



Madera y bosques

ISSN: 1405-0471

ISSN: 2448-7597

Instituto de Ecología A.C.

Salvador-Morales, Pedro; Martínez-Sánchez, José Luis;
Cámara Cabrales, Luisa; Zequeira Ramos, Carolina
Estructura y carbono específico en una cronosecuencia de
sistemas agroforestales de *Theobroma cacao* L. en Tabasco, México
Madera y bosques, vol. 26, núm. 3, e2632131, 2020
Instituto de Ecología A.C.

DOI: 10.21829/myb.2020.2632131

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61766268007>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

UAEM
redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto



Estructura y carbono específico en una cronosecuencia de sistemas agroforestales de *Teobroma cacao* L. en Tabasco, México

Structure and specific carbon in a chronosequence of *Teobroma cacao* L. agroforestry systems in Tabasco, México

Pedro Salvador-Morales¹, José Luis Martínez-Sánchez^{2*}, Luisa Cámara Cabrales² y Carolina Zequeira Ramos²

¹ Instituto Tecnológico de la Zona Olmeca. Villa Ocuiltzapotlán, Tabasco, México.

² Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. División Académica de Ciencias Biológicas. Villahermosa, Tabasco, México.

* Autor de correspondencia. jose.martinez@ujat.mx

RESUMEN

Ante el impacto que representa el cambio de uso de suelo en la pérdida de biodiversidad y deterioro del medio ambiente, los sistemas agroforestales de cacao de sombra son una alternativa para la conservación de biodiversidad y almacenamiento de carbono. El objetivo de este trabajo fue conocer el efecto de la edad de los sistemas agroforestales de cacao en la diversidad arbórea y almacenes de carbono de su vegetación de sombra. Se compararon 258 parcelas distribuidas en once sistemas agroforestales entre 10 años y 70 años, totalizando 7.87 ha. Dentro de cada parcela se midió el diámetro normal (DN) y altura total de todos los árboles >5 cm (DN) para estimar su biomasa aérea con una ecuación general y otra específica, y conocer la discrepancia de ambos métodos. Los sistemas agroforestales de 70 años presentaron en promedio más especies arbóreas por hectárea (23), índice de diversidad Shannon (2.0) y almacenamiento de carbono (75 Mg ha^{-1}) que los de 10 años ($p < 0.01$; 10 Mg ha^{-1} , 1.1 Mg ha^{-1} y 36 Mg ha^{-1} ; respectivamente). La ecuación alométrica específica estimó 27.7% ($p = 0.05$) más biomasa aérea que la ecuación general, por lo que se considera de mayor precisión para estos sistemas agroforestales en particular, y se recomienda su uso para estos tipos de vegetación. Se concluye que, particularmente para México, conservar sistemas agroforestales de cacao de edad madura contribuye a la conservación de la biodiversidad arbórea y almacenes de carbono de la vegetación tropical, asemejando reliquias de la vegetación original.

PALABRAS CLAVE: biomasa aérea, captura de carbono, diversidad, ecuaciones alométricas, plantación, selva mediana subperennifolia.

ABSTRACT

Given the determining factor that constitutes land use change (LUC) upon biodiversity loss and environmental deterioration, cocoa-shade agroforestry systems can represent an important land area for biodiversity conservation and carbon storage. The aim of this study was to investigate the effect of the age of the cocoa agroforestry systems on their shade tree diversity and carbon stocks. Two-hundred and fifty-eight plots were compared in eleven cocoa plots between 10 and 70 yr-old, totaling 7.87 ha. The normal tree girth (DN) and total height of all trees > 5 cm DN were measured, and their estimated biomass were compared using a general and a species-specific allometric equation to know the discrepancy between both methods. The 70 yr-old plantations presented more species per hectare (23), Shannon diversity index (2.0) and carbon storage (75 Mg ha^{-1}) than the 10 yr-old plantations ($p < 0.01$; mean values of 10 Mg ha^{-1} , 1.1 Mg ha^{-1} and 36 Mg ha^{-1} ; respectively). Specific allometric equations estimated 27.7% ($p = 0.05$) more aboveground biomass than the general equation, so they are considered as more precise to this specific agroforestry system and hence are recommended. It is concluded that, particularly for México, conservation of mature cocoa-agroforestry systems contribute to the conservation of tree biodiversity and carbon stocks of tropical vegetation, resembling relics of the original vegetation.

KEYWORDS: above-ground biomass, carbon sequestration, diversity, allometric equations, plantation, sub-humid forest.

INTRODUCCIÓN

Ante la deforestación y cambio de uso de suelo, la conservación de la vegetación arbórea, en general, tiene entre sus múltiples beneficios, el almacén de carbono orgánico en la corteza terrestre, ya que, dadas las dimensiones de la forma de vida de los árboles, estos constituyen las mayores reservas de los ecosistemas terrestres por unidad de área (Sullivan *et al.*, 2017).

En lo que se refiere a los sistemas agroforestales (SA) más similares a la selva original (tipo rústico) en particular (*sensu* Rice y Greensberg, 2000), a escala global según Albrecht y Kandji (2003), estos podrían contribuir a almacenar entre $1\,100\,000$ Mg y $2\,200\,000$ Mg de carbono (C) si se establecieran entre las 585×10^6 ha y 1215×10^6 ha del mundo con potencialidad para esta práctica. De esta manera, una hectárea de SA de cacao (*Teobroma cacao* L., Malvaceae) almacena más C aéreo (270 Mg ha $^{-1}$ - 337 Mg ha $^{-1}$) (Duguma, Gockowski y Bakala, 2001; Yquise-Pérez, Pocomucha y Vargas, 2009) que un pastizal tropical (4.25 Mg ha $^{-1}$ - 9.0 Mg ha $^{-1}$, 2.25 Mg ha $^{-1}$) (Alegre, Arévalo y Ricse, 2002; Ramos-Hernández y Martínez-Sánchez, 2020) o campo de cultivo (42 Mg ha $^{-1}$) (Duguma, *et al.*, 2001).

Las selvas medianas subperennifolias que caracterizan la vegetación original de la zona cacaotera del estado de Tabasco poseen una media de almacenamiento de carbono en vegetación arbórea entre 21 Mg ha $^{-1}$ y 50 Mg ha $^{-1}$ (Montagnini y Nair, 2004), las cuales, debido a la presión socioeconómica, han estado en riesgo permanente de conversión a pastizales para la ganadería. En este sentido, los SA de *T. cacao* del estado de Tabasco adquieren mayor importancia para la conservación de vegetación arbórea que los pastizales establecidos de ganadería extensiva.

Los SA, en el estado de Tabasco, son particularmente importantes como proveedores del servicio ambiental de almacenamiento de carbono debido a la vegetación arbórea presente para proveer sombra. Si bien, el almacén de carbono en el suelo generalmente es mayor que en la parte aérea para cacaotales de 25 años en Perú (González-Huiman, Chávez-Matías y Bringas-Paredes, 2011; Yquise

Pérez *et al.*, 2009), en el presente trabajo se consideró evaluar el almacén de carbono aéreo debido a que, en presencia de cambio de uso del suelo, es más variable que el carbono subterráneo que es más estable.

La mayor diversidad y almacén de carbono superficial en un ecosistema arbóreo se encuentra en su edad madura, lo cual también puede ser cierto para un SA de cacao de tipo rústico. El carbono vegetal se almacena principalmente en el componente arbóreo adulto proveedor de la sombra al cacao y, en menor proporción, en la plantación de cacao. Haciendo una cronosecuencia de edad de los SA de cacao para los almacenes de C a partir de los estudios disponibles al momento, Duguma *et al.* (2001) registraron, en SA de 5 años en Camerún, 5.85 Mg de carbono por hectárea; Beer *et al.* (1990) 11 Mg ha $^{-1}$ en Costa Rica. Koskela, Nygren, Berninger y Luukkanen (2000), en SA de 10 años con especies arbóreas como *Cordia alliodora* y *Erythrina poeppigiana*, estimaron 42.8 Mg ha $^{-1}$ y 130.8 Mg ha $^{-1}$ en el arbolado respectivamente. En Perú, González-Huiman *et al.* (2011) cuantificaron almacenes de C de 80 Mg ha $^{-1}$ en el arbolado de SA de 11 años, Concha, Alegre y Pocomucha (2007) entre 12 Mg ha $^{-1}$ y 32.4 Mg ha $^{-1}$ en SA de 5 años y 20 años, respectivamente e Yquise Pérez *et al.* (2009) 216.3 Mg ha $^{-1}$ en un SA de 25 años, mientras que 337.5 Mg ha $^{-1}$ en una selva primaria. En Camerún, un SA de cacao de 26 años almacenó 152 Mg de carbono por hectárea (Duguma *et al.* 2001). Norgrove y Hauser (2013) cuantificaron 231.3 Mg ha $^{-1}$ en un SA de 35 años en Camerún, de lo cual, 52.4% correspondió a los árboles de sombra (121.1 Mg de carbono por hectárea) y 5.4% a los árboles de cacao (12.5 Mg ha $^{-1}$).

OBJETIVOS

El objetivo del presente trabajo fue analizar la relación de la diversidad y los almacenes de carbono de la vegetación arbórea de sombra, a lo largo de una cronosecuencia de SA de cacao en el estado de Tabasco, México. La hipótesis por probar fue que, a medida que aumenta la edad de los SA de cacao, también aumentan la diversidad arbórea y almacenes de C de su vegetación de sombra, debido a la similitud con la estructura madura de su vegetación original.



MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en SA de cacao establecidos en los municipios de Comalcalco y Cunduacán, Tabasco, México ($18^{\circ} 10' 33.56''$ y $18^{\circ} 15' 34.05''$ N - $93^{\circ} 40' 36.69''$ y $93^{\circ} 34' 57.88''$ O), donde prevalece un clima cálido subhúmedo con lluvias en verano (Am), temperatura media anual de 26 °C y precipitación anual de 2500 mm (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [Inegi], s/f). Los suelos dominantes son cambisoles, histosoles y fluvisoles (Palma-López *et al.*, 2017), y se encuentran entre 10 m y 20 m s.n.m. La vegetación dominante son pastizales para ganadería extensiva y, en menor proporción, relictos de selva mediana subperennifolia (Flores y Geréz, 1994).

La cronosecuencia de los SA de *T. cacao* se construyó a escala de plantación o finca, a partir de la selección de 11 SA con edades diferentes de 10, 13, 15, 20, 30, 30, 35, 40, 45, 48 y 70 (todas ellas expresadas en años), a decir de sus dueños, y con una extensión de 0.04 ha a 2.85 ha cada una. La vegetación de sombra de los SA, en general, está constituida por especies arbóreas originales seleccionadas mediante manejo forestal como poda y derribo. Las especies frutales arbóreas, fueron plantadas. En cada SA se ubicaron entre 3 y 239 unidades de muestreo (258 en total; Tabla 1) de diferentes tamaños (10 m × 10 m, 20 m × 20

m, y 20 m × 50 m), ya que los datos provienen de tres estudios independientes en tiempos distintos. Se midió el DN (aprox. a 1.40 cm de altura) y altura total de todos los árboles > 5 cm de DN, y cada árbol se determinó mediante ejemplares del Herbario de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Los SA en general presentaban poca perturbación a no ser por poda de ramas en dos sitios de Comalcalco. Debido a que su objetivo es la producción de cacao, en el estado de Tabasco su longevidad máxima es de alrededor de 50 años (Córdova-Avalos *et al.*, 2001; Ramírez-Meneses *et al.*, 2013), después de lo cual, la plantación se renueva con árboles jóvenes.

Con los datos obtenidos se determinó la densidad arbórea, la riqueza de especies observada, la riqueza de especies estimada por el algoritmo Chao 1 y la diversidad de Shannon y Simpson para cada uno de los 11 SA ubicados en los dos municipios, por medio del programa EstimateS Version 8 (Colwell, 2009). Para el análisis, se usaron 100 reiteraciones al azar sin reemplazo de muestras y la corrección de desviación para el estimador de riqueza Chao 1; esto debido a que las unidades de muestreo de los 11 SA fueron de diferente tamaño, número y superficie. Finalmente, se realizaron curvas de acumulación de especies para probar la estimación adecuada de la diversidad arbórea en relación con la superficie muestreada.

TABLA 1. Número de unidades de muestreo y superficie total muestreada en sistemas agroforestales de cacao de diferente edad en Tabasco, México.

| Edad (años) | Parcelas | Superficie (ha) |
|-------------|----------|-----------------|
| 10 | 2 | 0.8 |
| 13 | 1 | 0.4 |
| 15 | 2 | 0.8 |
| 20 | 2 | 0.8 |
| 30 | 2 | 0.8 |
| 30 | 2 | 0.08 |
| 35 | 1 | 0.4 |
| 40 | 5 | 0.5 |
| 45 | 239 | 2.85 |
| 48 | 1 | 0.4 |
| 70 | 1 | 0.04 |

TABLA 2. Ecuaciones alométricas específicas utilizadas en la estimación de biomasa aérea (BA, kg) de cada especie arbórea.

| <i>Especie</i> | | <i>Ecuación</i> | <i>Autor</i> |
|----------------|--|--|--|
| 1 | Muchas (Ecuación general) | 1 $BA = 0.0673 * (WD^D^2H)^{0.976}$ | Chave <i>et al.</i> (2014) |
| 2 | <i>Annona muricata</i> L. | 2 $\log BA = -1.716 + 2.413 * \log(DBH)$ | Nogueira, Fearnside, Nelson, Barbosa y Keizer (2008) |
| 3 | <i>Artocarpus altilis</i> | 3 $BA = 0.0704 * ((DBH)^2 * (H) * (WD))^{(0.9389)}$ | Hung, Son y Hung (2012) |
| 4 | <i>Bursera simaruba</i> (L.) Sarg. | 4 $BA = (0.064808 * (DBH)^2.46998)$ | Rodríguez, Jiménez, Meza, Aguirre y Razo (2008) |
| 5 | <i>Byrsonima crassifolia</i> | 5 $\log BA = 1.087 * \exp(-2.232 + 2.422 * \log((DBH)))$ | Sierra <i>et al.</i> (2007) |
| 6 | <i>Bixa orellana</i> | log $BA = -1.716 + 2.413 * \log(DBH)$ | Nogueira <i>et al.</i> (2008) |
| 7 | <i>Castilla elastica</i> | $\log BA = 1.087 * \exp(-2.232 + 2.422 * \log(DBH))$ | Sierra <i>et al.</i> (2007) |
| 8 | <i>Cecropia obtusifolia</i> Bertol. | 6 $BA = 12.764 + 0.2588 [DBH(2.0515)]$ BA = $0.0013 * (DBH)^2 * (H)^{(0.9218)} + 0.0072 * (DBH)^2 * (H)^{(1.0451)} + 0.0029 * (DBH)^2 * (H)^{(1.0172)} + 0.0010 * (DBH)^2 * (H)^{(0.8038)} + 0.0893 * (DBH)^2 * (H)^{(0.5326)}$ | Pearson <i>et al.</i> (2005) |
| 9 | <i>Cedrela odorata</i> | 7 $BA = 12.764 + 0.2588 [DBH(2.0515)]$ BA = $0.0013 * (DBH)^2 * (H)^{(0.9218)} + 0.0072 * (DBH)^2 * (H)^{(1.0451)} + 0.0029 * (DBH)^2 * (H)^{(1.0172)} + 0.0010 * (DBH)^2 * (H)^{(0.8038)} + 0.0893 * (DBH)^2 * (H)^{(0.5326)}$ | Cole y Ewel (2006) |
| 10 | <i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaerth | 8 $BA = 0.194072 * (DBH)^2 * (NoneD)^{(0.172693)}$ | Henry <i>et al.</i> (2010) |
| 11 | <i>Citrus aurantium</i> | 9 $BA = \exp(-3.08 + 1.007 * \ln(D) * \ln(H) * \ln(WD))$ | Chave <i>et al.</i> (2005) |
| 12 | <i>Citrus sinensis</i> (L.) Osb. | $BA = \exp(-3.08 + 1.007 * \ln(D) * \ln(H) * \ln(WD))$ | Chave <i>et al.</i> (2005) |
| 13 | <i>Cocos nucifera</i> | 10 $BA = 6.666 + 12.826 / \text{height} [0.5(\ln(\text{height}))]$ | Pearson <i>et al.</i> (2005) |
| 14 | <i>Colubrina arborescens</i> (Mill.) Sarg. | $BA = \exp(-3.08 + 1.007 * \ln(D) * \ln(H) * \ln(WD))$ | Chave <i>et al.</i> (2005) |
| 15 | <i>Cordia alliodora</i> (Ruis y Pav.) Oken | 11 $BA = 0.0391 * (DBH)^2 * (H)^{(0.5151)} + 0.0085 * (DBH)^2 * (H)^{(1.045)} + 0.0853 * (DBH)^2 * (H)^{(0.5345)} + 0.0427 * (DBH)^2 * (H)^{(0.6437)}$ | Cole y Ewel (2006) |
| 16 | <i>Cupania dentata</i> | 13 $\log BA = -1.9968 + (2.4128 * \log(DBH))$ | Nelson <i>et al.</i> (1999) |
| 17 | <i>Diphypha robinioides</i> Benth | $BA = \exp(-3.08 + 1.007 * \ln(D) * \ln(H) * \ln(WD))$ | Chave <i>et al.</i> (2005) |
| 18 | <i>Erythrina americana</i> Mill | 14 $BA = (0.37 * (DBH)^{1.96})$ | Návar (2009) |
| 19 | <i>Erythrina fusca</i> | $BA = (0.37 * (DBH)^{1.96})$ | Návar (2009) |
| 20 | <i>Gliricidia sepium</i> (Jacq.) | 15 $BA = 0.1185 * DBH^2$ | Foroughbakhch <i>et al.</i> , (2006) |
| 21 | <i>Gmelina arborea</i> Roxb | 16 $BA = 0.1274 * (DBH)^{2.3655}$ | Hung <i>et al.</i> (2012) |
| 22 | <i>Guazuma ulmifolia</i> Lam. | 17 $BA = (0.232435 * (DBH)^{2.21906})$ | Rodríguez <i>et al.</i> (2008) |
| 23 | <i>Helicocarpus donell-smithii</i> | 18 $BA = (\exp(4.9375) * (DBH)^{2.1166}) * 1.14e-006$ | Hughes, Kauffman y Jaramillo (1999) |
| 24 | <i>Inga jinicuil</i> | 19 $\log BA = 2.904 + 0.993 * \log(DBH)^2 * H * (WD)$ | Overman, Witte y Saldarriaga (1994) |
| 25 | <i>Lysiloma bahamensis</i> | 20 $BA = \exp[-1.566] * [DBH^{2.276}]$ | Gómez, (2008) |
| 26 | <i>Manilkara zapota</i> | $\log BA = -2.904 + 0.993 * \log((DBH)^2 * (H) * (WD))$ | Overman <i>et al.</i> (1994) |
| 27 | <i>Mangifera indica</i> L. | 21 $BA = 0.0968 * (((DBH)^2) * ((H)^{(0.7)}) * (WD))^{10037}$ | Hung <i>et al.</i> (2012) |
| 28 | <i>Persea americana</i> Mill. | $BA = \exp(-3.08 + 1.007 * \ln(D) * \ln(H) * \ln(WD))$ | Chave <i>et al.</i> (2005) |
| 29 | <i>Pimenta dioica</i> | $BA = \exp(-3.08 + 1.007 * \ln(D) * \ln(H) * \ln(WD))$ | Chave <i>et al.</i> (2005) |
| 30 | <i>Pouteria mammosa</i> | 22 $BA = (0.0358 * ((DBH)^2 * (H))^1)$ | Cairns, Olmsted, Granados y Argaez (2003) |
| 31 | <i>Pouteria sapota</i> | $BA = (0.0358 * ((DBH)^2 * (H))^1)$ | Cairns <i>et al.</i> (2003) |
| 32 | <i>Psidium guajava</i> Nied. | 23 $BA = (0.246689 * (DBH)^{2.24992})$ | Rodríguez <i>et al.</i> (2008) |
| 33 | <i>Sabal mexicana</i> Mart | $BA = 6.666 + 12.826 / \text{height} [0.5(\ln(\text{height}))]$ | Pearson <i>et al.</i> (2005) |
| 34 | <i>Samanea saman</i> | $BA = 6.666 + 12.826 / \text{height} [0.5(\ln(\text{height}))]$ | Pearson <i>et al.</i> (2005) |
| 35 | <i>Spondias mombin</i> | $\log BA = -1.716 + 2.413 * \log(DBH)$ | Nogueira <i>et al.</i> (2008) |
| 36 | <i>Swietenia macrophylla</i> | 24 $BA = (-1.32) + (2.65 * \log(DBH))$ | Krisnawati, Adinugroho y Imanuddin (2012) |
| 37 | <i>Tabebuia rosea</i> | $\log BA = -1.716 + 2.413 * \log(DBH)$ | Nogueira <i>et al.</i> (2008) |
| 38 | <i>Theobroma cacao</i> | 25 $\log BA = -1.684 + 2.158 * \log(d30) + 0.892 * \log(H)$ | Cerda, Espin y Cifuentes (2013) |

WD = densidad de madera.



Para estimar la biomasa aérea arbórea, se utilizó la ecuación alométrica general para selvas tropicales de Chave *et al.* (2014) y 24 diferentes ecuaciones específicas (Tabla 2) obtenidas de las bases de datos de Henry *et al.* (2013) y Rojas, de Jong, Martínez-Zurimendí y Paz-Pellat (2015). Para la selección de la ecuación específica dentro de un gran número de ecuaciones disponibles para una misma especie, se consideró que fuera específica para la especie de interés, o en su defecto, para su género taxonómico, así como un adecuado tamaño de muestra y coeficiente de determinación (r^2). El valor de la densidad de madera para las especies arbóreas se obtuvo de la base de datos de Henry *et al.* (2013) y Anónimo. El valor de la biomasa de cada árbol se multiplicó por 0.5 para obtener el valor del carbono orgánico (Pearson, Walker y Brown, 2005). Los valores de biomasa aérea obtenidos para cada árbol > 5 cm de DN, independientemente de su DN, categoría diamétrica o edad, se sumaron para todas las unidades de muestreo de cada SA, con el cual se estimó el valor para una hectárea por simple regla de tres para cada uno de los 11 SA. Esto se hizo por separado para los valores estimados con la ecuación general y con la ecuación específica.

Debido a la existencia básica de dos tipos de modelos alométricos (generales y específicos), se usó la prueba de t de Student con la intención de comparar la diferencia en su estimación. Para el análisis de la relación de la diversidad arbórea y almacenes de carbono con la edad de los SA se usó la correlación de Pearson (STATGRAPHICS® Centurion XVI y Microsoft Excel®).

RESULTADOS

Estructura arbórea en una cronosecuencia de sistemas agroforestales de cacao

La superficie muestreada en cada SA fue suficiente para representar su diversidad arbórea, ya que, a partir de determinado número de unidades de muestreo, se alcanzó la asymptota, no encontrándose especies nuevas con el

incremento del área de muestreo; se ilustran tres casos (Fig. 1). Aparte del cacao, también se plantaron otras especies frutales como naranja, limón, mango, palma de coco, entre otras.

La densidad total de especies cultivadas (mayormente cacao) en los 11 SA fue entre 287 ind ha^{-1} y 1420 ind ha^{-1} , con una densidad media de 911.2 ind $ha^{-1} \pm 318.34$ ind ha^{-1} (Tabla 3), mientras que la densidad media de individuos de las especies arbóreas de sombra fue de 106.4 ind $ha^{-1} \pm 76.4$ ind ha^{-1} y la densidad media de individuos de todas las especies fue de 1013.5 ind $ha^{-1} \pm 305.1$ ind ha^{-1} (Fig. 2).

A diferencia de la riqueza observada de especies arbóreas por hectárea ($p = 0.53$; 11.73 ± 7), la riqueza estimada por Chao 1 presentó una relación positiva con la edad de los SA de cacao ($p = 0.04$; 14.85 ± 6.5 ; Fig. 3A). La edad de los SA presentó relación con la diversidad a través del índice Shannon ($p = 0.01$; 1.4 ± 0.36 ; Fig. 3B) pero no a través del índice Simpson ($p = 0.11$; 2.5 ± 0.64 ; Fig. 3C).

Almacenes de carbono en una cronosecuencia de sistemas agroforestales de cacao

a) Ecuaciones alométricas específicas

La estimación del almacén de carbono arbóreo ($Mg ha^{-1}$) a partir de las ecuaciones para cada especie resultó ser 27.7% mayor que el valor estimado a través de la ecuación general de Chave *et al.* (2014) para selvas tropicales ($p = 0.05$; $t = 1.76$; 47.25 vs. 34.2 ; Fig. 4).

b) Almacenes de carbono en los diferentes componentes arbóreos del sistema agroforestal de cacao

La acumulación del carbono arbóreo respecto a la cronosecuencia de los SA no tuvo una relación particular con las especies arbóreas de sombra ($p = 0.06$), tampoco con la especie de *T. cacao* ($p = 0.11$), pero sí presentó una relación positiva con el SA o la combinación de los dos componentes arbóreos (árboles de sombra y de *T. cacao* juntos; $p = 0.05$; Fig. 5).

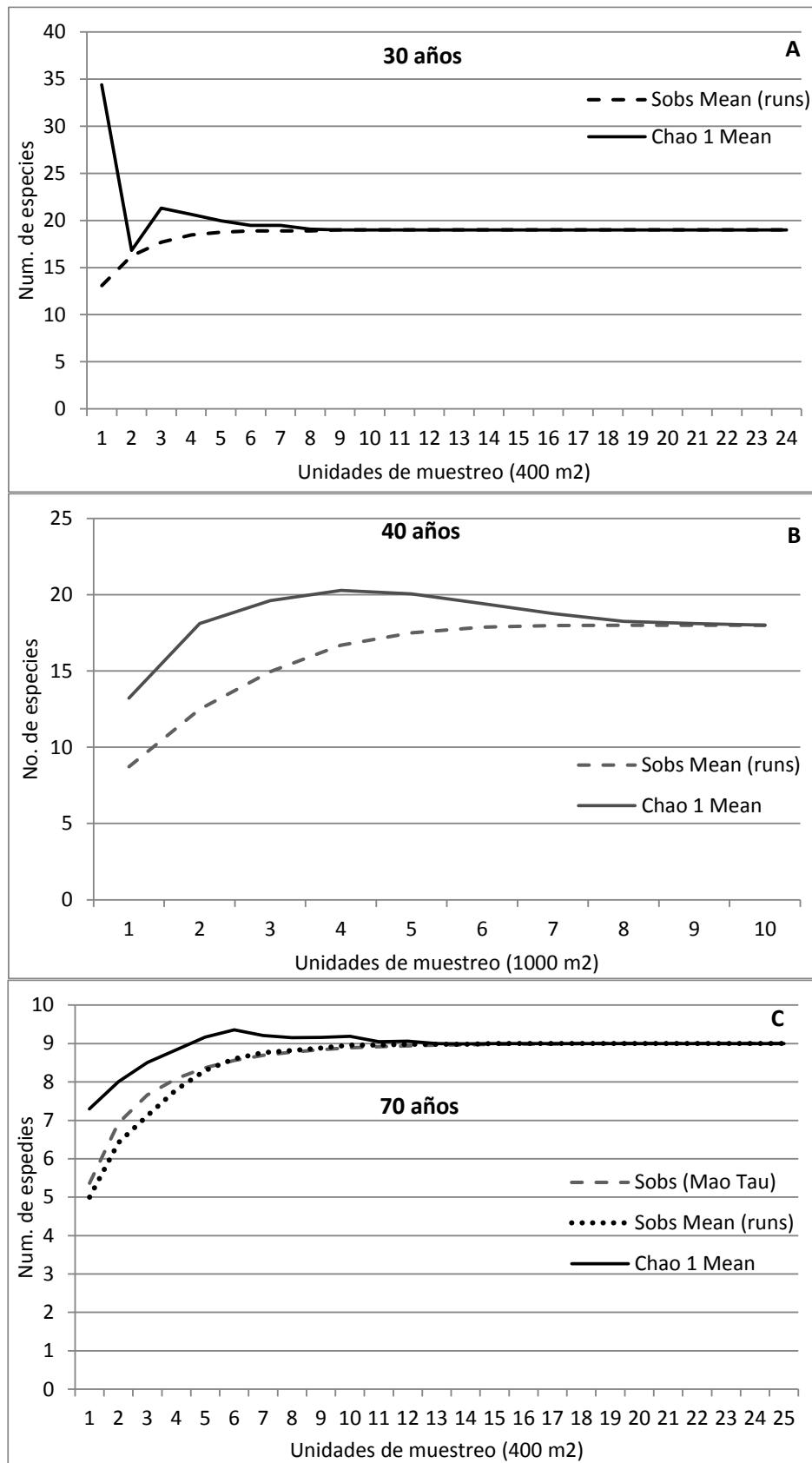


FIGURA 1. Curvas de acumulación de especies arbóreas en tres SA de cacao de diferente edad en el estado de Tabasco, México. Las curvas describen cómo a medida que aumenta la superficie muestreada ya no se encuentran nuevas especies y la línea se hace horizontal.



TABLA 3. Densidad por hectárea de individuos de especies plantadas, en sistemas agroforestales de cacao de diferente edad en Tabasco, México.

| Edad (años) | Árboles (ha^{-1}) |
|-------------|------------------------------|
| 10 | 848 |
| 13 | 1070 |
| 15 | 1420 |
| 20 | 988 |
| 30 | 999 |
| 30 | 287 |
| 35 | 1066 |
| 40 | 1072 |
| 45 | 473 |
| 48 | 700 |
| 70 | 1100 |

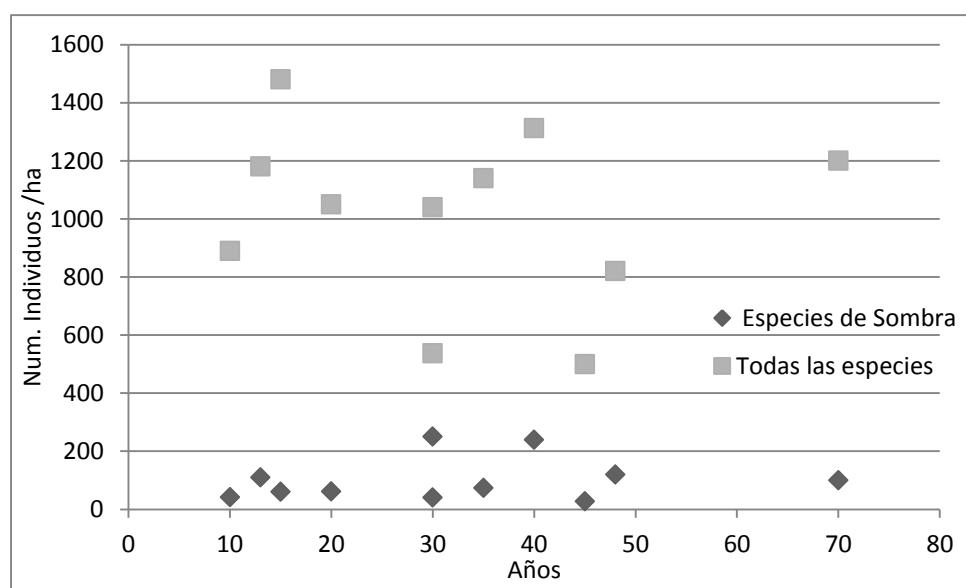


FIGURA 2. Densidad de individuos de las especies de los cacaotales de diferente edad.

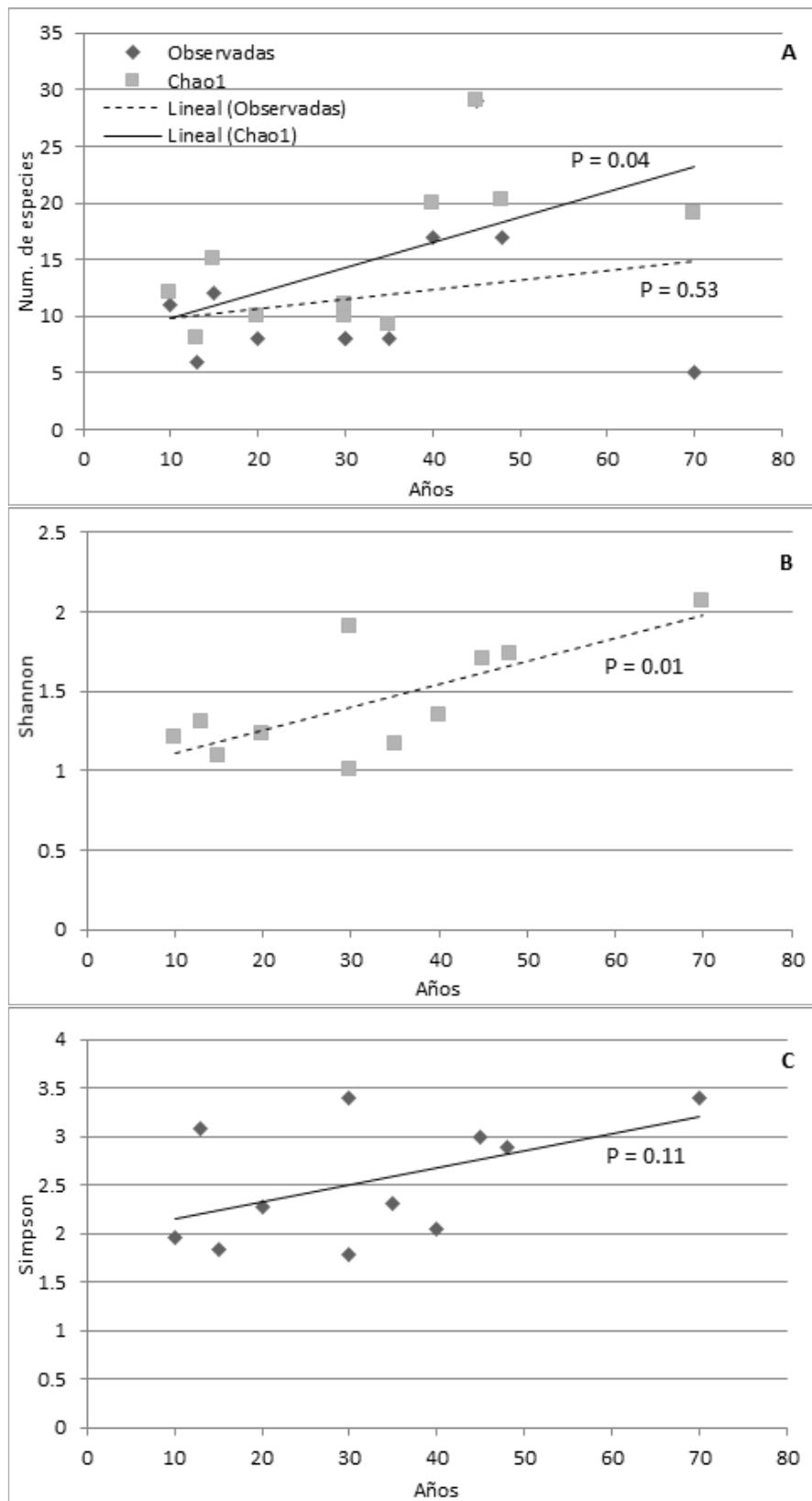


FIGURA 3. Relación entre la diversidad (riqueza de especies, índice de Shannon e índice de Simpson) de la flora arbórea de SA de cacao y la edad del SA, en el estado de Tabasco, México.
Los valores de probabilidad ($p < 0.05$) hacen que la línea sea significativa.

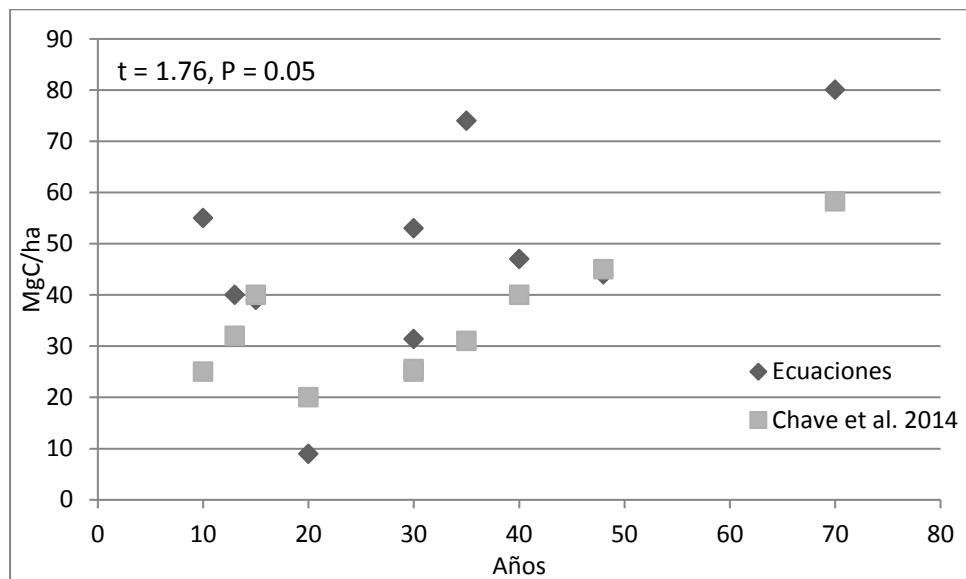


FIGURA 4. Estimación de carbono en los sistemas agroforestales de cacao de diferente edad, mediante el método de la ecuación general de Chave *et al.* (2014) y el método de ecuaciones específicas de biomasa arbórea.

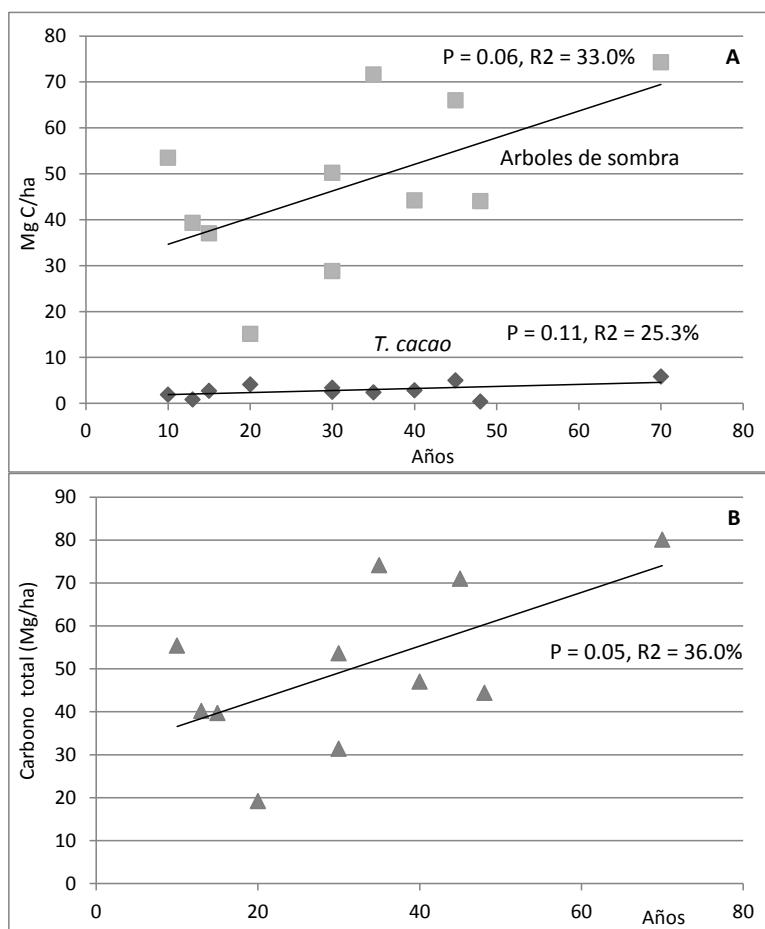


FIGURA 5. Almacenes de carbono de la vegetación arbórea de sombra y de la plantación de *Theobroma cacao* por separado (A) y en conjunto (B), del sistema agroforestal de cacao en relación con la edad de las parcelas.

DISCUSIÓN

Diversidad arbórea de los sistemas agroforestales de cacao

Similarmente a la selva madura, el SA de cacao guarda una relación positiva entre su edad y la diversidad arbórea que presenta (Fig. 3A, B). Es bien conocida la gran ventaja biológica y ambiental que representa la conservación de la diversidad arbórea en los ecosistemas terrestres (Asase y Tetteh, 2010; Asase, Asitoakor y Ekpe, 2012). En este

sentido, se puede decir que los SA de cacao de esta región se encuentran entre los que presentan mayor diversidad arbórea a escala mundial (Tabla 4), lo cual es relevante para fines de conservación biológica. Si se considera que una hectárea de vegetación arbórea original de 40 años en esta región presenta alrededor de 27 especies arbóreas (Martínez-Sánchez y Cámara, 2012), la riqueza de 20 especies arbóreas por hectárea (Fig. 3A) en un SA de cacao de 40 años, o 29 especies arbóreas por hectárea en uno de 45 años, no está muy lejos de lo que era su riqueza arbórea original.

TABLA 4. Sistemas agroforestales de cacao en otros países del mundo.

| Especies arbóreas de sombra presentes | País | Autor |
|--|------------------------|---|
| <i>Cordia alliodora</i> | Costa Rica | Alpizar, Fassbender, Heuveldop, Folster y Enríquez (1986) |
| <i>Erythrina fusca</i> | Brazil | Delabie <i>et al.</i> (2007) |
| <i>Erythrina glauca</i> | Brazil | Kummerow, Kummerow, y Da Silva (1982) |
| <i>Erythrina poeppigiana</i> | Costa Rica | Muñoz y Beer (2001) |
| <i>Inga edulis</i> o <i>Guazuma crinita</i> | Perú | Yquise Perez <i>et al.</i> (2009) |
| <i>Albizia zygia</i> o <i>Milicia excelsa</i> o <i>Newbouldia laevis</i> | Ghana | Isaac, Timmer y Quashie-Sam (2007) |
| <i>Erythrina glauca</i> y <i>E. poeppigiana</i> , o <i>Genipa americana</i> o <i>Spondias lutea</i> | Brazil | Santana y Cabala (1982) |
| Una a cuatro especies | Costa de Marfil | Herzog (1994) |
| <i>Pithecelobium saman</i> , <i>Erythrina americana</i> , <i>Gliricidia sepium</i> , <i>Inga jinicuil</i> e <i>I. vera</i> | Tabasco, México | Muñoz, Estrada y Naranjo (2005) |
| Cinco especies arbóreas en cacaotales de 20 años | Perú | Concha <i>et al.</i> (2007) |
| Cinco a 10 especies arbóreas | Costa Rica | Beer (1988) |
| Promedio de 5.4 y 6.5 especies arbóreas > 15 cm de dap | Costa Rica | Reitsma, Parrish y McLarney (2001) |
| 8 a 29 especies arbóreas | Tabasco, México | Este estudio |
| 60 especies arbóreas en 12 ha | Tabasco, México | Greenberg <i>et al.</i> (2000) |
| 32 especies arbóreas | Tabasco, México | Muñoz <i>et al.</i> (2006) |
| 35 especies arbóreas | Costa de Marfil | Herzog (1994) |
| 53 especies arbóreas en 0.2 ha | Camerún | Norgrove y Hauser (2013) |



Almacenes de carbono de los sistemas agroforestales de cacao

El almacén de carbono de los árboles de sombra a partir de las ecuaciones alométricas para cada especie de 11 SA entre 10 años y 70 años resultó ser 27.7% mayor que el estimado a través de la ecuación general de árboles para selvas tropicales de Chave *et al.* (2014). Esto sugiere que el utilizar las ecuaciones de cada especie, al menos para este tipo de SA, es más preciso que la estimación a través de un modelo general construido a partir de un gran número de especies arbóreas de forma diferente, provenientes de un gran número de tipos de selvas húmedas y subhúmedas de los continentes americano y asiático. También Martínez-Sánchez, Martínez-Garza, Cámara y Castillo (2020) llegaron a esta conclusión, a partir de una comparación global de ecuaciones específicas y ecuaciones generales para la estimación de la biomasa arbórea en vegetación de selvas tropicales del sureste de México. Por lo anterior, se recomienda seguir comparando ambos métodos en otros SA en general. Los resultados muestran que tanto los árboles de cacao como la vegetación arbórea de sombra por sí mismos, no representan una ganancia en la acumulación del carbono aéreo de estos SA, sino más bien, el SA como tal, a partir de estos dos componentes, es el que sí constituye una ganancia en la acumulación de carbono aéreo con la edad. Esto indica que el manejo adecuado de la vegetación original con inclusión de cacao puede representar una ventaja en el almacén y conservación del carbono en los ecosistemas arbóreos tropicales.

Comparación con otros sistemas agroforestales de cacao en el mundo

Las ventajas y cualidades de estos SA en particular respecto a la conservación de su biodiversidad arbórea y carbono orgánico son más evidentes cuando se comparan con otros SA de cacao en el mundo. Al contrastar los SA de cacao de Tabasco, México, con SA en otros países importantes en la producción de cacao, la mayoría de los SA en el mundo presentan plantaciones uniespecíficas o de pocas especies

arbóreas proveedoras de sombra a diferencia de México (Tabla 4).

Los SA de cacao en regiones como África y Sudamérica, generalmente están asociados con una baja diversidad de una o dos especies de árboles, a diferencia de México donde se asocian con una mayor diversidad. En este sentido, cuanto mayor diversidad arbórea tengan los SA de cacao, ofrecen un mayor servicio ecológico ya que la diversidad arbórea se encuentra asociada a la diversidad de otros grupos de plantas vasculares y de fauna, ornitológica principalmente (Alves, 1990; Majer, Delabie y Smith, 1994; Estrada, Coates-Estrada y Meritt, 1993; Estrada, Coates-Estrada, Meritt, Montiel y Curiel, 1993; Estrada, Coates-Estrada y Meritt, 1994; Estrada, Coates-Estrada y Meritt, 1997; Parrish, Reitsma y Greenberg, 1998; Muñoz, Estrada, Naranjo y Ochoa, 2006; Van Bael, Bichier y Greenberg, 2007), de tal manera que cuanto mayor sea la diversidad arbórea, mayor será la diversidad biológica en general. Si bien, la alta riqueza arbórea de los SA rústicos de cacao, como los aquí estudiados, no mantiene la misma biodiversidad animal que la vegetación original, esta se asemeja más que los SA no rústicos con baja riqueza de especies arbóreas, o los sistemas tecnificados sin sombra (Perfecto, Rice, Greenberg y van der Voort, 1996; Rice y Greensberg, 2000).

México no sobresale a escala mundial en la producción de cacao (57 841 ha dedicadas a esta actividad hasta 2019, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2017) encontrándose muy por debajo de los países con la mayor producción tales como Costa de Marfil (2 150 000 ha) y Ghana (1 200 000 ha) (Rice y Greensberg, 2000). Sin embargo, con el resultado de este trabajo, es posible afirmar que sobresale como el mejor proveedor de servicios ambientales de conservación de biodiversidad y almacenamiento de carbono, ya que, al practicar el sistema de producción bajo sombra, es de los países con mayor densidad de especies arboladas en el sistema de producción, a diferencia de los otros países que basan su producción en el sistema de pleno sol y en menor proporción de sombra (Tabla 4).

CONCLUSIONES

Los SA de cacao en Tabasco, México presentan una alta diversidad arbórea que favorece el almacén de carbono a medida que sus especies de sombra maduran o son de mayor edad. Esto, indudablemente, constituye un ejemplo de un uso del suelo más adecuado en el trópico húmedo, para la conservación biológica y mitigación del calentamiento global actual, por lo que se hace una enfática recomendación para su conservación y aumento.

REFERENCIAS

- Albrecht, A., & Kandji, S. (2003). Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 99, 15-27. doi:10.1016/S0167-8809(03)00138-5
- Alegre, J., Arévalo, L., & Ríce, R. (2002). *Reservas de carbono con diferentes sistemas de uso de la tierra en dos sitios de la Amazonía Peruana*. Perú: ICRAF/INIA. Recuperado de <http://www.virtualcentre.org/es/ele/conferencia2/vbconfe7.htm>
- Alpizar, L., Fassbender, H., Heuveldop, J., Folster, H., & Enriquez, G. (1986). Modeling agroforestry systems of cacao (*Theobroma cacao*) with laurel (*Cordia alliodora*) and poro' (*Erythrina poeppigiana*) in Costa Rica. I Inventory of organic matter and nutrients. *Agroforestry Systems*, 4, 175-189.
- Alves, M.C. (1990). *The role of cocoa plantations in the conservation of the Atlantic forests of southern Bahia, Brazil*. Ms. thesis, University of Florida, Gainesville, Florida.
- Anónimo. *Tree functional attributes and ecological data base, Wood density*. Recuperado de <http://db.worldagroforestry.org/wd>
- Asase, A., & Tetteh, D. (2010). The role of complex agroforestry systems in the conservation of forest tree diversity and structure in southeastern Ghana. *Agroforestry Systems*, 7, 355-368. doi: 10.1007/s10457-010-9311-1
- Asase, A. Asitoakor, B. & Ekpe, P. (2012). Linkages between tree diversity and carbon stocks in unlogged and logged West African tropical forests. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management*, 8(3), 217-230. doi: 10.1080/21513732.2012.707152
- Beer, J. (1988). Litter production and nutrient cycling in coffee (*Coffea arabica*) or cacao (*Theobroma cacao*) plantations with shade trees. *Agroforestry Systems*, 7, 103-114.
- Beer, J., Bonneman, A., Chavez, W., Fassbender, H., Imbach, A., & Martel, I. (1990). Modeling agroforestry systems of cacao with *Cordia alliodora* and *Erythrina poeppigiana* in Costa Rica. V.
- Productivity indices, organic matter models and sustainability over ten years. *Agroforestry Systems*, 12, 229-249.
- Cairns, M., Olmsted, J., Granados, J., & Argaez, J. (2003). Composition and aboveground tree biomass of a dry semi-evergreen forest on Mexico's Yucatan Peninsula. *Forest Ecology and Management*, 186, 125-132.
- Cerda, B., Espín, C., & 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., Andalo, C., Brown, S., Cairns, M., Chambers, J., Eamus, D., Folster, H., Fromard, F., Higuchi, N., Kira, T., Lescure, P., Nelson, B., Ogawa, H., Puig, H., Riera, B., & Yamakura, T. (2005). Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*, 14, 87-99. doi: 10.1007/s00442-005-0100-x
- Chave, J., Rejou-Mechain, M., Burquez, A., Chidumayo, E., Colgan, M., Delitti, W., Duque, A., Eid, T., Fearnside, P., Goodman, R., Henry, M., Martínez-Yrízar, A., Mugasha, W., Muller-Landau, H., Mencuccini, M., Nelson, B., Ngomanda, A., Nogueira, E., Ortiz-Malavassi, E., Pélassier, R., Ploton, P., Ryan, C., Saldarriaga, J., & Vieilledent, G. (2014). Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global Change Biology*, 20, 3177-3190. doi: 10.1111/gcb.12629
- Cole, T., & Ewel, J. (2006). Allometric Equations for Four Valuable Tropical Tree Species. *Forest Ecology and Management*, 229, 351-360. doi: 10.1016/j.foreco.2006.04.017
- Colwell R, K. (2009). *EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples*. Version 8.2.0. Recuperado de URL <purl.oclc.org/estimates>
- Concha, J., Alegre, J., & Vicente, P. (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-Ávalos, V., Sánchez-Hernández, M., Estrella-Chulím, N., Macías-Layalle, A., Sandoval-Castro, E., Martínez-Saldaña, T., & Ortiz-García, C. (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(3), 93-100.
- Delabie, J., Jahyny, B., Cardoso do Nascimento, I., Mariano, C., Lacau, S., Campiolo, S., Philpott, S., & Leponce, M. (2007). Contribution of cocoa plantations to the conservation of native ants (Insecta: Hymenoptera: Formicidae) with a special emphasis on the Atlantic Forest fauna of southern Bahia, Brazil. *Biodiversity Conservation*, 16, 2359-2384. doi: 10.1007/s10531-007-9190-6



- Duguma, B., Gockowski, J., & Bakala, J. (2001). Smallholder Cacao (*Theobroma cacao* Linn.) cultivation in agroforestry systems of West and Central Africa: challenges and opportunities. *Agroforestry Systems*, 51, 177-188.
- Estrada, A., Coates-Estrada, R., & Meritt, D. (1993). Bat species richness and abundance in tropical rain forest fragments and in agricultural habitats at Los Tuxtlas, Mexico. *Ecography*, 16, 309-318.
- Estrada, A., Coates-Estrada, R., Meritt, D., Montiel, S., & Curiel, D. (1993). Patterns of frugivore species richness and abundance in forest islands and agricultural habitats at Los Tuxtlas, Mexico. *Vegetatio*, 107/108, 245-257.
- Estrada, A., Coates-Estrada, R., & Meritt, D. (1994). Non-flying mammals and landscape changes in the tropical rain forest region of Los Tuxtlas, Mexico. *Ecography*, 17, 229-241.
- Estrada, A., Coates-Estrada, R. & Merritt, D. (1997). Anthropogenic landscape changes and avian diversity at Los Tuxtlas, Mexico. *Biodiversity Conservation*, 6, 19-43.
- Flores, O. & Gerez, P. (1994). *Biodiversidad y conservación en México: vertebrados, vegetación y uso de suelo* (2^a ed.). D.F., México: Conabio y UNAM.
- Foroughbakhch, R., Alvarado, M., Hernández, P., Rocha-Estrada., Guzmán-Lucio, & Treviño-Garza. E. (2006). Establishment, growth and biomass production of 10 tree woody species introduced for reforestation and ecological restoration in northeastern Mexico. *Forest Ecology and Management*, 235(1-3), 194-201. doi: 10.1016/j.foreco.2006.08.012
- Gómez, J. (2008). *Determinación de los almacenes de carbono en los compartimentos aéreo y subterráneo de dos tipos de vegetación en la reserva de la biosfera Sierra de Huautla, Morelos, México*. Tesis de maestría, Colegio de Postgraduados, México.
- González-Huiman, F., Chávez-Matías, J., & Bringas-Paredes, H. (2011). *Estimación del carbono almacenado en un sistema agroforestal de cacao (*Theobroma cacao* L.) comparado con un bosque secundario de tres edades*. Perú: Universidad Nacional Agraria de la Selva.
- Greenberg, R., Bichier, P., & Cruz, A. (2000). The impact of bird insectivory on herbivorous arthropods and leaf damage in some Guatemalan coffee plantations. *Animal Conservation*, 3(2), 105-112.
- Henry, M., Besnard, A., Asante, W., Eshun, J., Adu-Bredou, S., Valentini, R., Bernoux, M., & Saint-Andre, L. (2010). Wood density, phytomass variations within and among trees, and allometric equations in a tropical rainforest of Africa. *Forest Ecology and Management* 260, 1375-1388. doi: 10.1016/j.foreco.2010.07.040
- Henry, M., Bombelli, A., Trotta, C., Alessandrini, A., Birigazzi, L., Sola, G., Vieilledent, G., Santenoise, P., Longuetaud, F., Valentini, R., Picard, N., & Saint-Andre, L. (2013). GlobAllomeTree: International platform for tree allometric equations to support volume, biomass and carbon assessment. *iForest - Biogeosciences and Forestry*, 6(6), 326-330. doi: 10.3832/ifor0901-006
- Herzog, F. (1994). Multipurpose shade trees in coffee and cocoa plantations in Côte d'Ivoire. *Agroforestry Systems*, 27, 259-267.
- Hughes, F., Kauffman, B., & Jaramillo, V. (1999). Biomass, carbon, and nutrient dynamics of secondary forests in a humid tropical region of Mexico. *Ecology*, 80(6), 1892-1907.
- Hung, D., Son, N., & Hung, N. (2012). Tree allometric equation development for estimation of forest above-ground biomass in Viet Nam - Evergreen broadleaf forests in Quang Binh Province. En V. T. Phuong, A. Inoguchi, L. Birigazzi, M. Henry, & G. Sola (eds.), *Tree allometric equation development for estimation of forest above-ground biomass in Viet Nam*. Hanoi, Viet Nam: UN-REDD Programme.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [Inegi]. <https://www.inegi.org.mx/temas/climatologia/>
- Isaac, M., Timmer, V., & Quashie-Sam, S. (2007). Shade tree effects in an 8-year-old cocoa agroforestry system: biomass and nutrient diagnosis of *Theobroma cacao* by vector analysis. *Nutrient Cycling Agroecosystems*, 78, 155-165. doi: 10.1007/s10705-006-9081-3
- Krisnawati, H., Adinugroho, W., & Imanuddin, R. (2012). *Monograph allometric models for estimating tree biomass at various forest ecosystem types in Indonesia*. Bangor, Indonesia: Research and Development Center for Conservation and Rehabilitation, Forestry Research and Development Agency, Ministry of Forestry.
- Koskela J., Nygren P., Berninger F., & Luukkanen O. (2000). *Implications of the Kyoto Protocol for tropical forest management and land use: prospects and pitfalls*. Helsinki: Tropical Forestry Reports 22. Department of Forest Ecology, University of Helsinki.
- Kummerow, J., Kummerow, M., & Da Silva, W. (1982). Fine root growth dynamics in cacao (*Theobroma cacao*). *Plant Soil*, 65, 193-201.
- Majer, J., Delabie, J., & Smith, M. (1994). Arboreal ant community patterns in Brazilian cocoa farms. *Biotropica*, 26(1), 73-83.
- Martínez-Sánchez, J., & Cámaras, L. (2012). Is there a relationship between floristic diversity and carbon stocks in tropical vegetation in Mexico? *African Journal of Agricultural Research*, 7, 2584-2591.
- Martínez-Sánchez, J., Martínez-Garza, C., Cámaras, L., & Castillo, O. (2020). Species-specific or generic allometric equations: Which option is better when estimating the biomass of Mexican tropical humid forests? *Carbon Management*. doi: 10.1080/17583004.2020.1738823

- Montagnini, F., & Nair, P. (2004). Carbon sequestration: An underexploited environmental benefit of agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, 61, 281-295.
- Muñoz, F., & Beer, J. (2001). Fine root dynamics of shaded cacao plantations in Costa Rica. *Agroforestry Systems*, 51, 119–130. doi: 10.1023/A:1010651203815
- Muñoz, D., Estrada, A., & Naranjo, E. (2005). Monos aulladores (*Alouatta palliata*) en una plantación de cacao (*Theobroma cacao*) en Tabasco, México: aspectos de la ecología alimentaria. *Universidad y Ciencia*, 2, 35-44.
- Muñoz, D., Estrada, A., Naranjo, E., & Ochoa, S. (2006). Foraging Ecology of Howler Monkeys in a Cacao (*Theobroma cacao*) Plantation in Comalcalco, Mexico. *American Journal of Primatology*, 68, 127-142. doi: 10.1002/ajp.20211
- Návar, J. (2009). Allometric equations for tree species and carbon stocks for forests of northwestern Mexico. *Forest Ecology and Management*, 257(2), 427-434. doi: 10.1016/j.foreco.2008.09.028
- Nelson, B., Mesquita, R., Pereira, J., García-Aquino, S., Teixeira-Batista, G., & Bovino-Couto, L. (1999). Allometric regressions for improved estimate of secondary forest biomass in the Central Amazon. *Forest Ecology and Management*, 117, 149-167.
- Nogueira, E., Fearnside, P., Nelson, B., Barbosa, R., & Keizer, E. (2008). Estimates of forest biomass in the Brazilian Amazon: New allometric equations and adjustments to biomass from wood-volume inventories. *Forest Ecology and Management*, 256(11), 1853-1867. doi: 10.1016/j.foreco.2008.07.022
- Norgrove, L., & Hauser, S. (2013). Carbon stocks in shaded *Theobroma cacao* farms and adjacent secondary forests of similar age in Cameroon. *Tropical Ecology*, 54(1), 15-22.
- Overman, J., Witte, H., & Saldarriaga, J. (1994). Evaluation of regression models for above-ground biomass determination in Amazon Rainforest. *Journal of Tropical Ecology*, 10(2), 210-218.
- Palma-López D., J., Jiménez-Ramírez, R., Zavala-Cruz, J., Bautista-Zúñiga, F., Gavi-Reyes, F., & Palma-Cancino, D. (2017). Actualización de la clasificación de suelos de Tabasco, México. *Agroproductividad*, 10(12), 29-35.
- Parrish, J., Reitsma, R., & Greenberg, R. (1998). *Cacao as crop and conservation tool: lessons from the Talamanca Region of Costa Rica*. Panama City, Panama: Paper presented at the First Sustainable Workshop on Sustainable Cocoa Growing, March 30-April 2, 1998.
- Pearson, T., Walker, S., & Brown, S. (2005). *Source book for land use, land use-change and forestry projects*. U.S.: Winrock International.
- Perfecto, I., Rice, R., Greenberg, R., & van der Voort, M. (1996). Shade coffee as a refuge for biodiversity. *BioScience*, 46, 598–608.
- 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-Hernández, E., & Martínez-Sánchez, J. (2020). Almacenamiento de biomasa y carbono aéreo y radicular en pastizales de *Urochloa decumbens* Stapf y *Paspalum notatum* Flugge en el sureste de México. *Revista de Biología Tropical*, 68(2), 440-451. doi: 10.15517/RBT.V68I2.37395
- Reitsma, R., Parrish, J., & McLarney, W. (2001). The role of cacao plantations in maintaining forest avian diversity in southeastern Costa Rica. *Agroforestry Systems*, 53, 185-193.
- Rice, R., & Greensberg, R. (2000). Cacao cultivation and the conservation of biological diversity. *Ambio*, 29(3), 167-173.
- Rodríguez, R., Jiménez, J., Meza, J., Aguirre, O., & Razo R. (2008). Carbono contenido en un bosque tropical subcaducifolio en la reserva de la biosfera el cielo, Tamaulipas, México. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 4(2), 215-222.
- Rojas-García, F., de Jong, B., Martínez-Zurimendí, P., & Paz-Pellat, F. (2015). Database of 478 allometric equations to estimate biomass for Mexican trees and forests. *Annals of Forest Science*, 72, 835-864. doi: 10.1007/s13595-015-0456-y
- Santana, M., & Cabala, P. (1982). Dynamics of nitrogen in a shaded cacao plantation. *Plant Soil*, 67, 271-281.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP]. (2017). *Sistema de información agroalimentaria de consulta*. Gobierno de México. Recuperado de <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119>
- Sierra, C., del Valle, J., Orrego, S., Moreno, F., Harmon, M., Zapata, M., Colorado, G., Herrera, M., Lara, W., Restrepo, D., Berrouet, L., Loaiza, L., & Benjumea, J. (2007). Total Carbon Stocks in a Tropical Forest Landscape of the Porce Region, Colombia. *Forest Ecology and Management*, 243, 299-309. doi: 10.1016/j.foreco.2007.03.026
- Sullivan M., J., P., Talbot, J., Lewis S., L., & et al. (2017). Diversity and carbon storage across the tropical forest biome. *Nature Scientific Report*, 7(1), 39102. doi: 10.1038/srep39102



Van bael, S., Bichier, P., & Greenberg, R. (2007). Bird diversity in cacao farms and forest fragments of western Panama. *Biodiversity and Conservation*, 16(8), 2245-2256. doi: 10.1007/s10531-007-9193-3

Yquise-Pérez, A., Pocomucha, V., & Vargas, Y. (2009). *Carbono almacenado en diferentes sistemas de uso de la tierra del Distrito de José Crespo y Castillo, Huánuco, Perú*. Recuperado de <http://www.inteligentesite.com.br/arquivos/floagri/File/ANEXO20 CarbonoPeru.pdf>

Manuscrito recibido el 21 de febrero de 2020

Aceptado el 30 de abril de 2020

Publicado el 16 de septiembre de 2020

Este documento se debe citar como:

Salvador-Morales, P., Martínez-Sánchez, J. L., Cámara C., L., & Zequeira R., C. (2020). Estructura y carbono específico en una cronosecuencia de sistemas agroforestales de *Theobroma cacao* L. en Tabasco, México. *Madera y Bosques*, 26(3), e2632131. doi: 10.21829/myb.2020.2632131



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