*, especialmente en los municipios de Comalcalco y Jalpa de Méndez, es probable que un SAFC > 40 años, no necesariamente sea una plantación vieja, ya que estas pueden estar involucrando uno o dos ciclos de renovación y, con ello, aumentar su potencial de almacenamiento de carbono.

El grupo de suelo es otro factor clave en la acumulación del carbono en el SAFC. Según Ramos *et al.* (2004), los suelos FL son considerados como los mejores para el cultivo de cacao, debido a sus buenas características químicas y físicas, en particular los Eutrico-Fluvisoles, que son los más utilizados para el establecimiento de este cultivo en Tabasco. Al respecto, Saj, Jagoret y Ngogue (2013), indican que la capacidad de almacenamiento de carbono de los SAFC depende de la ubicación geográfica y los sistemas de manejo, más que de la edad y crecimiento de los árboles de cacao; sobre todo porque el componente arbóreo correspondiente al cacao no contribuye significativamente a la capacidad de almacenamiento del sistema. Sin embargo, es necesario precisar que, independientemente de la poca contribución que tienen los árboles de cacao en el almacenamiento del carbono, es importante resaltar la importancia que estos tienen en otros servicios ambientales, principalmente en el de conservación de la biodiversidad.

Por otra parte, Aponte (2011) indica que, en un sentido biológico, el suelo posee una gran diversidad de macro y microorganismos responsables de la descomposición de la materia orgánica, reciclado y mineralización de nutrientes; por lo tanto, es un subsistema imprescindible para comprender la organización y funcionamiento de los ecosistemas, sistemas forestales y sistemas agroforestales. Al ubicar espacialmente los SAFC en el mapa de grupos de suelos (Zavala-Cruz *et al.*, 2016), se determinó que los SAFC en el municipio de Cárdenas se distribuyen

principalmente sobre CM > FL > VR, en Comalcalco sobre FL > CM > GL y en Jalpa de Méndez sobre FL > GL. Determinar cuáles son las especies de árboles de sombra que se utilizan, la diversidad de especies, la estructura horizontal y vertical de las especies y la distribución de los SAFC en los distintos grupos de suelos permite la comprensión de la producción de biomasa aérea, así como del almacenamiento y flujos de carbono de dichos SAFC en cada municipio.

CONCLUSIONES

Los SAFC de los municipios evaluados albergan 24 familias, 37 géneros y 39 especies. Las familias más frecuentes son Fabaceae, Myrtaceae y Moraceae. Las especies más importantes son *Diphysa robinioides*, *Erythrina americana* y *Colubrina arborescens*. Las edades promedio de los SAFC son 21.6 años para Jalpa de Méndez, 27 años para Cárdenas y 33.6 años para Comalcalco. Los índices de diversidad de Shannon-Wiener y de similitud florística de Sorenson según grupos de suelos y municipios son iguales estadísticamente. El carbono de la biomasa aérea se almacena principalmente en SAFC > 40 años, sobre suelos Fluvisoles. En la biomasa aérea, los árboles de sombra almacenan carbono entre 24.33 Mg ha⁻¹ y 47.94 Mg ha⁻¹ y los de cacao entre 6.22 Mg ha⁻¹ y 9.7 Mg ha⁻¹.

REFERENCIAS

- Andrade, H. J., Figueroa, J. M. P., & Silva, D. P. (2013). Almacenamiento de carbono en cacaotales (*Theobroma cacao*) en Armero Guayabal (Tolima, Colombia). *Scientia Agroaliment*, 1, 6-10.
- Aponte, C. (2011). Interacciones planta-suelo en un bosque mediterráneo. *Revista Ecosistemas*, 20, 2-3.
- Bradford, J. B., Birdsey, R. A., Joyce, L. A., & Ryan, M. G. (2008). Tree age, disturbance history, and carbon stocks and fluxes in subalpine Rocky Mountain forests. *Global Change Biology*, 14(12), 2882-2897. doi: 10.1111/j.1365-2486.2008.01686.x
- Carreón S., R. J., & Valdez H., J. I. (2014). Estructura y diversidad arbórea de vegetación secundaria derivada de una selva mediana subperennifolia en Quintana Roo. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*, 20(1), 119-130. doi: 10.5154/r.rchscfa.2013.06.023
- Cerda B., R., Espin C., T., & Cifuentes, M. (2013). Carbono en sistemas agroforestales de cacao de la Reserva Indígena Bribri de Talamanca, Costa Rica. *Agroforestería en las américas*, 49, 33-41.
- Chave, J., Réjou-Méchain, M., Bürquez, A., Chidumayo, E., Colgan, M. S., Delitti, W. B., et al. (2014). Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global change biology*, 20(10), 3177-3190. doi: 10.1111/gcb.12629
- Chmolowska, D., Kozak, M., & Laskowski, R. (2016). Soil physicochemical properties and floristic composition of two ecosystems differing in plant diversity: fallows and meadows. *Plant and Soil*, 402(1-2), 317-329. doi: 10.1007/s11104-015-2788-7
- Concha, J. Y., Alegre, J. C., & Pocomucha, V. (2007). Determinación de las reservas de Carbono en la biomasa aérea de sistemas agroforestales de *Theobroma cacao* L. en el departamento de San Martín, Perú. *Ecología Aplicada*, 6(1,2), 75-82.
- Córdova A., V., Hernández M., S., Chulim N., E., Layalle A., M., Castro E., S., Saldaña T., M., & García C., F. O. (2001). Factores que afectan la producción de cacao (*Theobroma cacao* L.) en el ejido Francisco I. Madero del plan Chontalpa, Tabasco, México. *Universidad y Ciencia*, 17(34), 93-100.
- Curtis, J., & McIntosh, R. P. (1951). An upland forest continuum in the prairie-forest border region of Wisconsin. *Ecology*, 32(3), 476-496.
- Del Río, M., Montes, F., Cañellas, I., & Montero, G. (2003). Revisión: Índices de diversidad estructural en masas forestales. *Investigación agraria: Sistemas y recursos forestales*, 12(1), 159-176.
- Hernández-Gómez, E., Hernández-Morales, J., Avendaño-Arrazate, C. H., López-Guillén G., Garrido-Ramírez, E. R., Romero-Nápoles, J., & Nava-Díaz, C. (2015). Factores socioeconómicos y parasitológicos que limitan la producción del cacao en Chiapas, México. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 33, 232-246.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [Inegi] (2016). *Anuario estadístico y geográfico de Tabasco*. 742 p. Recuperado de http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/Productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/AEGPEF_2016/702825087357.pdf
- Magurran, A. E. (1988). *Ecological diversity and its measurement*. Cambridge University Press. doi: 10.1007/978-94-015-7358-0
- Magurran, A. E. (2004). *Measuring biological diversity*. Oxford: Blackwell Science.



- Medrano M., M. J., Hernández, F. J., Corral R., S., & Nájera L., J. A. (2017). Diversidad arbórea a diferentes niveles de altitud en la región de El Salto, Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 8(40), 57-68.
- Ordóñez D., J. A. B., Galicia N., A., Venegas M., N. J., Hernández T., T., Ordóñez D., M. J., & Dávalos-Sotelo, R. (2015). Densidad de las maderas mexicanas por tipo de vegetación con base en la clasificación de J. Rzedowski: compilación. *Madera y Bosques* 21(Núm. esp.), 77-126. doi: 10.21829/myb.2015.210428
- Ortiz, A., Riascos, L., & Somarriba, E. (2008). Almacenamiento y tasas de fijación de biomasa y carbono en sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao* L.) y laurel (*Cordia alliodora*). *Agroforestería en las Américas*, 46, 26-29.
- Penman, J., Gytarsky, M., Hiraishi, T., Krug, T., Kruger, D., Pipatti, R., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K., & Wagner, F. (2003). *Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry*. IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme and Institute for Global Environmental Strategies, Kanagawa, Japan. Recuperado de http://www.ipcc-npp.iges.or.jp/public/gpglulucf/gpglulucf_contents.htm.
- Pielou, E. C. (1969). *An introduction to mathematical ecology*. Nueva York: Wiley
- Poveda, V., Orozco, L., Medina, C., Cerdá, R., & López, A. (2013). Almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de cacao en Waslala, Nicaragua. *Agroforestería en las Américas*, 49, 42-50.
- Ramírez-Meneses, A., García-López, E., Obrador-Olán, J. J., Ruiz-Rosado, O., & Camacho-Chiu, W. (2013). Diversidad florística en plantaciones agroforestales de cacao en Cárdenas, Tabasco, México. *Universidad y ciencia*, 29(3), 215-230.
- Ramos R., R., Palma L., D. J., Ortiz S., C. A., Ortiz G., C. F., & Díaz-Padilla, G. (2004). Cambios de uso de suelo mediante técnicas de sistemas de información geográfica en una región cacaotera. *Terra Latinoamericana*, 22(3), 267-278.
- Roa R., H. A., Salgado M., M. G., & 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.
- Saj, S., Jagoret, P., & Todem, N. H. (2013). Carbon storage and density dynamics of associated trees in three contrasting *Theobroma cacao* agroforests of Central Cameroon. *Agroforestry systems* 87(6), 1309-1320. doi: 10.1007/s10457-013-9639-4
- Sánchez G., F., Pérez-Flores, J., Obrador O., J. J., Sol S., A., & Ruiz-Rosado, O. (2016). Estructura arbórea del sistema agroforestal cacao en Cárdenas, Tabasco, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 14(Núm. esp.), 2695-2709.
- Sánchez H., R., Mendoza P., J. D., & Salcedo P., E. (2013). Los sistemas agroforestales: una alternativa para el manejo sustentable de bosques y agroecosistemas. En: E. Salcedo P., E. Hernández A., T. Escoto G., & N. Díaz, E. (Eds.), *Los recursos forestales en el Occidente de México Tomo II*. (pp. 355-371). Guadalajara, Jalisco: Universidad de Guadalajara.
- Somarriba, E. (1999). Diversidad Shannon. *Agroforestería en las Américas*, 6(23), 72-74.
- Somarriba, E., Cerdá, R., Orozco, L., Cifuentes, M., Dávila, H., Espin, T., Mavisoy, H., Ávila, G., Alvarado, E., Poveda, V., Astorga, C., Say, E., & Deheuvels, O. (2013). Carbon stocks and cocoa yields in agroforestry systems of Central America. *Agriculture, ecosystems & environment*, 173, 46-57. doi: 10.1016/j.agee.2013.04.013
- Sorensen, T. A. (1948). A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociobiology based on similarity of species content and its application to analyses of vegetation in Danish commons. *Biologiske Skrifter*, 5, 1-34.
- Stiling, P. (1999). *Ecology: Theories and applications* (3a ed.). Nueva Jersey, EUA: Prentice Hall.
- Valenzuela-Córdova, B., Mata-Zayas, E. E., Pacheco-Figueroa, C. J., Chávez-Gordillo, E. J., Díaz-López, H. M., Gama, L., & Valdez-Leal, J. D. D. (2015). Potencial ecoturístico del agrosistema cacao (*Theobroma cacao* L.) con monos saraguatos (*Alouatta palliata* gray) en la Chontalpa, Tabasco. *Agroproductividad*, 8(5).
- Villavicencio-Enríquez, L., & Valdez-Hernández, J. I. (2003). Análisis de la estructura arbórea del sistema agroforestal rustico de café en San Miguel, Veracruz, México. *Agrociencia*. 37(4), 413-423.
- Zanne, A., López-González, G., Coomes, D., Ilic, J., Jansen, S., Lewis, S., Miller, R., Swenson, N., Wiemann, M., & Chave, J. (2009). *Global wood density database*. doi: 10.5061/dryad.234
- Zarco-Espinoza, V. M., Valdez-Hernández, J. I., Ángeles-Pérez, G., & Castillo-Acosta, O. (2010). Estructura y diversidad de la vegetación arbórea del parque estatal agua blanca, Macuspana, Tabasco. *Universidad y Ciencia*, 26(1), 1-17.
- Zavala-Cruz, J., Jiménez-Ramírez, R., Palma-López, D. J., Bautista-Zúñiga, F., & Gavi-Reyes, F. (2016). Paisajes geomorfológicos: base para el levantamiento de suelos en Tabasco, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 3(8), 161-171.

Manuscrito recibido el 27 de septiembre de 2017

Aceptado el 29 de agosto de 2018

Publicado el 29 de julio de 2019

Este documento se debe citar como:

Salvador-Morales, P., Cámara-Cabral, L. C., Martínez-Sánchez, J. L., Sánchez-Hernández, R., & Valdés-Velarde, E. (2019). Diversidad, estructura y carbono de la vegetación arbórea en sistemas agroforestales de cacao. *Madera y Bosques*, 25(1), e2511638. doi: 10.21829/myb.2019.2511638



Madera y Bosques por Instituto de Ecología, A.C. se distribuye bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.