

Estructura arbórea del sistema agroforestal cacao en Cárdenas, Tabasco, México*

Tree structure of cocoa agroforestry system in Cárdenas, Tabasco, Mexico

Facundo Sánchez Gutiérrez¹, Julián Pérez-Flores^{2§}, José Jesús Obrador Olan², Ángel Sol Sánchez² y Octavio Ruiz-Rosado³

¹Universidad Autónoma de Chiapas. Escuela Maya de Estudios Agropecuarios, Playas de Catazaja. (sanchez.facundo@colpos.mx). ²Colegio de Postgraduados-Campus Tabasco. Periférico Carlos A. Molina S/N, km 3.5 A. P. 24 Cárdenas, Tabasco, México. C. P. 86500. (obradoro@colpos.mx; sol@colpos.mx). ³Colegio de Postgraduados-Campus Veracruz. Carretera Federal Veracruz-Xalapa-Vía Paso de Ovejas, km 26.5. A. P. 421, Veracruz, Veracruz, México. C. P. 91700. (octavior@colpos.mx). [§]Autor para correspondencia: julianflores@colpos.mx.

Resumen

En el presente trabajo se comparó la composición florística, y la estructura y diversidad de especies arbóreas entre sistemas agroforestales de cacao (SAF-cacao) de diferente edad. En 20 sitios de muestreo de 5 000 m² cada uno, de cada árbol se midió el diámetro a la altura del pecho (DAP_{1.3m}) y la altura total (Ht); y se calculó el área basal (AB, m² ha⁻¹), índice de valor de importancia (IVI), los índices de diversidad (H') y uniformidad de Shannon (E) y los índices de similitud. Se registraron 2 856 árboles, pertenecientes a 67 especies de 58 géneros y 28 familias botánicas. Las familias más diversas fueron Fabaceae, Moraceae, Rutaceae, Sapotaceae y Verbenaceae. Los SAF de 25 y 20 años presentaron la mayor y menor área basal (AB) con 22.7 y 12.16 m² ha⁻¹, respectivamente. En cuanto al IVI, *Erythrina americana*, *Cedrela odorata*, *Erythrina poeppigiana*, *Gliricidia sepium* y *Colubrina arborescens*, representaron 53.1% de las 67 especies registradas. Los SAF de 35 y 6 años presentaron la mayor y menor diversidad con valores H' de 2.89 y 0.92, respectivamente. A mayor edad de los SAF, estos fueron más uniformes. El SAF-cacao de 18 y 38 años y los de 25 y 30 años de edad fueron los más similares en composición de especies arbóreas, respectivamente.

Abstract

In this paper the floristic composition and structure and tree species diversity between cacao agroforestry systems (SAF-cacao) of different age were compared. In 20 sampling sites of 5 000 m² each, from each tree measured diameter at breast height (DAP_{1.3m}) and total height (Ht); basal area (AB, m² ha⁻¹), importance value index (IVI), diversity indices (H') and Shannon index (E) and similarity indices were calculated. 2 856 trees were recorded, belonging to 67 species from 58 genera and 28 botanical families. The most diverse families were Fabaceae, Moraceae, Rutaceae, Sapotaceae and Verbenaceae. The 25 and 20 years SAF had the highest and lowest basal area (AB) with 22.7 and 12.16 m² ha⁻¹, respectively. As for IVI, *Erythrina americana*, *Cedrela odorata*, *Poeppigiana erythrina*, *Gliricidia sepium* and *Colubrina arborescens*, represented 53.1% of the 67 species recorded. The 35 and 6 years SAF had the highest and lowest diversity with H' values of 2.89 and 0.92, respectively. The older the SAF, were more uniform. The 18 and 38 years and between 25 and 30 years SAF-Cocoa were the most similar in tree species composition, respectively.

* Recibido: diciembre de 2015
Aceptado: marzo de 2016

Palabras clave: estructura y diversidad arbórea, sistema agroforestal cacao.

Keywords: cacao agroforestry system, structure and tree diversity.

Introducción

A nivel mundial 70% del SAF-cacao se cultiva en asociación con árboles de sombra y con cultivos anuales y perennes (Salgado *et al.*, 2007). 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). Además el SAF-cacao puede ser un espacio para la conservación de la biodiversidad, captura de carbono y amortiguador de las condiciones climáticas adversas, aspecto que aún carece de valor para gran parte de las zonas cacaoteras de México y del mundo (Parrish *et al.*, 1999; Roa *et al.*, 2009).

En México la mayor parte de la producción de cacao se localiza en los estados de Chiapas y Tabasco. Estos estados suman una superficie de 61 444 ha, de las cuales dependen 47 mil productores. En Tabasco la superficie plantada es de 41 117 ha, donde se obtienen 16 560 t de cacao seco, que sustentan a 31 139 familias (SAGARPA, 2010; FAOSTAT, 2011); el 96% de la superficie cacaotera se distribuye en la región de la Chontalpa y 4% en la región Sierra (López *et al.*, 2005). Por ello, la región de la Chontalpa es la principal zona productora de cacao en México y donde se han desarrollado la mayor cantidad de estudios en el cultivo de cacao.

Los estudios sobre diversidad arbórea para sombra en el SAF-cacao en México son escasos pero han determinado que las especies más comunes son *Erythrina americana* Mill, *Diphysa robinoides* Benth, *Gliricidia sepium* (Jacq.) Walp, *Samanea saman* (Jacq.) Merr y *Colubrina arborescens* (Mill.) Sarg, árboles frutales *Mangifera indica*, *Citrus* sp y *Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. y forestal maderable *Cedrela odorata* L. (Ramos 2001; Córdova *et al.*, 2001). En Nigeria, el cacao se asocia con *Cola nitida* (Sterculiaceae), planta que se considera una especie industrial (Salgado *et al.*, 2007).

La mayoría de estudios del SAF-cacao se centran en la descripción agronómica de los sistemas de producción y algunos en la fauna (Parrish *et al.*, 1999). Ibarra y Estrada (2001) y Salgado *et al.* (2007) citan 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 la de otros hábitats agrícolas

Introduction

Globally 70% of SAF-cocoa is grown in association with shade trees and annual and perennial crops (Salgado *et al.*, 2007). Shade trees constitute an element which may contribute to the sustainability of this system due for the production of dead leaves, nutrient recycling and prevention of soil erosion (Alvim and Nair, 1986; Salgado *et al.*, 2007). Besides SAF-cocoa can be a space for biodiversity conservation, carbon capture and cushion for adverse weather conditions, aspect that is worthless even for most of the cocoa growing areas of Mexico and the world (Parrish *et al.*, 1999; Roa *et al.*, 2009).

In Mexico most of the cocoa production is located in Chiapas and Tabasco. These states have a combined area of 61 444 ha, of which 47 000 farmers depend economically. The planted area in Tabasco is 41 117 ha, from which are obtained 16 560 t of dry cocoa, sustaining 31 139 families (SAGARPA, 2010; FAOSTAT, 2011); 96% of the cocoa area is distributed in the Chontalpa region and 4% in the Sierra region (López *et al.*, 2005). Therefore, the Chontalpa region is the main cocoa producing area in Mexico and where most studies on the cultivation of cocoa have developed.

The studies on shade tree diversity in SAF-cocoa in Mexico are scarce but have determined that the most common species are *Erythrina americana* Mill, *Diphysa robinoides* Benth, *Gliricidia sepium* (Jacq.) Walp, *Samanea saman* (Jacq.) Merr and *Colubrina arborescens* (Mill.) Sarg, fruit trees *Mangifera indica*, *Citrus* sp. and *Pouteria sapota* (Jacq.) H.E. and forest timber *Cedrela odorata* L. (Ramos 2001; Córdova *et al.*, 2001). In Nigeria, cocoa is associated with *Cola nitida* (Sterculiaceae), plant considered as industrial species (Salgado *et al.*, 2007).

Most studies of FAS-cocoa focus on agronomic description of production systems and some in wildlife (Parrish *et al.*, 1999). Ibarra and Estrada (2001) and Salgado *et al.* (2007) cite the cacao maintain a wide diversity of birds, bats, non-flying mammals and invertebrates, similar to the natural forest and superior to other agricultural habitats of intensive use. Mammal species like the mantled howler

de uso más intensivo. Las especies de mamíferos como el mono aullador (*Alouatta palliata*) han persistido en fincas cacaoteras del municipio de Comalcalco, Tabasco, donde se alimentan de especies arbóreas como *Ficus cotinifolia*, *F. obtusifolia*, *Ficus* sp., *Samanea saman* y *Gliricidia sepium*; este mamífero está reportado como especie en peligro de extinción según la NOM-059 del año 2002 (Muñoz *et al.*, 2005). Pérez (2008) indica que la diversidad de germoplasma del cacao afecta la abundancia y diversidad de escarabajos de la familia *Scolytidae*; este autor recolectó e identificó 19 especies de plantas hospederas pertenecientes a 11 familias botánicas, siendo cacao (*Theobroma cacao*) y caoba (*Swietenia macrophylla*) las especies arbóreas donde se recolectaron más organismos.

Ramírez *et al.* (2013) al analizar la diversidad florística en SAF-cacao de 30 y 50 años de edad en Tabasco, México reportó que los sistemas de mayor edad son más diversos que los de menor edad. Dicha diversidad es superior a la de otros sistemas de uso intensivo y similar a la diversidad de especies de la selva mediana perennifolia de Tabasco (Zarco *et al.*, 2010). Por lo anterior el objetivo del presente trabajo fue comparar la composición florística, la estructura y la diversidad de las especies arbóreas en el SAF-cacao de diferente edad en Cárdenas, Tabasco.

Materiales y métodos

Área de estudio

El estudio se realizó en el SAF-cacao en diferentes localidades del municipio de Cárdenas: poblado C-11, C-28. Carretera Cárdenas- Coatzacoalcos, km 21, Santa Ana 2ª sección y Miguel Hidalgo 2ª sección. El municipio de Cárdenas se localiza en la región de la Chontalpa del estado de Tabasco, principal zona productora de cacao en México. Las coordenadas extremas del municipio son 17° 59' latitud norte y 91° 32' longitud oeste y se localiza a una altitud de 2 a 17 msnm; tiene un clima cálido- húmedo, con precipitación media anual y mensual de 2 643 y 355 mm, respectivamente y una temperatura media anual de 26 °C y máxima de 45 °C.

Parcelas de estudio y procedimiento de muestreo

Las parcelas de estudio fueron seleccionadas a partir de recorridos de campo y con la base de información geográfica de predios de cacao realizada por la Secretaría de Desarrollo

(*Alouatta palliata*) have persisted in cacao farms in the municipality of Comalcalco, Tabasco, where they feed on tree species such as *Ficus cotinifolia*, *F. obtusifolia*, *Ficus* sp., *Gliricidia sepium* and *Samanea saman*; this mammal is reported as endangered species according to NOM-059 of 2002 (Muñoz *et al.*, 2005). Pérez (2008) indicates that cacao germplasm diversity affects the abundance and diversity of beetles from the family *Scolytidae*; this author collected and identified 19 species of host plants belonging to 11 botanical families, being cocoa (*Theobroma cacao*) and mahogany (*Swietenia macrophylla*) the tree species where more organisms were collected.

Ramírez *et al.* (2013) analyzing the floristic diversity of 30 and 50 years old SAF-cacao in Tabasco, Mexico reported that older systems are more diverse than younger. This diversity is higher than in other intensive systems and similar to species diversity of evergreen tropical forest from Tabasco (Zarco *et al.*, 2010). Therefore the objective of this study was to compare the floristic composition, structure and diversity of tree species in the SAF-cocoa with different age Cárdenas, Tabasco.

Materials and methods

Study area

The study was conducted in SAF-cocoa from different localities of the municipality of Cardenas: village C-11, C-28. Cárdenas-Coatzacoalcos road, km 21, Santa Ana 2nd section and Miguel Hidalgo 2nd section. The municipality of Cárdenas is located in the Chontalpa region in Tabasco, main producing area of cocoa in Mexico. The extreme coordinates of the municipality are 17° 59' north latitude and 91° 32' west longitude and is located at an altitude of 2-17 masl; it has a warm-humid climate, with annual and monthly rainfall of 2 643 and 355 mm, respectively, and an average annual temperature of 26 °C and maximum 45 °C.

Study plots and sampling procedure

The study plots were selected from field trips and based on geographic information of cocoa fields made by Secretaria de Desarrollo Agropecuario Forestal y Pesca (SEDAFOP) and the list of cocoa producers 2008 (SEDAFOP and OEIDRUS, 2008; OEIDRUS, 2007). Also, the authorities

Agropecuario Forestal y Pesca (SEDAFOP) y el padrón de productores de cacao 2008 (SEDAFOP y OEIDRUS, 2008; OEIDRUS, 2007). Asimismo, se entrevistó a los Comisariados ejidales y Delegados municipales de cada localidad, con la finalidad de contactar productores cooperantes (dueños de las parcelas) y solicitar su apoyo en la investigación.

Se establecieron 20 sitios de muestreo de 100 x 50 m (5 000 m²) cada uno. En cada sitio se determinó la composición florística mediante la identificación taxonómica de las especies arbóreas. Los árboles se ubicaron geográficamente y enumeraron. En cada sitio se registró la edad y superficie a través de una entrevista dirigida al productor cooperante (Zarco *et al.*, 2010). Las variables dasométricas registradas fueron: diámetro a la altura del pecho (DAP_{1.3 m}) y altura total (Ht) medidas con cinta métrica y un clinómetro tipo Haga, respectivamente (Scheelje, 2009). Los SAF se agruparon de acuerdo a la edad y se evaluaron los parámetros estructurales, índices de diversidad y composición florística a partir de especies.

Análisis estructural

El índice estructural se evaluó por medio del índice de valor de importancia (IVI) (Zarco *et al.*, 2010). El IVI se estimó mediante la ecuación:

$$IVI = DR + ABR + FR$$

Donde= DR es densidad relativa; ABR área basal relativa y FR es la frecuencia relativa (Scheelje, 2009). La DR, AB, ABR y FR se calcularon con las ecuaciones siguientes:

$$DR = \frac{\text{Número de individuos de una especie}}{\text{Número total de individuos de todas las especies}} \times 100$$

$$AB = 0.7854 \times DAP^2; 0.7854 = \frac{\pi}{4}$$

$$ABR = \frac{\text{Área basal de una especie}}{\text{Área basal total de todas las especies}} \times 100$$

$$FR = \frac{\text{Número de parcelas en que se presenta una especie}}{\text{Número total de parcelas donde aparecen todas las especies}} \times 100$$

Análisis de diversidad y uniformidad

Para el análisis de la diversidad se utilizó el índice de diversidad de Shannon-Wiener (H'). Este índice se basa en la abundancia proporcional de las especies (Magurran,

from the ejido and municipal delegates of each locality were interviewed, in order to contact cooperating producers (owners of the land) and seek their support in the investigation.

20 sampling sites of 100 x 50 m (5 000 m²) each were established. At each site the floristic composition was determined by taxonomic identification of tree species. The trees were geographically located and listed. At each site, the age and surface was recorded through an interview addressed to the cooperating producer (Zarco *et al.*, 2010). The recorded forest variables were: diameter at breast height (DAP_{1.3 m}) and total height (Ht) with tape measures and an inclinometer Haga type, respectively (Scheelje, 2009). The SAF were grouped according to age and the structural parameters, diversity indices and floristic composition were measured from species.

Structural analysis

The structural index was evaluated by the importance value index (IVI) (Zarco *et al.*, 2010). IVI was estimated by the equation: IVI= DR + ABR + FR.

$$IVI = DR + ABR + FR$$

Where: DR is relative density; ABR relative basal area and FR is relative frequency (Scheelje, 2009). DR, AB, ABR and FR were calculated with the following equations:

$$DR = \frac{\text{Number of individuals of species}}{\text{Total number of individuals of all species}} \times 100$$

$$AB = 0.7854 \times DAP^2; 0.7854 = \frac{\pi}{4}$$

$$ABR = \frac{\text{Basal area of a species}}{\text{Total basal area of all species}} \times 100$$

$$FR = \frac{\text{Number of plots in which a species is present}}{\text{Total number of plots where all species are present}} \times 100$$

Diversity and uniformity analysis

For the diversity analysis the diversity index of Shannon-Wiener (H') were used. This index is based on the proportional abundance of species (Magurran, 1989). The equation used was H' = -Σpi(lnpi) where: Pi is the ratio of total sample found for species *i* and ln is the natural logarithm.

1989). La ecuación utilizada fue: $H' = -\sum pi(\ln pi)$, donde: pi es la proporción del total de la muestra encontrada para la especie i y ln es el logaritmo natural.

El índice de equidad Shannon-Wiener (E) se calculó para conocer la abundancia relativa a nivel de especies representada como la equidad o uniformidad. Este índice sirvió para conocer el grado en que los individuos de diferentes especies están representados equitativamente a nivel de SAF y se estimó con la ecuación:

$$E = \frac{H'}{\ln S}$$

Donde: H' = índice de diversidad de Shannon-Wiener, lnS es el logaritmo natural del número de especies.

Índices de similitud

El análisis de similitud entre los SAF-cacao de las edades reportadas se determinó mediante el método de Jaccard y Sorenson para datos cualitativos y el método de Sorenson y Morisita Horn. para datos cuantitativos. En los cuatro métodos, los valores tienden a ser igual a uno en caso de similitud completa e igual a cero si las poblaciones son diferentes y no tienen especies en común (Mostacedo y Fredericksen, 2000). Las ecuaciones utilizadas para calcular estos índices se muestran en el Cuadro 1.

The equity index Shannon-Wiener (E) was calculated to determine the relative abundance at species level represented as equity or uniformity. This index was used to determine the degree to which individuals of different species are represented equally at SAF level and was estimated with the equation:

$$E = \frac{H'}{\ln S}$$

Where: H' = diversity index of Shannon-Wiener, lnS is the natural logarithm of the number of species.

Similarity indices

The similarity analysis between the reported ages of SAF-cocoa was determined by Jaccard and Sorenson method for qualitative data and the Sorenson and Morisita Horn method for quantitative data. In the four methods, the values tend to be equal to one in case of complete similarity and zero if populations are different and have no species in common (Mostacedo and Fredericksen, 2000). The equations used to calculate these indices are shown in Table 1.

To calculate the diversity, equity and similarity indeces the InfoStat software version 0.1 and BIO-DAP (Di Rienzo *et al.*, 2008) were used. For diversity and equity with the

Cuadro 1. Índices de similitud utilizados para comparar sistemas agroforestales de cacao de diferente edad en Cárdenas, Tabasco, México.

Table 1. Similarity indices used to compare cocoa agroforestry systems of different ages in Cárdenas, Tabasco, Mexico.

Índices de similitud		Ecuación
Cualitativos	Jaccard	$C_j = \frac{c}{a + b + 1}$
	Sorenson	$C_s = \frac{2c}{a + b}$
Cuantitativos	Sorenson	$C_N = \frac{2j_N}{aN + bN}$
	Morisita-Horn	$C_{MH} = \frac{2\sum(an_i \times bn_i)}{(da + db) \times (aN \times bN)}$ $da = \frac{\sum an_i^2}{aN^2}$ y $db = \frac{\sum bn_i^2}{bN^2}$

A= número de especies presentes en el sitio a; b= número de especies presentes en el sitio b; c= número de especies presentes en ambos sitios; aN= número de individuos en el sitio A; bN= número de individuos en el sitio B; jN= suma de las abundancias de especies en el sitio que presenta la abundancia inferior; an_i= número de individuos de la i-esima especie en el sitio A; bn_i= número de individuos de la i-esima especie en el sitio B.

Para calcular los índices de diversidad, equidad y similitud, se utilizó el software InfoStat versión 0.1 y BIO-DAP (Di Rienzo *et al.*, 2008). Para la diversidad y equidad con la edad del SAF-cacao se realizó un análisis de correlación lineal simple para conocer la tendencia del número y uniformidad de especies conforme avanza en edad el SAF-cacao.

Resultados y discusión

Composición florística

Las especies arbóreas en el SAF-cacao juegan un papel importante para la conservación de la biodiversidad y disponibilidad de germoplasma en Tabasco, México. Se muestrearon 10 ha de 36.5 ha de SAF-cacao visitadas. La superficie promedio de los SAF fue de 1.8 ha, variando de 0.5 a 5 ha, indicando que los cacaotales se encuentran en manos de pequeños productores. Los SAF visitados se agruparon en nueve edades que fluctuaron de 6 a 35 años (Cuadro 3). Se registraron 2,856 árboles, pertenecientes a 67 especies y 58 géneros, agrupados en 28 familias.

Las cinco especies con el mayor número de individuos del total de los sitios muestreados fueron *Erythrina americana* Mill. (812 individuos), *Cedrela odorata* L. (573) *Gliricidia sepium* (Jacq.) Walp. (247), *Colubrina arborescens* (Mill.) Sarg. (246) y *Diphysa robinoides* Benth. (188); éstas representaron 72.4% de total de los árboles registrados. Las 10 familias más diversas fueron: Fabaceae con 10 especies, Moraceae 4, Rutaceae 4, Sapotaceae 4, Verbenaceae 4, Arecaceae 3, Meliaceae 3, Rubiaceae 3 y Sterculiaceae con 3 especies. Las familias Fabaceae, Meliaceae, Rhamnaceae y Bignoniaceae se presentaron en los SAF-cacao de las 9 edades y en ellas sobresalieron por frecuencia *E. americana*, *C. odorata*, *C. arborescens* y *Tabebuia rosea*, respectivamente.

Ramos (2001) en 9 ha de SAF-cacao en Tabasco, registró 33 especies pertenecientes a 31 géneros y 17 familias, en nuestro estudio las especies *D. robinoides* y *G. sepium* fueron las más frecuentes. En la misma entidad Ramírez *et al.* (2013) en 6 ha de SAF-cacao registró 1,741 árboles, de 49 especies, 45 géneros y 25 familias y al igual que en la presente investigación, reportó que las especies *D. robinoides* y *C. arborescens* fueron las más frecuentes. En la región del Soconusco, Chiapas Salgado *et al.* (2007) en

age of SAF-cocoa, a simple linear correlation analysis was performed to determine the trend number and uniformity of species as the age of SAF-cocoa advances.

Results and discussion

Floristic composition

Tree species in the SAF-cocoa play an important role for biodiversity conservation and germplasm, availability in Tabasco, Mexico. 10 ha were sampled from 36.5 ha of SAF-cocoa visited. The average size of the SAF was 1.8 ha, varying from 0.5 to 5 ha, indicating that cacao plantations are in the hands of small farmers. The SAF visited were grouped into nine ages ranging from 6 to 35 years (Table 3). 2 856 trees belonging to 67 species and 58 genera, grouped in 28 families were recorded.

The five species with the highest number of individuals from the total sampled sites were *Erythrina americana* Mill. (812 individuals), *Cedrela odorata* L. (573) *Gliricidia sepium* (Jacq.) Walp. (247) *Colubrina arborescens* (Mill.) Sarg. (246) and *Diphysa robinoides* Benth. (188); representing 72.4% of total trees registered. The 10 most diverse families were Fabaceae with 10 species, Moraceae 4, Rutaceae 4, Sapotaceae 4, Verbenaceae 4, Arecaceae 3, Meliaceae 3, Rubiaceae 3 and Sterculiaceae 3 species. Families Fabaceae, Meliaceae, Rhamnaceae and Bignoniaceae were present at the SAF-cocoa age of 9 and in them highlighted by frequency *E. americana*, *C. odorata*, *C. arborescens* and *Tabebuia rosea*, respectively.

Ramos (2001) in 9 ha of SAF-cacao in Tabasco, recorded 33 species belonging to 31 genera and 17 families in our study the species *D. robinoides* and *G. sepium* species were the most frequent. In the same locality Ramírez *et al.* (2013) in 6 ha of SAF-cocoa recorded 1,741 trees, from 49 species, 45 genera and 25 families and as in this investigation, reported that the species *D. robinoides* and *C. arborescens* were the most frequent. In the Soconusco region, Chiapas Salgado *et al.*, (2007) in 7.2 ha recorded 720 trees, 47 species, 38 genera and 23 families; the species *G. sepium* was the most frequent in the SAF-cocoa. This study and the three studies cited agreed on the Fabaceae family as the most common for shade in the SAF-cocoa in Mexico. In contrast, Guiracocha *et al.* (2001) in Costa Rica, Rosa (2003) in Brazil, Orozco and Somarriba (2005) in Bolivia and Hervé and Vidal (2008)

7.2 ha registraron 720 árboles, 47 especies, 38 géneros y 23 familias, la especie *G. sepium* fue la más frecuente en el SAF-cacao. El presente estudio y los tres estudios citados coincidieron en la familia Fabaceae como la más frecuente para sombra en el SAF-cacao en México. En contraste, Guiracocha *et al.* (2001) en Costa Rica, Rosa (2003) en Brasil, Orozco y Somarriba (2005) en Bolivia y Hervé y Vidal (2008) en Camerún reportaron a las familias Moraceae y Anacardiaceae como las de mayor frecuencia en el SAF-cacao; los autores atribuyeron lo anterior a que no se han eliminado totalmente las especies arbóreas nativas de las selvas donde fueron establecidos los SAF-cacao, y en estas selvas abundan los géneros *Artocarpus*, *Ficus* y *Brosimum* de las familias citadas.

Estratificación vertical y horizontal

La altura promedio del componente arbóreo en el SAF-cacao fue de 10.1 m, variando de 2 a 35.5 m. El 90.1% de los árboles registrados midieron menos de 15 m. El DAP promedio fue de 23 cm, variando de 1 a 146.6 cm. La densidad promedio total fue de 286 árboles ha⁻¹, variando de 96 a 618 árboles ha⁻¹. Los SAF-cacao de 6 años y 33 años presentaron la mayor y menor densidad, respectivamente (Cuadro 2). Los SAF de 25 años registraron mayor AB, con un valor medio de 22.7 m² ha⁻¹ por las especies *Erythrina poeppigiana* y *Samanea saman* predominantes; la menor AB la presentaron los SAF-cacao de 20 años con 12.16 m² ha⁻¹ (Cuadro 2) conformado por árboles pequeños. Particularmente en el SAF-cacao de 20 años el productor cambió mote (*E. americana*) y chipilcohite (*D. robinoides*) establecidos como árboles de sombra por cedro (*C. odorata*) como especie maderable; no obstante, este SAF ocupó el segundo lugar en densidad.

En los SAF-cacao ≤20 años se registró una mayor densidad de árboles y en los SAF ≥25 años, se registró una mayor diversidad. Esto puede explicarse porque conforme los árboles desarrollan, el productor corta algunos árboles (aclarea el sistema) y siembra otros (diversifica el sistema). Los árboles que siembra son de especies frutales, maderables y ornamentales. También contribuye en esta diversificación la distribución de semillas que realizan las aves y roedores. En los SAF de 35 y 25 años se encontraron el 96 y 79% de las 28 familias y 67 y 58% de las 67 especies registradas; los de 20 años son menos diversos con 13% de especies y 21% de familias registradas en todos los SAF-cacao muestreados (Cuadro 2).

in Cameroon reported the Moraceae and Anacardiaceae families as the most frequent in the SAF-cocoa; the authors attributed the above to native tree species have not been completely eliminated from the forests where SAF-cocoa were established, and in these forests abound the genera *Artocarpus*, *Ficus* and *Brosimum* of the cited families.

Vertical and horizontal stratification

The average height of the tree component in the SAF-cocoa was 10.1 m, varying from 2 to 35.5 m. 90.1% of registered trees measured less than 15 m. The average DAP was 23 cm, varying from 1 to 146.6 cm. The total average density was 286 trees ha⁻¹, varying from 96 to 618 trees ha⁻¹. The SAF-cocoa of 6 and 33 years had the highest and lowest density, respectively (Table 2). The 25 years SAF recorded greater AB, with a mean value of 22.7 m² ha⁻¹ predominating *Erythrina poeppigiana* and *Samanea saman*; the lowest AB were for the 20 years old SAF-cocoa with 12.16 m² ha⁻¹ (Table 2) made up of small trees. Particularly in the 20 years SAF-cocoa the producer changed mote (*E. americana*) and chipilcohite (*D. robinoides*) established as shade trees for cedar (*C. odorata*) as timber species; however, this SAF ranked second in density.

In the SAF-cocoa ≤20 years, recorded higher tree density and in SAF ≥25 years, recorded higher diversity. This can be explained because as the trees develop, the producer cut some trees (thinning the system) and plants other (diversifying the system). The trees planted are fruits, timber and ornamental species. This diversification also contributes to the distribution of seeds that birds and rodents do. In the 35 and 25 years SAF were found 96 and 79% of the 28 families and 67 and 58% of the 67 species recorded; The 20 years are less diverse with 13% of species and 21% of families registered in all SAF-cocoa sampled (Table 2).

Structural indices

The five species with the highest importance value index (IVI) present in the 20 sites sampled were: *E. americana*, *C. odorata*, *E. poeppigiana*, *G. sepium* and *C. arborescens* representing 53% of the recorded species. In relative density (DR) and relative dominance (ABR) *E. americana* had the highest values and *C. odorata* had the highest relative frequency (FR). *Erythrina poeppigiana* had the lowest DR and FR among the five species cited but ranked second and third place in ABR and IVI, respectively (Table 3) due to its greater AB.

Cuadro 2. Valores promedio de variables dasométricas, familias y especies vegetales estimados en el sistema agroforestal cacao en Cárdenas, Tabasco, México.

Table 2. Average values of forest variables, families and plant species estimated in cacao agroforestry system in Cárdenas, Tabasco, Mexico.

SAF-cacao		Altura total (m)	Área basal (m ² ha ⁻¹)	Densidad (árboles ha ⁻¹)	Número	
Edad	Núm.				Familias	Especies
35	2	9.8	14.00	350	27	45
33	1	10.9	15.14	156	10	14
30	3	9.5	20.40	262	17	26
27	2	12.4	15.48	162	9	17
25	6	10.0	22.70	240	22	39
20	1	8.4	12.16	576	6	9
18	2	10.8	16.38	238	17	22
15	2	9.8	17.84	320	15	14
6	1	11.8	17.18	618	10	14

Índices estructurales

Las cinco especies con mayor índice de valor de importancia (IVI) presentes en los 20 sitios muestreados fueron: *E. americana*, *C. odorata*, *E. poeppigiana*, *G. sepium* y *C. arborescens* que representaron 53% del total de las especies registradas. En densidad relativa (DR) y dominancia relativa (ABR) *E. americana* presentó los valores más altos y *C. odorata* tuvo la mayor frecuencia relativa (FR). *Erythrina poeppigiana* presentó la DR y FR más bajas entre las cinco especies citadas pero ocupó el segundo y tercer lugar en ABR e IVI, respectivamente (Cuadro 3) debido a su mayor AB.

Los SAF-cacao de menor edad tuvieron una mayor densidad de árboles por hectárea. A nivel estructural los SAF-cacao de 25 años de edad presentaron una mayor AB con un promedio de 22.7 m² ha⁻¹, debido principalmente a una mayor densidad de árboles de *E. poeppigiana* y *S. saman* que son especies de mayor diámetro. Aunque en densidad ocuparon el segundo lugar los SAF-cacao de 20 años presentaron una menor AB con un promedio de 12.16 m² ha⁻¹. Lo anterior debido a la introducción de especies forestales maderables *C. odorata* y *C. arborescens* por parte de la CONAFOR. Los SAF-cacao de 30 años presentaron un AB promedio de 20.4 m² ha⁻¹. Ramírez *et al.* (2013), en plantaciones de 50 y 30 años reportó un AB de 58 y 38 m² ha⁻¹, respectivamente; la diferencia del AB de los SAF de 30 años se atribuyó principalmente a las especies registradas entre las que sobresalió *S. saman*.

The younger SAF-cocoa had a higher tree density per hectare. At structural level the 25 years SAF-cocoa had higher AB averaging 22.7 m² ha⁻¹, mainly due to a higher tree density of *E. poeppigiana* and *S. saman* which are species of larger diameter. Although in density ranked second the 20 years old SAF-Cocoa with lower AB averaging 12.16 m² ha⁻¹. The latter is due to the introduction of timber species *C. odorata* and *C. arborescens* by CONAFOR. The 30 years SAF-Cocoa had an average AB of 20.4 m² ha⁻¹. Ramírez *et al.* (2013), in 50 and 30 years old plantations reported a AB of 58 and 38 m² ha⁻¹, respectively; the AB difference of the 30 years SAF was primarily attributed to the recorded species among which *S. saman* excelled.

Based on IVI and the age of the SAF-cocoa, the outstanding species were *C. odorata* in the 6 and 20 years old SAF, *G. sepium* in 15 and 35 years, *E. americana* in 18, 25 and 30 years and *D. robinoides* in 27 and 33 years (Table 3); the variation of tree species used as shade in the SAF-cocoa, is due to objective and preference of each producer, where Fabaceae and Meliaceae are the most common.

The structurally important species according to IVI, *E. americana*, *C. odorata*, *E. poeppigiana*, *G. sepium* and *C. arborescens*, agreed with that reported by Ramírez *et al.* (2013) in 30 and 50 years old plantations in Cárdenas, Tabasco. Leon (2006) in Ecuador reported species with higher IVI to *Mangifera indica*, *Tabebuia rosea*,

Cuadro 3. Densidad, dominancia, frecuencia e índice de valor de importancia de las especies arbóreas en sistemas agroforestales cacao de nueve edades en Cárdenas, Tabasco, México.**Table 3. Density, dominance, frequency and importance value index of tree species in cacao agroforestry systems from nine ages in Cárdenas, Tabasco, Mexico.**

Edad (años)	especie	Familia	DR	ABR	FR	IVI
6 a 35	<i>Erythrina americana</i> Mill.	Fabaceae	28.4	32.2	5.6	66.2
	<i>Cedrela odorata</i> L.	Meliaceae	20.1	8.5	5.9	34.5
	<i>Erythrina poeppigiana</i> (Walp.) O. F. Cook	Fabaceae	2.3	20.5	2.4	25.3
	<i>Gliricidia sepium</i> (Jacq.) Walp.	Fabaceae	8.7	5.5	3.5	17.6
	<i>Colubrina arborescens</i> (Mill.) Sarg.	Rhamnaceae	8.6	2.1	4.9	15.6
	62 especies restantes		31.9	31.2	77.7	140.8
	Total		100	100	100	300
6	<i>Cedrela odorata</i> L.	Meliaceae	78.0	91.2	7.1	176.3
	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	Sterculiaceae	9.4	3.6	7.1	20.1
	<i>Trophis racemosa</i> (L.) Urb.	Moraceae	4.5	1.3	7.1	13.0
	<i>Tabebuia rosea</i> (Bertol) DC.	Bignoniaceae	3.6	1.3	7.1	12.0
	<i>Samanea saman</i> (Jacq.) Merr.	Fabaceae	0.7	1.0	7.1	8.8
	9 especies restantes		3.9	1.7	64.2	69.9
	Total		100	100	100	300
15	<i>Gliricidia sepium</i> (Jacq.) Walp.	Fabaceae	35.1	29.3	5.3	69.7
	<i>Erythrina poeppigiana</i> (Walp.) O. F. Cook	Fabaceae	6.6	40.8	10.5	57.9
	<i>Erythrina americana</i> Mill.	Fabaceae	27.9	17.3	10.5	55.7
	<i>Cedrela odorata</i> L.	Meliaceae	11.9	3.0	10.5	25.4
	<i>Diphysa robinoides</i> Benth.	Fabaceae	9.7	3.4	10.5	23.6
	9 especies restantes		8.8	6.3	52.6	67.7
	Total		100	100	100	300
18	<i>Erythrina americana</i> Mill.	Fabaceae	46.0	50.4	6.9	103.3
	<i>Tabebuia rosea</i> (Bertol) DC.	Bignoniaceae	15.2	8.2	3.5	26.8
	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	Sterculiaceae	8.0	11.6	6.9	26.5
	<i>Mangifera indica</i> L.	Anacardiaceae	2.5	8.3	6.9	17.7
	<i>Colubrina arborescens</i> (Mill.) Sarg.	Rhamnaceae	7.2	3.3	6.9	17.4
	17 especies restantes		21.1	18.2	69.0	108.3
	Total		100	100	100	300
20	<i>Cedrela odorata</i> L.	Meliaceae	41	17.8	11.1	69.88
	<i>Gliricidia sepium</i> (Jacq.) Walp.	Fabaceae	27.1	22.2	11.1	60.38
	<i>Erythrina americana</i> Mill.	Fabaceae	18.8	29.3	11.1	59.18
	<i>Diphysa robinoides</i> Benth.	Fabaceae	6.6	12.0	11.1	29.75
	<i>Inga jinicuil</i> Schl.	Fabaceae	3.5	8.2	11.1	22.79
	4 especies restantes		3.1	10.5	44.4	58.02
	Total		100	100	100	300

DR= densidad relativa (%); ABR (%)= dominancia relativa (%); FR= frecuencia relativa (%), IVI= índice de valor de importancia.

Cuadro 3. Densidad, dominancia, frecuencia e índice de valor de importancia de las especies arbóreas en sistemas agroforestales cacao de nueve edades en Cárdenas, Tabasco, México (Continuación).**Table 3. Density, dominance, frequency and importance value index of tree species in cacao agroforestry systems from nine ages in Cárdenas, Tabasco, Mexico (Continuation).**

Edad (años)	especie	Familia	DR	ABR	FR	IVI
25	<i>Erythrina americana</i> Mill.	Fabaceae	45.4	36.1	6.7	88.1
	<i>Erythrina poeppigiana</i> (Walp.) O. F. Cook	Fabaceae	5.8	40.0	5.3	51.2
	<i>Cedrela odorata</i> L.	Meliaceae	16.1	4.6	6.7	27.3
	<i>Colubrina arborescens</i> (Mill.) Sarg.	Rhamnaceae	10.5	0.9	5.3	16.7
	<i>Samanea saman</i> (Jacq.) Merr.	Fabaceae	1.1	7.4	2.7	11.2
	34 especies restantes		21.1	11.0	73.3	105.5
	Total		100	100	100	300
27	<i>Diphysa robinoides</i> Benth.	Fabaceae	47.8	22.5	10.5	80.9
	<i>Gmelina arborea</i> Roxb.	Verbenaceae	10.6	31.4	5.3	47.3
	<i>Swietenia humilis</i> Zucc.	Meliaceae	9.9	19.1	5.3	34.3
	<i>Cedrela odorata</i> L.	Meliaceae	5.0	6.8	10.5	22.3
	<i>Swietenia macrophylla</i> King.	Meliaceae	5.0	7.6	5.3	17.9
	12 especies restantes		21.7	12.6	63.2	97.5
	Total		100	100	100	300
30	<i>Erythrina americana</i> Mill.	Fabaceae	56.6	68.6	7.3	132.5
	<i>Colubrina arborescens</i> (Mill.) Sarg.	Rhamnaceae	17.5	3.6	7.3	28.5
	<i>Cedrela odorata</i> L.	Meliaceae	4.8	3.5	4.9	13.2
	<i>Erythrina poeppigiana</i> (Walp.) O. F. Cook	Fabaceae	0.8	9.2	2.4	12.4
	<i>Tabebuia rosea</i> (Bertol) DC.	Bignoniaceae	5.6	1.7	4.9	12.2
	21 especies restantes		14.7	13.4	73.2	101.2
	Total		100	100	100	300
33	<i>Diphysa robinoides</i> Benth.	Fabaceae	38.5	16.3	7.1	61.9
	<i>Samanea saman</i> (Jacq.) Merr.	Fabaceae	5.1	45.9	7.1	58.2
	<i>Mangifera indica</i> L.	Anacardiaceae	7.7	16.9	7.1	31.7
	<i>Colubrina arborescens</i> (Mill.) Sarg.	Rhamnaceae	12.8	5.3	7.1	25.2
	<i>Citrus sinensis</i> (L.) Osb.	Rutaceae	11.5	4.9	7.1	23.6
	9 especies restantes		24.4	10.8	64.3	99.4
	Total		100	100	100	300
35	<i>Gliricidia sepium</i> (Jacq.) Walp.	Fabaceae	10.0	25.3	3.0	38.4
	<i>Colubrina arborescens</i> (Mill.) Sarg.	Rhamnaceae	16.9	5.4	3.0	25.4
	<i>Tabebuia rosea</i> (Bertol) DC.	Bignoniaceae	15.8	3.5	3.0	22.2
	<i>Cecropia obtusifolia</i> Bertol.	Cecropiaceae	8.6	8.1	3.0	19.7
	<i>Diphysa robinoides</i> Benth.	Fabaceae	7.7	7.5	3.0	18.2
	40 especies restantes		41.0	50.3	85	176.1
	Total		100	100	100	300

DR= densidad relativa (%); ABR (%)= dominancia relativa (%); FR= frecuencia relativa (%), IVI= índice de valor de importancia.

Con base en el IVI y la edad de los SAF-cacao, las especies sobresalientes fueron *C. odorata* en los SAF de 6 y 20 años de edad, *G. sepium* en los de 15 y 35 años, *E. americana* en los de 18, 25 y 30 años y *D. robinoides* en los de 27 y 33 años (Cuadro 3); la variación de las especies arbóreas utilizadas como sombra en el SAF-cacao, es debido al objetivo y la preferencia de cada productor, donde las familias Fabaceae y Meliaceae son las más frecuentes.

Las especies estructuralmente importantes según el IVI, *E. americana*, *C. odorata*, *E. poeppigiana*, *G. sepium* y *C. arborescens*, coincidieron con lo reportado por Ramírez *et al.* (2013) en plantaciones de 30 y 50 años de edad en Cárdenas, Tabasco. León (2006) en Ecuador reporta como especies con mayor IVI a *Mangifera indica*, *Tabebuia rosea*, *Artocarpus altilis*, *Quararibea cordata* e *Inga spectabilis*. Orozco y Somarriba (2005) en Bolivia reportaron como especies con mayor IVI a *Schyzolobium parahyba*, *Swietenia macrophylla*, *Amburana cearensis*, *Centrolobium ochroxylum* y *C. odorata*. Rosa (2003) en Brasil reportó como especies con mayor IVI a *Schefflera morototoni*, *Trema micrantha*, *Helicostylis tomentosa*, *Sloanea obtusifolia* y *Macrobium latifolium*; estas especies difieren de las del presente estudio debido a que los cultivos de cacao en Brasil están establecidos bajo selvas perturbadas, a diferencia de las plantaciones de la Chontalpa, Tabasco que son establecidas bajo especies arbóreas introducidas por el productor. No obstante, todos los casos confirman la importancia de los SAF-cacao como centros de conservación de biodiversidad, por la diversidad de especies arbóreas que poseen y por la función de hábitat para especies de flora y fauna.

Diversidad (H') y equidad (E)

De acuerdo con el índice de diversidad de Shannon a mayor edad del SAF-cacao existe una mayor diversidad a nivel de especies. Los SAF-cacao con edades de 35 años fueron los que registraron mayor diversidad de especies arbóreas ($H' = 2.89$), seguidos por los de 25 y 33 años que fueron iguales en diversidad ($H' = 2.07$), y los SAF de 6 años presentaron menor diversidad ($H' = 0.92$). En valor de equidad de Shannon (E) los SAF-cacao de 33 años registraron mayor equidad en número de individuos por especie, los de 15, 20 y 27 años registraron el mismo valor equitativo ($E = 0.67$) y los SAF de 6 años registraron el menor valor ($E = 0.35$) (Cuadro 4).

La correlación entre la edad con la diversidad ($r^2 = 0.6126$, $p = 0.01$), también indicó que entre más edad tienen los SAF, éstos son más diversos. Lo anterior coincidió con lo reportado por Ramírez *et al.* (2013) en Cárdenas, Tabasco para SAF-

Artocarpus altilis, *Quararibea cordata* and *Inga spectabilis*. Orozco and Somarriba (2005) in Bolivia reported with the highest IVI, *Schyzolobium parahyba*, *Swietenia macrophylla*, *Amburana cearensis*, *Centrolobium ochroxylum* and *C. odorata*. Rosa (2003) in Brazil reported species with the highest IVI, *Schefflera morototoni*, *Trema micrantha*, *Helicostylis tomentosa*, *Sloanea obtusifolia* and *Macrobium latifolium*; these species differ from those in this study because cocoa farms in Brazil are established under undisturbed forests, unlike plantations in Chontalpa, Tabasco that are established under tree species introduced by the producer. However, all cases confirm the importance of SAF-cocoa as centers of biodiversity conservation, by the diversity of tree species that possess and habitat function for flora and fauna.

Diversity (H') and equity (E)

According to the diversity index of Shannon the older the SAF-cocoa there is greater diversity at species level. The SAF-cocoa with age of 35 years old were those that recorded greater diversity of tree species ($H' = 2.89$), followed by 25 and 33 years which were equal in diversity ($H' = 2.07$), and the 6 years old SAF had lower diversity ($H' = 0.92$). In equity value of Shannon (E) the 33 years old SAF-cocoa recorded higher equity in number of individuals per species, the 15, 20 and 27 years old showed the same equity value ($E = 0.67$) and the 6 years SAF recorded the lowest value ($E = 0.35$) (Table 4).

The correlation between age and diversity ($r^2 = 0.6126$, $p = 0.01$), also indicated that as SAF grows older, are more diverse. This agreed with that reported by Ramírez *et al.* (2013) in Cardenas, Tabasco for 50 and 30 years old SAF-cocoa ($H' = 2.89$ and 2.57 , respectively). In contrast, Ramos (2001) in cocoa plantations in Tabasco, found that the older, less diversity ($H' = 1.24$, 1.75 and 1.46 , for 15, 20 and 30 years, respectively), probably due to thinning of the tree species during plant development.

In the Soconusco region in the state of Chiapas Salgado *et al.* (2007) reported diversity values ($H' = 2.74$ to 2.79) coinciding with those found in our study. However, these values and ours are lower than those reported by Rosa (2003) in Brazil ($H' = 3.31$ to 4.22) because in this country the cultivation of cocoa is established in disturbed forests, where there is greater plant diversity. Guiracocha *et al.* (2001) in Talamanca, Costa Rica reported diversity values ($H' = 2.56$, 1.75 and 1.10 , for forest, SAF-cacao and banana plantations, respectively), indicating a greater degree of

cacao de 50 y 30 años ($H' = 2.89$ y 2.57 , respectivamente). En contraste, Ramos (2001) en plantaciones de cacao en Tabasco, encontró que a mayor edad, menor diversidad ($H' = 1.24, 1.75$ y 1.46 ; para 15, 20 y 30 años, respectivamente), probablemente por los aclareos de las especies arbóreas durante el desarrollo de la planta.

species conservation in forest. The present study recorded greater diversity of species, than the three studied systems. Bojorges and López (2006) and Zarco *et al.* (2010) in evergreen tropical forest of Veracruz and Tabasco, respectively, found values of $H' = 2.5$. Corral *et al.* (2002) in the cloud forest in Tamaulipas reported $H' = 2.39$; both

Cuadro 4. Diversidad y equidad de especies en sistemas agroforestales de cacao de nueve edades en Cárdenas, Tabasco, México.
Table 4. Diversity and equity of species in cacao agroforestry systems from nine ages in Cárdenas, Tabasco, Mexico

Edad (años)	Varianza de H'	Índices de diversidad/equidad de Shannon	
		Diversidad (H')	Equidad (E)
6	0.00598	0.92	0.35
15	0.00304	1.76	0.67
18	0.00761	1.98	0.64
20	0.00234	1.47	0.67
25	0.00334	2.07	0.57
27	0.00976	1.89	0.67
30	0.00605	1.67	0.51
33	0.01325	2.07	0.78
35	0.00402	2.89	0.76

En la región del Soconusco en el estado de Chiapas Salgado *et al.* (2007) reportaron valores de diversidad ($H' = 2.74$ a 2.79) que coincidieron con los encontrados en nuestro estudio. No obstante, estos valores y los nuestros son menores a los reportados por Rosa (2003) en Brasil ($H' = 3.31$ a 4.22) debido a que en este país el cultivo de cacao se establece en selvas perturbadas, en las cuales hay mayor diversidad de especies vegetales. Guiracocha *et al.* (2001) en Talamanca, Costa Rica reportaron valores de diversidad ($H' = 2.56, 1.75$ y 1.10 , para el bosque, el SAF-cacao y plantaciones de banano, respectivamente), lo que indica un mayor grado de conservación de especies en el bosque. En el presente estudio registramos mayor diversidad de especies, que los tres sistemas estudiados. Bojorges y López (2006) y Zarco *et al.* (2010) en selva mediana perennifolia de Veracruz y Tabasco, respectivamente, encontraron valores de $H' = 2.5$. Corral *et al.* (2002) en el bosque mesófilo en Tamaulipas reportaron $H' = 2.39$; ambos resultados son menores a los del SAF-cacao de 35 años ($H = 2.89$) del presente estudio, lo cual indica que el SFA-cacao en México puede llegar a tener más diversidad arbórea que la selva y el bosque.

Correlación de la edad contra diversidad y equidad en los SAF-cacao

La correlación entre la edad de los SAF-cacao con la diversidad (H'), indicó una buena relación positiva ($r^2 = 0.6126$) (Figura 2) estadísticamente significativa ($p = 0.01$),

results are lower than those of 35 years SAF-cocoa ($H = 2.89$) in this study, indicating that the SAF-cocoa Mexico could have more tree diversity than forest and jungle.

The correlation between age of the SAF-cocoa and diversity (H'), indicated a good positive relationship ($r^2 = 0.6126$) (Figure 2) statistically significant ($p = 0.01$), indicating that the older the SAF, these have greater diversity of species and families. This diversity helps the producer to plant other trees (fruit, ornamental, and timber) and wildlife by seed dispersal. The correlation of age with equity indicated that there is a moderate positive relationship ($r^2 = 0.43569$) (Figure 1), statically not significant ($p = 0.05$); indicating that the older the SAF-cocoa, these are more uniform in number of individuals per species.

Similarity indices

The values from Sörenson and Jaccard indices for 18 and 33 years old SAF-cocoa, indicated that these tend to be slightly similar in species composition (0.67 and 0.50), while the 6 and 15 years old SAF tend to greater dissimilarity (0.21 and 0.24); this indicates that elderly SAF-cocoa tend to similarity in number of species, compared to younger. Likewise, the values from Morisita -Horn and Sorenson indices for 25 and 30 years old SAF-cocoa showed that these tend to be similar in number of trees of the same species (0.94 and 0.67), while 6 year old with 30 and 33 years old SAF-cocoa

indicando que entre más edad tienen los SAF, estos poseen una mayor diversidad de especies y familias botánicas. En esta diversidad contribuye el productor al sembrar otras especies arbóreas (frutales, ornamentales, maderables) y la fauna mediante la dispersión de semillas. La correlación de la edad con la equidad indicó que hay una moderada relación positiva ($r^2=0.43569$) (Figura 1), estadísticamente no significativa ($p=0.05$); indicando que entre mayor edad tienen los SAF-cacao, estos son más uniformes en número de individuos por especie.

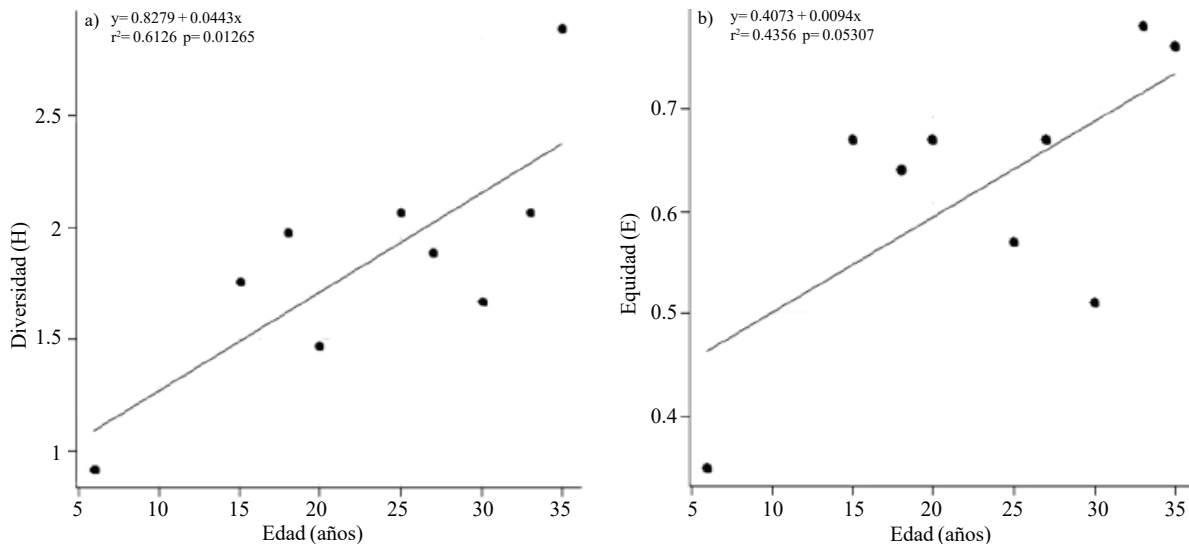


Figura 1. Correlación entre la edad del sistema agroforestal cacao con diversidad (a) y equidad de especies (b) en Cárdenas, Tabasco, México.

Figure 1. Correlation between age of cacao agroforestry system with diversity (a) and equity of species (b) in Cárdenas, Tabasco, Mexico.

Índices de similitud

Los valores de los índices de Sørensen y Jaccard para los SAF-cacao de 18 y 33 años de edad, indicaron que estos tienden a ser ligeramente similares en composición de especies (0.67 y 0.50), mientras que los SAF de 6 y 15 años tienden a una mayor disimilitud (0.21 y 0.24); lo anterior indica que los SAF-cacao de mayor edad tienden a la similitud en número de especies, en comparación con los de menor edad. Asimismo, los valores de los Índices Morisita-Horn y Sorenson para los SAF-cacao de 25 y 30 años de edad, indicaron que estos tienden a ser similares en número de árboles presentes de la misma especie (0.94 y 0.67), mientras que los SAF-cacao de 6 con 30 y 33 años tienden a mayor disimilitud (0.08 y 0.10; 0.11 y 0.07; respectivamente); esto indica que los SAF-cacao de mayor edad tienden a ser similares en número de individuos por especie.

tend to greater dissimilarity (0.08 and 0.10, 0.11 and 0.07, respectively); this indicates that older SAF-cocoa tend to be similar in number of individuals per species.

The values from the similarity indices of both qualitative and quantitative showed a clear trend of similarity in number of species and individuals among older plantations (25-30 years). These results agree with those reported by Ramírez *et al.* (2013) in 30 and 50 years old plantation.

Both studies contrast with the results from Ramos (2001) who reported that the older the SAF-cocoa there is greater dissimilarity at species level. Hervé and Vidal (2008) in Cameroon indicated that the type of management is a factor that determines a smaller percentage of similarity, inherent situation to every cocoa region of the world. In the present study, the SAF-cocoa neighbored with home orchards, reason why older SAF-cocoa tends to be more similar to each other at the species level. The latter is because it is a common practice for cocoa producer to introduce new tree species in the SAF, both native and exotic species as time passes.

Conclusions

In the 20 sites sampled 2856 trees belonging to 28 families, 58 genera and 67 species were recorded. The species *E. americana*, *E. poeppigiana*, *G. sepium* (Fabaceae), *C.*

Los valores de los índices de similitud tanto cualitativos como cuantitativos, mostraron una clara tendencia de similitud en número de especies y de individuos entre las plantaciones de mayor edad (25 - 30 años). Estos resultados coinciden con lo reportado por Ramírez *et al.* (2013) en plantaciones de 30 y 50 años. Ambos estudios contrastan con los resultados de Ramos (2001) quien reportó que entre SAF-cacao de mayor edad hay mayor disimilitud a nivel de especie. Hervé y Vidal (2008) en Camerún, indicaron que el tipo de manejo es un factor que determina un menor porcentaje de similitud, situación inherente a cada región cacaotera del mundo. En el presente estudio, los SAF-cacao colindaban con huertos familiares, razón por la cual los SAF-cacao de mayor edad tienden a ser más similares entre sí a nivel de especie. Lo anterior porque es una práctica común que los productores cacaoteros introduzcan en los SAF nuevas especies arbóreas tanto nativas como exóticas conforme pasa el tiempo.

Conclusiones

En los 20 sitios muestreados se registraron 2 856 árboles, pertenecientes a 28 familias, 58 géneros y 67 especies. Las especies *E. americana*, *E. poeppigiana*, *G. sepium* (Fabaceae), *C. odorata* (Meliaceae) y *C. arborescens* (Rhamnaceae), fueron las más frecuentes como especies para sombra en los SAF-cacao. Por su frecuencia, densidad y área basal, estas cinco especies presentaron el mayor índice estructural en las diferentes edades de los SAF muestreados. Los SAF-cacao de mayor edad, tendieron a ser más diversos en especies y familias botánicas que los de menor edad. Por índice de similitud cualitativa los SAF-cacao de 18 y 33 años de edad, fueron los más parecidos en número de árboles y de especies; la mayor similitud cuantitativa se registró entre los SAF de 25 y 30 años. Por la diversidad de las especies arbóreas registradas en el SAF-cacao, este puede ser propuesto como centro de conservación de la biodiversidad, o como un área natural para el refugio de vida silvestre.

Agradecimientos

Se agradece a la Línea Prioritaria de Investigación 2, LPI - Agroecosistemas Sustentables y LPI 8, Impacto y Mitigación del Cambio Climático del Colegio de Posgraduados en Ciencias Agrícolas, por las facilidades para el desarrollo de la presente investigación. Asimismo, al M. C. Vinicio Calderón Bolaina por su colaboración en la recolección y análisis de datos.

odorata (Meliaceae) and *C. arborescens* (Rhamnaceae), were the most common species for shade in the SAF-cocoa. By frequency, density and basal area, these five species showed the highest structural index at different ages of the SAF sampled. The older SAF-cocoa tended to be more diverse in species and botanical families than the youngest. For qualitative similarity indices the 18 and 33 years old SAF-cocoa were the most similar in number of trees and species; the highest quantitative similarity was recorded between the 25 and 30 years old SAF. By diversity of tree species recorded in the SAF-cocoa, it can be proposed as a center of biodiversity conservation, or as a natural area for wildlife refuge.

End of the English version



Literatura citada

- Alvim, R. and Nair, P. K. R. 1986. Combination of cocoa with other plantation crops. *Agroforestry Systems*. 4:3-15.
- Bojorges, B. J. C. y López, M. L. 2006. Asociación de la riqueza y diversidad de especies de aves y estructura de la vegetación en una selva mediana subperennifolia en el centro de Veracruz, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 77:235-249.
- Córdova, A. V.; Sánchez, H. M.; Estrella, C. N. G.; Macías, L. A.; Sandoval, C. E.; Martínez, S. T. y Ortiz, G. C. F. 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.
- Corral, R. J.; Aguirre, C. O. A.; Jiménez, P. J. y Nívar, C. J. J. 2002. Muestreo de diversidad y observaciones ecológicas del estrato arbóreo del bosque mesófilo de montaña "El Cielo", Tamaulipas. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 8:125-131.
- Di Rienzo, J. A.; Casanoves, F.; Balzarini, M. G.; González, L.; Tablada, M. y Robledo C.W. 2008. *InfoStat, versión 2008*, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- FAOSTAT. 2011. Sistema Estadístico de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Consultado: <http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx>. 20/01/2012.
- Guiracochoa, G.; Harvey, C. A.; Somarriba, E.; Krauss, U. y Carrillo, E. 2001. Conservación de la biodiversidad en sistemas agroforestales con cacao y banano en Talamanca, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas*. 8(30):7-11.
- Hervé, B. D. y Vidal, S. 2008. Plant biodiversity and vegetation structure in traditional cocoa forest gardens in southern Cameroon under different management. *Biodiversity and Conservation*. 17(8):1821-1835.
- Ibarra, M. A. y Estrada, M. 2001. Avifauna asociada a dos cacaotales tradicionales en la región de la Chontalpa, Tabasco, México. *Universidad y Ciencia*. 17:101-112.

- López, A. P. A.; Delgado, N. V. H.; Azpeitia, M. A.; López, A. J. I.; Jiménez, C. J. A.; Flores, R. A.; Fraire, S. L. y Castañeda, C. R. 2005. El cacao en Tabasco: manejo y producción. INIFAP; ISPROTAB. Tercera edición. Instituto para el Desarrollo de Sistemas de Producción del Trópico Húmedo de Tabasco. Villahermosa, Tabasco, México. 54 p.
- León, M. R. A. 2006. Diversidad vegetal asociada a cacaotales de dos zonas agroecológicas en la región litoral del Ecuador. Tesis, Facultad de Ingeniería Mecánica, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador. 114 p.
- Magurran, E. A. 1989. Diversidad ecológica y su medición. (A. M. Círer, Trad.) Barcelona, España: Vendra. 200 p.
- Mostacedo, B. y Fredericksen, T. S. 2000. Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en ecología vegetal. Proyecto de Manejo Forestal Sostenible (BOLFOR). Santa Cruz, Bolivia. 92 p.
- Muñoz, D.; Estrada, A. y Naranjo, E. 2005. Monos aulladores (*Alouatta palliata*) en una plantación de cacao (*Theobroma cacao*) en Tabasco, México. Universidad y Ciencia. 2:35-44.
- OEIDRUS. 2007. Mosaico estatal de cultivo Geo-Referenciado de cacao. SAGARPA; SEDAFOP. 1 p. Consultado: <http://www.campotabasco.gob.mx/>. 16/01/12.
- Orozco, L. y Somarriba, E. 2005. Árboles maderables en fincas de cacao orgánico del Alto Beni, Bolivia. Agroforestería en las Américas. 43:43-44.
- Parrish, J.; Reitsma, R.; Greenberg, R.; McLaren, W.; Mack R. y 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):16-19.
- Pérez, C. M. 2008. Diversidad y abundancia de escolitidos (Coleoptera: Scolytidae) asociados al agroecosistema cacao en Tabasco, México. Tesis Doctoral Colegio de Postgraduados Montecillo. Edo. México. 100 p.
- Ramírez-Meneses, A.; García-López, E.; Obrador-Olán J. J.; Ruiz-Rosado, O. y 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. 2001. Análisis del uso sustentable de los suelos con plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.) en Tabasco, México, aplicando sistemas de información geográfica. Tesis Maestría en Ciencias Colegio de Postgraduados Campus, Montecillo. Edo. México. 146 p.
- Roa, R. H. A.; Salgado, M. M. G. y 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.
- Rosa, S. R. H. 2003. Ecología da vegetação arbórea de cabruca - mata atlântica raleada utilizada para cultivo de cacau - na região sul da Bahia. Universidad de Brasília. 161 p.
- SAGARPA. 2010. Impulsa SAGARPA producción de cacao. Consultado: <http://www.actualidadesmexico.com.mx/2010/03/impulsa-sagarpa-produccion-de-cacao/>. 24/03/11.
- Salgado, M. M. G.; Ibarra, N. G.; Macías, S. J. E. y López, B. O. 2007. Diversidad arbórea en cacaotales del Soconusco, Chiapas, México. Interciencia. 32(11):763-768.
- Scheelje, B. J. M. 2009. Índice de la legislación sobre el aprovechamiento del recurso maderable en sistemas silvopastoriles de Costa Rica. CATIE. 177 p.
- SEDAFOP y OEIDRUS. 2008. Padrón de productores de cacao actualizado hasta mayo 2008. 114 p. Consultado: <http://www.campotabasco.gob.mx/>. 16/01/12.
- Zarco, E. V. M.; Valdez, H. J. L.; Ángeles, P. L. y Castillo, A. O. 2010. Estructura y diversidad de la vegetación arbórea del parque estatal agua blanca, Macuspana, Tabasco. Universidad y Ciencia. 26(1):1-17.