






Diversidad arbórea, uso y carbono almacenado en áreas con restauración productiva en Calakmul, Campeche

Tree diversity, use and carbon stocks in productive restoration areas in Calakmul, Campeche

Germán Alberto Hernández-Dzib¹ ,
Ligia Esparza-Olguín^{1*} ,
Eduardo Martínez-Romero² ,
Lucio Pat-Fernández³ ,
Aixel Maya-Martínez⁴ 

¹Departamento de Ciencias de la Sustentabilidad, El Colegio de la Frontera Sur. Avenida Rancho, Polígono 2-A, Ciudad Industrial, Lerma, CP. 24500. Campeche, Campeche, México.

²Investigación y Soluciones Socioambientales A.C., Calle 4, Núm. 4, Colonia Lázaro Cárdenas, CP. 24095. Campeche, Campeche, México.

³Departamento de Agricultura, Sociedad y Ambiente, El Colegio de la Frontera Sur. Avenida Rancho, Polígono 2-A, Ciudad Industrial, Lerma, CP. 24500. Campeche, Campeche, México.

⁴Campo Experimental Edzná, CIR-Sureste, INIFAP. Kilómetro 4.5, Carretera Campeche-Poc Yaxum, Campeche, México.

*Autor de correspondencia: lesparza@ecosur.mx

Artículo científico

Recibido: 28 de enero 2021

Aceptado: 08 de octubre 2021

Como citar: Hernández-Dzib GA, Esparza-Olguín L, Martínez-Romero E, Pat-Fernández L, Maya-Martínez A (2021) Diversidad arbórea, uso y carbono almacenado en áreas con restauración productiva en Calakmul, Campeche. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 8(3): e2821. DOI: 10.19136/era.a8n3.2821

RESUMEN. Los bosques tropicales de la Reserva de la Biosfera de Calakmul (REBICA) albergan una alta biodiversidad y brindan servicios ecosistémicos amenazados por el avance de la frontera agropecuaria. La restauración productiva (RP), como estrategia que articula las necesidades de los productores y la conservación de los recursos naturales, fue implementada en módulos en los ejidos Benito Juárez II (BJ), Eugenio Echeverría Castellot I (EEC) y Los Ángeles (LA), aledaños a la REBICA. El objetivo fue evaluar una línea base que permita el monitoreo a largo plazo del impacto de las acciones de restauración en la diversidad arbórea, su uso y el carbono almacenado. Los ejidos EEC y LA se asociaron a sistemas agroforestales, y BJ a un sistema silvopastoril, estimando densidades de 1 713 ind ha⁻¹, 3 144 ind ha⁻¹ y 1 717 ind ha⁻¹, respectivamente. La diversidad verdadera (1D) varió de 24.63 en LA a 15.13 en EEC y 13.47 en BJ. Se reconocieron 16 usos potenciales para las especies identificadas de las cuales 47 estuvieron protegidas en los listados de CITES, UICN y la NOM-059. Los valores de carbono correspondieron a 6.96 Mg C ha⁻¹ en BJ, 10.32 Mg C ha⁻¹ en EEC y 34.40 Mg C ha⁻¹ en LA. Las variaciones en composición, estructura, biomasa y carbono estimadas indican que la estimación de esta línea base facilitará la generación de un programa de monitoreo para evaluar el impacto de las acciones de restauración implementadas y, en su caso, modificarlas para acelerar la recuperación de los atributos analizados.

Palabras clave: Agroforestería, Silvopastoril, Monitoreo, Biomasa, Conservación.

ABSTRACT. Tropical forests of the Calakmul Biosphere Reserve (REBICA) are home to high biodiversity and provide diverse ecosystem services threatened by the advance of the agricultural frontier. Productive restoration (RP), as a strategy that articulates the needs of producers and the conservation of natural resources, was implemented in modules in the ejidos Benito Juárez II (BJ), Eugenio Echeverría Castellot I (EEC) and Los Angeles (LA), adjacent to the REBICA. The aim was to evaluate a baseline for long-term monitoring of the impact of restoration actions on tree diversity, its use and stored carbon. The ejidos EEC and LA were associated with agroforestry systems, while in BJ a silvopastoral system was implemented, estimating densities of 1 713 ind ha⁻¹, 3 144 ind ha⁻¹ and 1 717 ind ha⁻¹ respectively. True diversity (1D) ranged from 24.63 in LA to 15.13 in EEC and 13.47 in BJ. Sixteen potential uses were recognized for the identified species of which 47 were protected under CITES, IUCN and NOM-059 lists. The carbon values corresponded to 6.96 Mg C ha⁻¹ in BJ, 10.32 Mg C ha⁻¹ in EEC and 34.40 Mg C ha⁻¹ in LA. The variations in composition, structure, biomass and carbon estimated indicate that the estimation of this baseline will facilitate the generation of a monitoring program that will allow evaluating the impact of the restoration actions implemented and, where appropriate, modifying them to accelerate the recovery of the analysed attributes.

Key words: Agroforestry, Silvopastoral, Monitoring, Biomass, Conservation.

INTRODUCCIÓN

La Reserva de la Biosfera de Calakmul (REBICA) es el bosque tropical (BT) protegido más extenso y en mejor estado de conservación de México, junto con los BT de la reserva privada de Rio Bravo en Belice y la Reserva de la Biosfera Maya en Guatemala constituyen el área más grande de Mesoamérica (Ellis *et al.* 2017). La vegetación de la REBICA se caracteriza por su alta diversidad de flora y fauna, en donde se estima que se encuentran representadas más de 1 500 especies vegetales (Martínez *et al.* 2001), 21 especies de anfibios, 69 especies de reptiles (Colston *et al.* 2015), 403 especies de aves (González-Jaramillo *et al.* 2016) y más de 100 especies de mamíferos (CONANP 2013), incluyendo cinco de las seis especies de felinos y dos de las tres especies de primates presentes en México. Además, brinda servicios ecosistémicos de provisión o de regulación como la captura y el almacenamiento de carbono, entre otros (Gondwe *et al.* 2010, Aryal *et al.* 2014). En cuanto a la captura y almacenamiento de carbono en la biomasa aérea viva, estos BT pueden almacenar entre 99.56 Mg (selvas maduras) y 11.72 Mg C ha⁻¹ (vegetación secundaria) y capturar anualmente de 0.3 Mg C ha⁻¹ en selvas maduras a 4.7 Mg C ha⁻¹ en vegetación secundaria joven (Aryal *et al.* 2014). A pesar de su importancia ecológica, los BT adyacentes a la REBICA presentan problemas de deforestación, asociados principalmente con el avance de la frontera agropecuaria propiciada, en parte, por los programas de desarrollo agropecuario y subsidios (Martínez y Esparza 2010, Ellis *et al.* 2017). Los procesos de deforestación amenazan la biodiversidad y los servicios ambientales que proveen los BT de la REBICA y suponen la pérdida de importantes recursos para las comunidades humanas que habitan alrededor de los mismos, de las cuales más del 50% de la población tiene niveles de pobreza extrema (CONEVAL 2020) y un nivel de marginación alto (CONAPO 2010).

Debido a que los asentamientos humanos generan presión sobre los ecosistemas, es importante considerar que cualquier enfoque que tenga como objetivo mitigar la deforestación y proteger la

biodiversidad debe abordar los medios de vida y las necesidades de las comunidades locales (Bhagwat *et al.* 2008). Por ello se ha sugerido que la relación entre los bosques, la agrosilvicultura y la biodiversidad silvestre es más productiva mediante la aplicación de enfoques que reconozcan el conocimiento y las prácticas locales e incorporen la investigación y el monitoreo (McNeely y Schroth 2006).

En este contexto, surgen iniciativas para atender las áreas degradadas o deforestadas, mediante procesos de restauración productiva que integran prácticas de manejo diversificadas para la producción agroecológica y que buscan armonizar las necesidades de los productores y la conservación de los recursos naturales, así como los servicios que brindan (Ceccon 2013). Entre las prácticas destacan los sistemas agroforestales (SAF) y silvopastoriles (SP), que permiten la producción de alimentos para consumo humano (cultivos anuales y perennes) y animal (forraje y pastos), así como el aprovechamiento de recursos forestales (maderables y no maderables), mismos que pueden mejorar los medios de vida de las comunidades locales (Borelli *et al.* 2017). Estas prácticas de manejo optimizan también el espacio al utilizar áreas más reducidas, con lo que se puede aprovechar y hacer un mejor uso de las parcelas de cultivo (Combe y Budowsky 1979), lo que favorece la regeneración de la vegetación de las zonas circundantes al evitar utilizar áreas más grandes que necesitan desmontarse, por lo que contribuye a disminuir los procesos de deforestación. Al mismo tiempo, favorecen la conservación de la biodiversidad (Moreno-Calles y Casas 2010, Hartoyo *et al.* 2016), los servicios ecosistémicos como la captura de carbono (Casanova-Lugo *et al.* 2016) y la conectividad del paisaje (Bhagwat *et al.* 2008), por lo que pueden favorecer la generación de corredores biológicos.

A pesar de todos los beneficios que la restauración productiva puede ofrecer, se reconoce que pueden existir conflictos entre los objetivos asociados con las actividades productivas y aquellos enfocados con la conservación de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos que brindan; por lo que el monitoreo de los procesos de restauración productiva es particularmente importante y debe constituir parte del

proceso de restauración (Paschke *et al.* 2019). Por lo anterior, el objetivo fue evaluar una línea base que permita el monitoreo a largo plazo del impacto de las acciones de restauración en la estructura y diversidad florística, su uso, la biomasa aérea y el carbono almacenado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de Estudio

El estudio se realizó en los ejidos Benito Juárez II (BJ) (89° 27' 0.57" LO, 18° 33' 18.68" LN), Eugenio Echeverría Castellot I (EEC) (89° 35' 49.34" LO, 18° 31' 53.21" LN) y Los Ángeles (LA) (89° 10' 54.47" LO, 18° 12' 51.91" LN), pertenecientes al municipio de Calakmul, Campeche, México (Figura 1).

El clima predominante en la región es cálido subhúmedo. A los alrededores de BJ puede encontrarse vegetación secundaria de selva baja subperennifolia. En el caso de LA y EEC la vegetación circundante es selva mediana subperennifolia y selva baja subperennifolia (INEGI 2014). En estos ejidos no hay cuerpos de agua superficiales, salvo aguadas que se forman durante la época de lluvias. Las actividades productivas que se desarrollan corresponden a actividades primarias, como la agricultura y la ganadería, así como el comercio de los productos derivados.

Implementación de la restauración productiva en Calakmul

En primera instancia, se realizaron reuniones comunitarias en los tres ejidos donde se proporcionó información sobre la restauración productiva basada en agroforestería y se identificaron a los participantes potenciales. Posteriormente, se llevaron a cabo entrevistas con los productores interesados, para obtener información referente a la historia de uso y manejo de sus parcelas. Esta información permitió caracterizar cada parcela y diseñar un plan estratégico de restauración productiva personalizado basado en el interés productivo de los participantes y en las condiciones de cada parcela. A partir de cada plan estratégico se implementaron los sistemas agroforestales o silvopastoriles en los ejidos BJ, EEC

y LA.

Muestreo de vegetación y toma de datos

Se utilizó la metodología indicada en la guía metodológica para la estimación y mapeo de la biomasa en bosques tropicales (Esparza-Olguín *et al.* 2014), instalando 12 unidades de muestreo circulares con un radio de 17.84 m cada una (1 000 m²) con un círculo concéntrico de 400 m² (11.28 m de radio). Las unidades de muestreo fueron distribuidas en las áreas perimetrales de los SAF y SP (corredores biológicos), teniendo cuatro unidades de muestreo por ejido y una superficie muestreada total de 12 000 m². En los círculos de 400 m² se censaron los individuos con Dn mayor de 1 cm y a partir de un Dn mayor a 2.5 cm en el resto del círculo de 1000 m². Para cada individuo se registró el nombre científico, el nombre común, el diámetro normal (Dn) a una altura de 1.30 m y la altura total.

Análisis de datos

Se realizó un listado florístico de las especies leñosas para determinar la composición específica en cada sitio de muestreo. Para cada especie se documentó el uso mediante literatura especializada y entrevistas realizadas a los productores dueños de los SAF y SP. Además, se identificaron aquellas especies incluidas en alguna categoría de riesgo dentro de la norma oficial mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT 2019), la lista roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN 2020) y en los apéndices de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES 2019).

Se estimó la densidad de individuos (individuos de cada especie presentes en una hectárea) y el área basal calculada como:

$$AB = \sum pi \left(\frac{Dni}{2} \right)^2$$

Donde: pi = 3.1416 y Dni = Diámetro normal de la iésima especie.

Para conocer la diversidad en cada sitio de muestreo, se estimó la riqueza de especies y el índice de diversidad verdadera de orden 1 (1D) mediante la

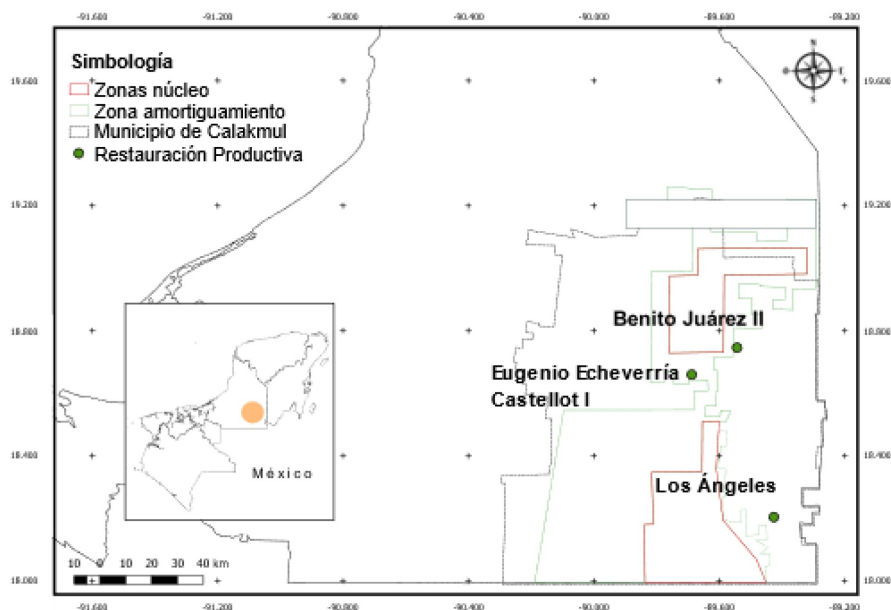


Figura 1. Ubicación de los módulos agroforestales en la región de Calakmul.

expresión:

$$qD = \left(\sum_i^S 1p_i^q \right)^{1/(1-q)}$$

Donde: qD = diversidad verdadera, pi = abundancia relativa (abundancia proporcional) de la iésima especie, S = número de especies, y q = orden de la diversidad.

La diversidad verdadera define la sensibilidad del índice a las abundancias relativas de las especies (Jost 2006, Moreno *et al.* 2011, Jost y González-Oreja 2012). La estimación de biomasa por individuo se efectuó mediante tres diferentes tipos de ecuaciones alométricas generadas para áreas con condiciones similares a las del área de estudio (Aryal *et al.* 2014). Para diámetros de individuos normales mayores o iguales a 10 cm se utilizó la fórmula de Cairns *et al.* (2003) modificada por Urquiza-Haas *et al.* (2007):

$$AGB = \frac{\left(\exp(-2.12605 + 0.868 \ln(D^2H)) * \left(\frac{\rho_1}{\rho_m} \right) \right)}{10^3}$$

Donde: D = Diámetro del tronco a 1.30 m de altura, H = Altura total del árbol, p1 = Densidad de madera

por árbol (g cm^{-3}), y pm = Promedio de densidad de madera de árboles usado para generar la ecuación (0.75 g cm^{-3}).

Para individuos con diámetros normales de entre 5 y 9.9 cm se utilizó la ecuación (Chave *et al.* 2005):

$$AGB = \frac{\left(\exp(-2.187 + 0.916 \ln(\rho D^2 H)) \right)}{10^3}$$

Donde: D = Diámetro del tronco a 1.30 m de altura, H = Altura total del árbol, y ρ = Densidad de madera por árbol (g cm^{-3}).

En el caso de individuos con diámetros normales menores a 5 cm se empleó la siguiente ecuación (Hughes *et al.* 1999):

$$AGB = \frac{\left(\exp(4.9375 + 1.0583 \ln(D^2)) * 1.14 \right)}{10^6}$$

Donde: D = Diámetro del tronco a 1.30 m de altura.

La estimación de biomasa por sitio de muestreo se calculó con la sumatoria de la biomasa de cada individuo presente. El carbono contenido en el componente aéreo de los individuos, se calculó mediante la conversión de biomasa a carbono con el factor 0.47 (Fonseca *et al.* 2011).

La comparación de los valores de la densidad, área basal y riqueza de especies entre las diferentes áreas de muestreo se hizo mediante una prueba de varianza (ANOVA). La comparación de biomasa y el carbono se realizó mediante el cálculo de la desviación estándar (Aryal *et al.* 2014, Casiano-Domínguez *et al.* 2017).

RESULTADOS

En conjunto con los productores se determinó que la restauración productiva en Calakmul debe garantizar la producción de alimentos para autoabasto, venta a corto y mediano plazo, el establecimiento de árboles que permitieran a mediano y largo plazo el aprovechamiento de recursos no maderables y maderables, así como coadyuvar en la conservación a largo plazo de la biodiversidad (flora y fauna) y los reservorios de carbono. Los tres módulos implementados incluyeron un área para la producción agrícola (SAF) o pecuaria (SP), intercaladas con árboles para el aprovechamiento maderable y no maderable, así como un área perimetral donde se permite la regeneración de la vegetación circundante al evitar la realización de actividades productivas.

En el módulo implementado en BJ, el productor indicó que en la vegetación original presente en el sitio predominaban *Bursera simaruba* (chaka) y *Hampea trilobata* (majagua). Se utilizó por primera vez en 2010 y desde esa fecha se ha usado por lo menos cuatro veces para llevar a cabo forrajeo de borregos y milpa, en donde sembraban maíz, chile y frijol. Previo a la implementación de la milpa y, para la preparación del sitio por primera vez, se desmontó de manera manual (hacha) y se mantuvo libre de vegetación utilizando herbicidas comerciales. De igual manera, se ha realizado extracción de leña de la vegetación circundante, aprovechando solamente árboles que encuentra caídos.

Para EEC, el productor indicó que en la vegetación original en el sitio predominaban *Piscidia piscipula* (Jabín), *Lysiloma latisiliquum* (tzalam), *B. simaruba* (chaka), *Platymiscium yucatanum*

(granadillo), *Cordia dodecandra* (ciricote) y *Lonchocarpus guatemalensis* (xuul). Se utilizó por primera vez en 2003 como potrero y milpa. Desde esa fecha se usó por lo menos dos veces, en donde previo al inicio de dichas actividades, realizó el desmonte de la vegetación mediante el método de tumba y quema. Se menciona que en el área aledaña ocurrió un incendio en 2013 y que se extrae leña de esa misma área cuando es necesario.

En el caso de LA, el productor indica que en la vegetación original en el sitio predominaban *Manilkara zapota* (zapote), *Brosimum alicastrum* (ramón) y *Sabal* sp. (guano). El sitio se ha utilizado desde 2010, para pequeñas plantaciones de papaya comercializadas dentro de la región. En las áreas circundantes del sitio no se realiza aprovechamiento de ningún tipo.

El módulo implementado en BJ se conformó para la crianza de ovinos. Se estableció la siembra de pastizales y de árboles forrajeros (*Leucaena leucocephala*) con la finalidad de mantener un banco de proteínas para la alimentación de los ovinos. Lo anterior, se complementó con la rotación del hato para evitar la eliminación total del pasto y mantener siempre disponible una fuente de alimentación. En EEC, el módulo se conformó con plantaciones frutales de limón persa, papaya, zapote y cocos, en conjunto con cultivos de maíz (*Zea mays*), chiles (*Capsicum chinense*, *Capsicum chinense*) y tomates (*Solanum lycopersicum*). Se utilizó fungicida a base de componentes orgánicos para el control y prevención de los hongos en este módulo. En LA también se implementaron cultivos frutales, en donde se establecieron de manera intercalada pimienta (*Pimenta dioica*), aguacate (*Persea americana*), guanábana (*Annona muricata*) y papaya (*Carica papaya*), y el control de hongos se realizó mediante la aplicación de fungicidas a base de ingredientes orgánicos. El control de malezas se realizó de forma manual en todos los módulos.

En las áreas perimetrales de cada SAF y SP, se estableció el área para conservación y monitoreo de biodiversidad y biomasa, a manera de corredor biológico. En ellas, para el SP del ejido BJ, se registró una densidad de 1 717 ind ha⁻¹, 40 especies y 24 fa-

milias. En el SAF del ejido EEC se registró una densidad de 1 713 ind ha⁻¹, 42 especies y 24 familias; mientras que en LA se documentó una densidad de 3 144 ind ha⁻¹, 50 especies y 26 familias; sin que existan diferencias significativas entre las densidades ($F = 0.75$, $p = 0.499$) y la riqueza de especies ($F = 1.197$, $p = 0.346$) de las áreas estudiadas (Tabla 1). En la Tabla 2 se observa que, en las tres áreas de estudio, la mayoría de especies es de la familia Leguminosae (18), seguido de Polygonaceae (4) y Euphorbiaceae (3); mientras que, las familias con mayor número de individuos fueron Myrtaceae (BJ) con 97, Meliaceae (EEC) con 80 y Sapotaceae (LA) con 106.

Con respecto al estatus de conservación de las especies registradas en los SAF (EEC y LA) y SP (BJ), 47 se encuentran en alguna categoría de amenaza según la lista roja de IUCN, la NOM-059-SEMARNAT-2010 y los apéndices de CITES (Tabla 1). En el SP de BJ se encontraron 22 especies en la lista roja de IUCN; en tanto en los SAF de EEC y LA se registraron 23 y 31 especies, respectivamente. En relación con la NOM-059-SEMARNAT-2010 se presentaron dos especies en el EEC y dos en LA; mientras de los apéndices CITES se reportan dos especies, una en EEC y otra en LA. Las especies *Cedrela odorata* (EEC) y *Guaiacum sanctum* (LA) son las únicas en presentarse en las tres listas.

Se identificaron 16 usos potenciales para las especies registradas en los SAF y SP del presente estudio (Tabla 1). Todas las especies tiene algún uso potencial y el 87% presenta un uso múltiple, en donde destacan por el número de usos reportados *B. simaruba* (10), *Cecropia peltata* y *Gliricidia sepium* (8). El uso más frecuente de las especies fue el medicinal ($M = 17.5\%$), seguido del uso de la madera ($Md = 16.8\%$), melífero ($Me = 14.3\%$) y combustible ($C = 13.6\%$).

El área basal promedio fue de 6.17 m² ha⁻¹ en el SP de BJ, 12.97 m² ha⁻¹ y 26.17 m² ha⁻¹ en los SAF de ECC y LA, respectivamente; sin que se presenten diferencias significativas ($F = 1.819$, $p = 0.217$) (Tabla 1). La diversidad verdadera (1D) varió de 20.8 en el SAF de LA a 15.13 en EEC y 13.47 en el SP de BJ.

Para la biomasa área, el contenido total fue

de 14.80 t ha⁻¹ para BJ, 21.95 t ha⁻¹ para EEC y 73.19 t ha⁻¹ para LA; lo que corresponde a 6.96 Mg C ha⁻¹ para BJ, 10.32 Mg C ha⁻¹ para EEC y 34.40 Mg C ha⁻¹ para LA, en ambos casos el SAF de LA tuvo valores significativamente mayores que el SAF de EEC y el SP de BJ (Tabla 3). En BJ, las especies con mayor valor de biomasa y, por lo tanto, de carbono fueron *Bucida buceras*, *Haematoxylum campechianum* y *Eugenia ibarrae* las cuales concentran el 67.11% del contenido total en el módulo. En EEC, *Krugiodendron ferreum* fue la especie con mayor cantidad de biomasa y carbono, las que concentran el 55.53% del contenido total del módulo. En LA, las especies con mayor valor de biomasa y carbono fueron *Thouinia paucidentata*, *M. zapota* y *K. ferreum*, las cuales concentran el 53.36% del contenido de biomasa y carbono de este módulo (Tabla 3).

DISCUSIÓN

Las acciones de restauración implementadas permitieron la transición de áreas en EEC y LA, en donde se efectuaban actividades agrícolas de manera convencional a módulos agroforestales; mientras que en BJ de actividades ganaderas convencionales a módulos silvopastoriles. Lo anterior permite, seguir efectuando actividades productivas y, que las zonas circundantes a estas se regeneren al incluir un área dedicada para ello. Por lo que se logra un enfoque integral para reducir la presión sobre el ecosistema, como han sugerido Bhagwat *et al.* (2008) al considerar tanto las necesidades actuales de la población local, así como la recuperación de funciones y la sustentabilidad a futuro del ecosistema (Gómez-Ruiz y Lindig-Cisneros 2017), cumpliendo de esta forma con los principios sugeridos para la restauración productiva (Cecon 2013). De igual manera, colaboraciones basadas en el manejo local son de vital importancia, ya que tienen el potencial de crear sinergias entre los intereses medioambientales y los de desarrollo a nivel local y global (Klooster y Masera 2000), lo que permite garantizar que los procesos de restauración permanezcan a mediano y largo plazo (Cecon y Gómez-Ruiz 2019).

Tabla 1. Área basal, riqueza de especies y diversidad verdadera de la vegetación arbórea en las áreas de estudio.

Módulo / Localidad	Densidad (ind ha ⁻¹)	Área basal (m ² ha ⁻¹)	Riqueza	Diversidad (1D)
SAF Los Ángeles	3144*	26.17*	50†	24.63†
LA_1	1283	0.13	5	16.59
LA_2	3608	30.97	30	22.11
LA_3	3958	42.79	34	24.12
LA_4	3725	30.79	32	24.50
SAF Eugenio Echeverría Catellot I	1713*	12.97*	42†	15.13†
EEC_1	4167	35.75	34	14.61
EEC_2	0	0.0	0	0.0
EEC_3	2683	16.10	16	14.64
EEC_4	0	0.0	0	0.0
SP Benito Juárez II	1717*	6.17*	40†	13.47†
BJ_1	0	0.0	0	0.0
BJ_2	2150	8.41	19	12.86
BJ_3	4717	16.26	25	13.02
BJ_4	0	0.0	0	0.0

*Corresponden a valores promedio, †Corresponde a valores totales.

La historia de uso de los predios indica que los módulos implementados en los ejidos BJ, EEC y LA se establecieron en áreas abiertas que se encontraban en uso. Lo que permite conocer el origen de los sitios donde se establecieron los SAF y SP, para evitar interpretaciones erróneas en las condiciones iniciales de estructura y diversidad de la vegetación, lo que es importante en los trópicos donde se ha observado que es común encontrar sistemas agroforestales derivados tanto de bosques como de tierras abiertas (Martin *et al.* 2020).

La composición de la vegetación observada en el área designada para la conservación y monitoreo de biodiversidad y biomasa en los SAF y SP de EEC, LA y BJ, muestra una riqueza de especies similar a la reportada en otros estudios en selvas o vegetación secundaria derivada de estas en la región de Calakmul. Por ejemplo, las 82 especies registradas representan el 90% de las 91 especies reportadas por Zamora-Crecencio *et al.* (2012); el 97% de las 84 especies reportadas por Esparza-Olguín *et al.* (2019); el 48% de las 168 especies reportadas por Haas-Ek *et al.* (2019) y el 65% de las 126 especies reportadas por Esparza-Olguín y Martínez-Romero (2018). En el caso de lo reportado por García-Licona *et al.* (2014), quienes encontraron 78 especies, se reporta una riqueza 5% mayor en este estudio. La mayor riqueza específica en los SAF y SP, fue de la familia Leguminosae, lo que concuerda con lo re-

portado para la región (Esparza-Olguín y Martínez-Romero 2018, Esparza-Olguín *et al.* 2019, Haas-Ek *et al.* 2019).

La presencia de especies que se encuentran en alguna categoría de riesgo, como *C. odorata* y *G. sanctum*, sugiere que las áreas destinadas a la conservación y monitoreo reúnen las condiciones ambientales idóneas para su desarrollo y cumplen con la función de permitir protección (Moreno-Calles y Casas 2010). A pesar de que las especies encontradas en los sitios tienen diversos usos potenciales, el único reportado por los productores fue el de combustible (leña), previo al establecimiento de la RP en los tres módulos. Al conocer el potencial melífero de algunas especies, los productores de BJ, LA y EEC, con actividad apícola, movieron sus colmenas de abejas y encontraron otro motivo para conservar la vegetación aledaña a sus módulos y obtener provecho de ellas. Por lo que, conocer la disponibilidad de especies con distintos usos potenciales permitirá hacer uso de la vegetación aledaña a los SAF y SP, lo que permite acceder a recursos que permiten mejorar los medios de vida (Borelli *et al.* 2017).

Con respecto a la estructura, si bien las áreas basales reportadas por parcela no son significativamente diferentes, los valores promedio para los SAF de EEC y LA concuerdan con lo reportado para vegetación secundaria derivada de selvas subperennifolias en la región de Calakmul, teniendo para el ca-

Tabla 2. Abundancia, estatus de conservación y uso potencial de las especies identificadas en las áreas de estudio.

Familia / Especie	BJ	EEC	LA	NOM-059	IUCN	CITES	Usos
Anacardiaceae							
<i>Metopium brownei</i>	2	3	2		LC		Me, C
<i>Spondias mombin</i>			3		LC		A, M, C, Md, CV, U, Pa
Annonaceae							
<i>Mosannonna depressa</i>		2	39		LC		Me, M, CR
Apocynaceae							
<i>Cameraria latifolia</i>	1						M
<i>Cascabela gaumeri</i>	16	3			LC		CR, M
<i>Plumeria obtusa</i>	1				LC		M, O
Arecaceae							
<i>Cryosophila stauracantha</i>			12	A			U, M, O
<i>Roystonea regia</i>			4				I, O, Te, M
<i>Sabal yapa</i>			2				Ar, Md, O, U, Te
Bignoniaceae							
<i>Crescentia cujete</i>	5				LC		Ar, CR, M
<i>Handroanthus chrysanthus</i>		2		A			Md, O, CV, U, Me, M, C
Boraginaceae							
<i>Cordia dodecandra</i>		1					Md, A, U, M, Ar
Burseraceae							
<i>Bursera simaruba</i>	12	5	21		LC		M, Md, P, CV, F, C, I, E, Ar, Me
<i>Protium copal</i>			13		LC		M, Md, CR
Canellaceae							
<i>Canella winterana</i>		1					A, M, Md
Celastraceae							
<i>Maytenus schippii</i>		1	1				C
<i>Semialarium mexicanum</i>	4	2			LC		M, I
Combretaceae							
<i>Bucida buceras</i>	22						Md, C
Ebenaceae							
<i>Diospyros salicifolia</i>	5	2	6				M, Md, C
Euphorbiaceae							
<i>Croton arboreus</i>	11	6	1		LC		M, Me, CV, Md
<i>Croton icche</i>	22	9					C, Me
<i>Jatropha gaumeri</i>		5					CV, M
<i>Sebastiania adenophora</i>	3						Me
Lamiaceae							
<i>Vitex gaumeri</i>		4	2		EN		C, M, CV, Me, Ar, U
Lauraceae							
<i>Nectandra salicifolia</i>	1	9			LC		C, CV, Me
Leguminosae							
<i>Acacia centralis</i>		1	2				Md, C
<i>Acacia cornigera</i>		1					M, C, Me
<i>Acacia dolichostachya</i>	1				LC		Md, Me
<i>Acacia gaumeri</i>		3			NT		C, F, M, Me
<i>Bahuinia divaricata</i>	1		8		LC		M, Md, CR, F, C
<i>Caesalpinia mollis</i>		3					M, Md, Me
<i>Gliricidia sepium</i>	5						A, Ar, C, I, F, M, Md, Me
<i>Haematoxylum campechianum</i>	11	1			LC		I, Me, Md, C
<i>Havardia albicans</i>	1		3				Md, Me, CV, M, I
<i>Lonchocarpus guatemalensis</i>	25	13	7		LC		M, Md, I, C, Me
<i>Lonchocarpus rugosus</i>			1		LC		I, Md, C, Me, M
<i>Lonchocarpus yucatanensis</i>		5	26		LC		Md, Me, C, M
<i>Lysiloma latisiliquum</i>			1		LC		Md, Me, C, F, M, U
<i>Mimosa bahamensis</i>		2			LC		C, F
<i>Piscidia piscipula</i>	4		6		LC		M, Md, Me, C, CV, F
<i>Platymiscium yucatanum</i>	1	2	1				Md, U, Ar
<i>Swartzia cubensis</i>			1				Me, C, M, Md
Malpighiaceae							
<i>Byrsonima bucidifolia</i>	1				LC		A
Malvaceae							
<i>Hampea trilobata</i>	1	2					Md, U, M, Me, C
<i>Pseudobombax ellipticum</i>			3		LC		F, O, Me, E, CR
Meliaceae							
<i>Cedrelela odorata</i>		80		Pr	VU	III	Md, M, E, Ar, C, U, Me
<i>Trichilia minutiflora</i>	1		67		VU		M, Me, Md, C
Menispermaceae							
<i>Hyperbaena winzerlingii</i>	5						F, Me
Moraceae							
<i>Brosimum alicastrum</i>			31				Ar, A, U, Pa, Md, F, M
Myrtaceae							
<i>Eugenia ibarrae</i>	94	12	19				C
<i>Eugenia winzerlingii</i>	2				LC		Me, C, I
<i>Myrciaria floribunda</i>	1		28		LC		A, M
<i>Pimenta dioica</i>			1		LC		A, E, M, C, Md, U, I
Nyctaginaceae							
<i>Neea choriophylla</i>	4	5	13				I, M
Opiliaceae		1					
<i>Agonandra ovatifolia</i>		1					Me

Tabla 2. Continuación.

Piperaceae						
<i>Piper yucatanense</i>		4				Me
Polygonaceae						
<i>Coccoloba acapulcensis</i>		5		LC		Md, U, Me
<i>Coccoloba cozumelensis</i>	7	15	5	LC		Md, Me
<i>Coccoloba reflexiflora</i>		2				Me, C
<i>Coccoloba spicata</i>		1	6	LC		CR, Md
<i>Gymnopodium floribundum</i>	11			LC		Me, C, Md, F
Primulaceae						
<i>Bonellia flammea</i>	6		3			M
<i>Bonellia macrocarpa</i>			2	LC		Ar, M, Md, O
Putranjivaceae						
<i>Drypetes latelliflora</i>		58	26	LC		Md, CR
Rhamnaceae						
<i>Krugiodendron ferreum</i>	7	4		LC		Md
Rubiaceae						
<i>Randia aculeata</i>	20	14	3	LC		Md, C, I, M
<i>Randia longiloba</i>	2		1	LC		A, C, CR, M, U
<i>Simira salvadorensis</i>		1	13			U, Md
Rutaceae						
<i>Casimiroa tetrameria</i>			3	LC		A
<i>Esenbeckia berlandieri</i>	1		1	EN		C, M, Me
Salicaceae						
<i>Zuelania guidonia</i>	1					M, Md, C
Sapindaceae						
<i>Exothea diphylla</i>		2	13	LC		M, Me
<i>Melicoccus oliviformis</i>			1			A, C, Md
<i>Talisia floresii</i>	1					A, U, Md, Me
<i>Thouinia paucidentata</i>	6	8	11	LC		Md, C, Me, M, CV
Sapotaceae						
<i>Manilkara zapota</i>	4	2	15			A, M, Md, I, Ar, F, U
<i>Pouteria campechiana</i>			13	LC		Md, A, M, Me
<i>Pouteria reticulata</i>	1	1	75			Md, A
<i>Sideroxylon salicifolium</i>	1		3			M, Md, Me, A
Urticaceae						
<i>Cecropia peltata</i>			2	LC		M, Ar, A, I, F, U, Pa, Md
Zygophyllaceae						
<i>Guaiacum sanctum</i>		1	A	NT	II	M, Md, Me, O

Usos. C: Combustible (leña, carbón); Md: Madera (construcción, carpintería, ebanistería, leña, etc.); Ar: Artesanía (figuras, cestos, etc.); F: Forraje; CR: Ceremonial o religioso; I: Industrial (etanol, insecticida y otros químicos o metabolitos secundarios); E: Esencias, Cosméticos, jabones; P: Pegamento o aislante; Me: Melífera; Pa: Papel; A: Alimento; O: Ornato; CV: Cerco vivo; M: Medicina; U: Utensilios (escobas, etc.); Fb: Fibras para sogas y cordeles; Te: Techos.

Tabla 3. Biomasa y carbono almacenados en vegetación arbórea en las áreas de estudio.

Condición/Especie	Biomasa (Ton ha ⁻¹)	Carbono (Mg C ha ⁻¹)
SAF Los Ángeles	73.19 ± 13.79	34.4 ± 6.48
<i>Thouinia paucidentata</i>	15.87	7.46
<i>Manilkara zapota</i>	15.33	7.20
<i>Krugiodendron ferrum</i>	7.72	3.63
SAF Eugenio Echeverría Catellot I	21.26 ± 10.52	10.32 ± 4.94
<i>Krugiodendron ferrum</i>	12.19	5.73
SP Benito Juárez II	14.81 ± 5.67	6.96 ± 2.66
<i>Bucida buceras</i>	4.01	1.88
<i>Haematoxylum campechianum</i>	3.04	1.43
<i>Eugenia ibarrae</i>	2.88	1.33

so del SP de BJ un valor promedio menor. Al respecto, García-Licona *et al.* (2014) indican valores entre 11.76 m² ha⁻¹ (acahuales siete años) y 26.57 m² ha⁻¹ (acahual 16 años); mientras que Esparza-Olguín *et al.* (2019) reportan valores de entre 9.55 y 26.05 m² ha⁻¹ y Esparza-Olguín y Martínez-Romero (2018) entre 22.66 y 37.42 m² ha⁻¹. Estas diferencias entre el SP y los SAF pueden deberse a

la historia de uso de cada módulo. De igual manera, las densidades promedio observadas son inferiores a las reportadas en otros estudios con valores entre 3 688 y 8 272 ind ha⁻¹ (Zamora-Crescencio *et al.* 2012, García-Licona *et al.* 2014, Esparza-Olguín y Martínez-Romero 2018, Esparza-Olguín *et al.* 2019).

Las diferencias significativas entre los valores de biomasa y carbono de los SAF y SP pueden refle-

jar las diferencias entre el tipo de cobertura vegetal y las historias de uso previas a la implementación de los SAF y SP del estudio. Para BJ y EEC los valores de biomasa y carbono estimados son semejantes a los reportados para vegetación secundaria joven (4 a 10 años) o con historias de uso de alta intensidad que oscilan entre 1.99 M C ha⁻¹ y 28.92 M C ha⁻¹ (Aryal *et al.* 2014, Esparza-Olguín y Martínez-Romero 2018, Esparza-Olguín *et al.* 2019). Pero son menores que los reportados para otros trabajos en selvas subperennifolias y vegetación secundaria (20 a 35 años de abandono) dentro de la región de Calakmul (Aryal *et al.* 2014, Esparza-Olguín y Martínez-Romero 2018) quienes estiman entre 34.17 M C ha⁻¹ y 99.56 M C ha⁻¹.

CONCLUSIONES

La integración del componente social durante la generación e implementación de los SAF y SP, como acciones de restauración productiva en los ejidos BJ, EEC y LA fue clave, ya que se establecieron metas que consideraron beneficios económicos, ecológicos y sociales. Las variables del componente ecológico, tuvieron variaciones en la composición, estructura, biomasa y carbono en la vegetación presente en las áreas destinadas a conservación y

monitoreo en los SAF y SP relacionadas con las historias de uso previas y con el tiempo de recuperación que han tenido (etapa sucesional). La estimación de esta línea base, permitirá el seguimiento a largo plazo del impacto de las acciones de restauración en la estructura, la diversidad florística, la biomasa aérea, el carbono almacenado y el uso de la vegetación. Lo anterior facilitará la generación de un programa de monitoreo que permita evaluar y dirigir de manera adecuada la recuperación de los sitios asociada con las distintas estrategias de restauración productiva implementadas en los SAF y SP de BJ, EEC y LA.

AGRADECIMIENTOS

A Manuel Arana por su apoyo en la identificación de las especies y a los propietarios de las parcelas: Román Hernández (BJ), Sebastián Badal (EEC), Rafael Pineda y Guillermo Pineda (LA). Al proyecto Manejo integral de acahuales y su relación con la política ambiental (Alianza FCS-WWF) que financió el trabajo de campo. Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología que otorgó la beca número 953045 al primer autor. A los revisores anónimos por ayudarnos a mejorar el manuscrito.

LITERATURA CITADA

- Aryal D, De Jong B, Ochoa-Gaona S, Esparza-Olguín L, Mendoza-Vega J (2014) Carbon stocks and changes in tropical secondary forests of southern Mexico. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 195: 220-230.
- Bhagwat S, Willis K, Birks H, Whittaker R (2008) Agroforestry: a refuge for tropical biodiversity? *Trends in Ecology & Evolution* 23: 261-267.
- Borelli S, Conigliaro M, Olivier E (2017) Agroforestería para la restauración del paisaje: explorando el potencial de la agroforestería para mejorar la sostenibilidad y la resiliencia de los paisajes degradados. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. 22p. <http://www.fao.org/3/b-i7374s.pdf>. Fecha de consulta: 4 de noviembre de 2020.
- Cairns M, Olmsted I, Granados J, Arguez J (2003) Composition and aboveground tree biomass of a dry semi-evergreen forest on Mexico's Yucatán Peninsula. *Forest Ecology and Management* 186: 125-132.
- Casanova-Lugo F, Ramírez-Avilés L, Parsons D, Caamal-Maldonado A., Piñero-Vázquez A, Díaz-Echeverría V (2016) Servicios ambientales de los sistemas agroforestales tropicales. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 22: 269-284.

- Ceccon E (2013) Restauración en bosques tropicales: fundamentos ecológicos, prácticos y sociales. 1era edición. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 288p.
- Ceccon E, Gómez-Ruiz P (2019) Las funciones ecológicas de los bambúes en la recuperación de servicios ambientales y en la restauración productiva de ecosistemas. *Revista de Biología Tropical* 67: 679-691.
- Chave J, Andalo C, Brown S, Cairns M, Chambers J, Eamus D, Fölster H, Fromard F, Higuchi N, Kira T, Lescure J.P, Nelson BW, Ogawa H, Puig H, Riéra B, Yamakura T (2005) Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia* 145: 87-99.
- CITES (2019). Convención Sobre El Comercio Internacional De Especies Amenazadas De Fauna Y Flora Silvestres: Apéndices I, II y III. UNEP. Ginebra, Suiza. <https://cites.org/sites/default/files/esp/app/2019/S-Appendices-2019-11-26.pdf>. Fecha de consulta: 4 de noviembre de 2020.
- Colston T, Littlefair E, Barão-Nóbrega J, Hunter S, Cen A, Manders R, Hunter S, Radage A, Littlefair E, Williams RJ, Lopez-Cen A, Slater K (2015) Amphibians and reptiles of the Calakmul Biosphere Reserve, México, with new records. *Check List* 11: 1759. DOI: 10.15560/11.5.1759.
- Combe J, Budowsky G (1979) Clasificación de las técnicas agroforestales: Una revisión de literatura. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 32p.
- CONANP (2013) Nomination of Ancient Maya City and Protected Tropical Forest of Calakmul: By the Government of Mexico for Inscription on the World Heritage List. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Calakmul, México. 857p.
- CONAPO (2010) Índice de Marginación por entidad federativa y municipio. Consejo Nacional de Población. Distrito Federal, México. http://www.conapo.gob.mx/en/CONAPO/Indices_de_Marginacion_2010_por_entidad_federativa_y_municipio. Fecha de consulta: 4 de noviembre de 2020.
- CONEVAL (2020) Informe de pobreza y evaluación 2020, Campeche. Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social. Ciudad de México, México. 120p.
- SEMARNAT (2019) Modificación del Anexo Normativo III, Lista de especies en riesgo de la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Diario Oficial de la Federación. Ciudad de México, México. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5578808&fecha=14/11/2019. Fecha de consulta: 4 de noviembre de 2020.
- Ellis E, Hernández-Gómez I, Romero-Montero J (2017) Los procesos y causas del cambio en la cobertura forestal de la Península Yucatán, México. *Ecosistemas* 26: 101-111.
- Esparza-Olguín L, Martínez-Romero E, Line F, Mendoza-López S (2014) Medición de biomasa en campo con brigadas comunitarias. En: *Governors' Climate and Forests Fund (ed.) Guía metodológica para la estimación y mapeo de la biomasa en Bosques Tropicales*. Governors' Climate and Forests Fund. México. pp: 16-29.
- Esparza-Olguín L, Martínez-Romero E (2018) Diversidad y carbono almacenado en el área forestal permanente de Álvaro Obregón, Calakmul, Campeche. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 9: 152-186.
- Esparza-Olguín L, Vargas-Contreras J, Martínez-Romero E, Escalona-Segura G (2019) Diversidad y biomasa de la selva circundante al Volcán de los Murciélagos, en Campeche, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 6: 79-90.
- Fonseca W, Alice F, Rey-Benayas J (2011) Carbon accumulation in the biomass and soil of different aged secondary forests in the humid tropics of Costa Rica. *Forest Ecology and Management* 262: 1400-1408.

- García-Licona J, Esparza-Olguín L, Martínez-Romero E (2014) Estructura y composición de la vegetación leñosa de selvas en diferentes estadios sucesionales en el ejido El Carmen II, Calakmul, México. *Polibotánica* 38: 01-26.
- Gómez-Ruiz P, Lindig-Cisneros R (2017). La restauración ecológica clásica y los retos de la actualidad: La migración asistida como estrategia de adaptación al cambio climático. *Revista de Ciencias Ambientales* 51: 31-51.
- Gondwe B, Lerer S, Stisen S, Marín L, Rebolledo-Vieyra M, Merediz-Alonso G, Bauer-Gottweina P (2010) Hydrogeology of the south-eastern Yucatan Peninsula: New insights from water level measurements, geochemistry, geophysics and remote sensing. *Journal of Hydrology* 389: 1-17. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2010.04.044.
- González-Jaramillo M, Martínez E, Esparza-Olguín L, Rangel-Salazar J (2016) Actualización del inventario de la avifauna de la Reserva de la Biosfera de Calakmul, península de Yucatán, México: abundancia, estacionalidad y categoría de conservación. *Huitzil* 17: 54-106.
- Haas-Ek M, González-Valdivia N, Jong B, Ochoa-Gaona S, Aryal D (2019) Rebrote arbóreo en la regeneración del bosque tropical de Calakmul, Campeche, México. *Revista de Biología Tropical* 67: 164-181.
- Hartoyo A, Siregar I, Supriyanto P, Thelaide I (2016) Biodiversity, carbon stocks and community monitoring in traditional agroforestry practices: preliminary results from two investigated villages in Berau, East Kalimantan. *Procedia Environmental Sciences* 33: 376-385.
- Hughes R, Kauffman J, Jaramillo V (1999) Biomass, carbon, and nutrient dynamics of secondary forests in a humid tropical region of Mexico. *Ecology* 80: 1892-1907.
- INEGI (2014) Mapa digital de México. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México. <http://gaia.inegi.org.mx/mdm6/>. Fecha de consulta: 4 de noviembre de 2020.
- IUCN (2020) The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2020-3. International Union for Conservation of Nature. <https://www.iucnredlist.org>. Fecha de Consulta: 4 de Noviembre de 2020.
- Jost L (2006) Entropy and diversity. *Oikos* 113: 363-375.
- Jost L, González-Oreja J (2012) Midiendo la diversidad biológica: más allá del índice de Shannon. *Acta Zoológica Lilloana* 56: 3-14.
- Klooster D, Masera O (2000) Community forest management in Mexico: carbon mitigation and biodiversity conservation through rural development. *Global Environmental Change* 10: 259-272.
- Martin DA, Osen K, Grass I, Hölscher D, Tscharnkte T, Wurz A, Kreft H (2020) Land use history determines ecosystem services and conservation value in tropical agroforestry. *Conservation Letters* 13: e12740. DOI: 10.1111/conl.12740.
- Martínez E, Sousa M, Ramos-Álvarez C (2001) Listados florísticos de México XXII. Región de Calakmul, Campeche. 1era edición. Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México. 57p.
- Martínez-Romero E, Esparza-Olguín L (2010) Estudio de caso: deforestación en el estado de Campeche. Causas directas e indirectas de la principal amenaza sobre la biodiversidad. En: Villalobos-Zapata G, Mendoza Vega J (Coord). *La Biodiversidad en Campeche: Estudio de Estado*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. pp: 573-575.
- McNeely J, Schroth G (2006) Agroforestry and Biodiversity Conservation - Traditional Practices, Present Dynamics, and Lessons for the Future. *Biodiversity & Conservation* 15: 549-554.

- Moreno C, Barragán F, Pineda E, Pavón N (2011) Reanálisis de la diversidad alfa: alternativas para interpretar y comparar información sobre comunidades ecológicas. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 82: 1249-1201.
- Moreno-Calles A, Casas A (2010) Agroforestry Systems: Restoration of Semiarid Zones in the Tehuacán Valley, Central Mexico. *Ecological Restoration* 28: 361-368.
- Paschke M, Perkins L, Veblen K (2019) Restoration for multiple use. *Restoration Ecology* 27: 701-704.
- Urquiza-Haas T, Dolman PM, Peres CA (2007) Regional scale variation in forest structure and biomass in the Yucatan Peninsula, Mexico: Effects of forest disturbance. *Forest Ecology and Management* 247: 80-90.
- Zamora-Crescencio P, Gutiérrez-Báez C, Folan W, Domínguez-Carrasco M, Villegas P, Cabrera-Mis G, Castro-Angulo CM, Carlos-Carballo J (2012) La vegetación leñosa del sitio arqueológico de Oxpemul, municipio de Calakmul, Campeche, México. *Polibotánica* 33: 131-150.