

The importance of secondary vegetation for sustainable use of timber forest products in Calakmul, Campeche

Importancia de la vegetación secundaria para el aprovechamiento de productos forestales maderables en Calakmul, Campeche

Carlos A. González-González¹; Samuel I. Levy-Tacher^{1*}; Facundo Sánchez-Gutiérrez²; Pablo Martínez-Zurimendi³; Miguel Á. Castillo-Santiago¹; Alejandro Morón-Ríos⁴

¹El Colegio de la Frontera Sur, Unidad San Cristóbal de las Casas Chiapas. Carretera Panamericana y Periférico Sur s/n. C. P. 29290. San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México.

²Universidad Autónoma de Chiapas, Facultad Maya de Estudios Agropecuarios. Carretera Catazajá-Palenque km 4. C. P. 29960. Catazajá, Chiapas, México.

³El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Villahermosa. Carretera Reforma km 15.5 s/n, Ranchería Guineo 2.ª sección. C. P. 86280. San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México.

⁴El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Campeche. Rancho Polígono 2-A, Ciudad Industrial. C. P. 24500. Lerma, Campeche, México.

*Corresponding author: slevytacher@gmail.com; tel.: +52967 1146727.

Abstract

Introduction. Secondary vegetation in the state of Campeche forms the basis of agricultural and forestry production, and its biological capital depends on the fallow period elapsed.

Objective. To evaluate the potential of secondary vegetation to provide commercially valuable timber forest products (xiles and polewood) for construction.

Materials and methods. Areas with secondary vegetation (20 to 30-years fallow) and mature vegetation (>60 years fallow) were selected in forest lands of the Nuevo Becal ejido, Calakmul, Campeche. In both conditions, nine sampling units (20 x 25 m) were randomly established, where structural attributes and floristic composition were measured and compared. In the secondary vegetation, the density and volume of forest products were estimated and compared with harvested data.

Results and discussion. In the region, secondary vegetation is 60 % more diverse than mature vegetation. Secondary vegetation has greater richness ($P < 0.0001$), number of individuals ($P < 0.0001$), and basimetric area ($P < 0.0001$) of species useful for xiles and polewood compared to mature vegetation. Of the estimated forest products (xiles, polewood, and poles), 31 % are effectively harvested. The sale of timber products is considered profitable, potentially reaching 251 530 MXN·ha⁻¹; however, the amount could be higher with targeted forest management practices.

Conclusions: Products such as xiles and polewood, are found in greater quantity and quality in secondary vegetation. Commercial use of secondary vegetation could reduce pressure on mature forests in the region.

Keywords: firewood; polewood; forest products; mature vegetation; xiles.

Resumen

Introducción. La vegetación secundaria en el estado de Campeche es base de la producción agrícola y forestal y su capital biológico es función del tiempo de barbecho transcurrido.

Objetivo. Evaluar el potencial de la vegetación secundaria para proveer productos forestales maderables de valor comercial (xiles y palizada) para la construcción.

Materiales y métodos. Se eligieron áreas con vegetación secundaria (20 a 30 años de descanso) y vegetación madura (>60 años de descanso) en terrenos forestales del ejido Nuevo Becal, Calakmul, Campeche. En ambas condiciones se establecieron aleatoriamente nueve unidades de muestreo (20 x 25 m), donde se midieron y compararon atributos estructurales y composición florística. En la vegetación secundaria, la densidad y volumen de productos forestales se estimaron y se compararon con los datos cosechados.

Resultados y discusión. En la región, la vegetación secundaria es 60 % más diversa que la vegetación madura. La vegetación secundaria cuenta con mayor riqueza ($P < 0.0001$), individuos ($P < 0.0001$) y área basimétrica ($P < 0.0001$) de especies útiles para xiles y palizada que la vegetación madura. De los productos forestales estimados (xiles, palizada y postes), 31 % son cosechados efectivamente. La venta de productos maderables se considera rentable, ya que podría alcanzar 251 530 MXN·ha⁻¹; sin embargo, el monto podría ser más alto si se aplicara un manejo forestal dirigido.

Conclusiones: Los productos para aprovechamiento como xiles y palizada están presentes en mayor cantidad y calidad en la vegetación secundaria. El aprovechamiento comercial de la vegetación secundaria podría menguar la presión sobre las selvas maduras en la región.

Palabras clave: leña; palizada; productos forestales; vegetación madura; xiles.

Introduction

The Calakmul region, located southeast of Campeche, is considered the second largest forest mass in the Americas (Ellis et al., 2017; Martínez & Galindo-Leal, 2022). The region's location is of great importance as a link between the forest areas of Campeche and Quintana Roo. Together with El Petén, the region represents one of the three largest forest extensions in Mesoamerica and includes five types of vegetation communities: evergreen tropical forest, tropical dry forests, palm groves and savannas (Martínez & Galindo-Leal, 2022). Within rainforests, the 'selva de ramón' rainforest stands out, recognized as the characteristic plant association of the vegetation conserved in the community of Nuevo Becal, where the present study was carried out.

The successional and structural characteristics of vegetation in the region have been of interest to address aspects of conservation, management and use (Jiménez Osornio et al., 2010). Notably, the resilience of woody species to regenerate after being cut is remarkable (Clarke et al., 2013). This adaptation guarantees the persistence of species, which grow from intact root systems that favor the rapid development of individuals, shorten the successional process and favor forest harvesting (Chazdon, 2014; Haas-Ek et al., 2019). In this regard, forest management that enables the vegetative propagation of species in the region's forests will become an ally in stopping land use changes (Báez Vargas et al., 2017; Jiménez et al., 2010).

Currently, in the Calakmul region, the Peninsular Silvicultural Method is implemented, which involves the use of thin trees (diameter at breast height [DBH] < 20 cm) with the objective of commercializing individuals of hardwood species used in the construction industry. These materials are called 'polewood' (Mendoza-Briseño et al., 2021) and are generally obtained in areas of secondary vegetation with 20 to 30-years fallow. In the ejidos of the region, polewood is classified according to its DBH, which can have dimensions of 5 to 20 cm. Another locally appreciated material are 'xiles' which include sticks with a DBH between 3 to 5 cm and are used for the construction of fences and roofs.

To generate alternatives for the sustainable use of forests in the Yucatán Peninsula, it was considered important to evaluate the potential supply of timber products in secondary vegetation. Therefore, this study aimed to assess the quantity (number of individuals) and quality of tree species suitable for xiles and polewood, in both secondary and mature vegetation, in the ejido of Nuevo Becal, Calakmul, Campeche.

Introducción

La región de Calakmul, ubicada al sureste del estado de Campeche, es considerada la segunda masa forestal más grande del continente americano (Ellis et al., 2017; Martínez & Galindo-Leal, 2022). La ubicación de la región es de gran importancia como enlace entre las áreas forestales de Campeche y Quintana Roo. Junto con El Petén, la región representa una de las tres extensiones forestales más grandes de Mesoamérica e incluye cinco tipos de comunidades vegetales: selvas altas y medianas húmedas, selvas medianas secas, selvas bajas, palmares y sabanas (Martínez & Galindo-Leal, 2022). Dentro de las selvas altas y medianas húmedas destaca la 'selva de ramón', reconocida como la asociación vegetal característica de la vegetación conservada en la comunidad de Nuevo Becal, donde se realizó el presente estudio.

Las características sucesionales y estructurales de la vegetación en la región han sido de interés para atender los aspectos de conservación, manejo y aprovechamiento (Jiménez Osornio et al., 2010). En particular, destaca la resiliencia de las especies leñosas a regenerarse después de haber sido cortadas (Clarke et al., 2013). Esta adaptación garantiza la persistencia de las especies, las cuales crecen a partir de sistemas radicales intactos que favorecen el desarrollo rápido de los individuos, abrevia el proceso sucesional y favorece el aprovechamiento forestal (Chazdon, 2014; Haas-Ek et al., 2019). En este sentido, el manejo forestal que permita la propagación vegetativa de especies en las selvas de la región se convertirá en un aliado para frenar los cambios de uso de suelo (Báez Vargas et al., 2017; Jiménez et al., 2010).

Actualmente, en la región de Calakmul se ejecuta el Método Silvícola Peninsular que implica el aprovechamiento del arbolado delgado (diámetro normal [DN] < 20 cm) con el objetivo de comercializar individuos de especies de madera dura, utilizados en la industria de la construcción. A estos materiales se les denomina 'palizada' (Mendoza-Briseño et al., 2021) y son obtenidos, generalmente, en áreas de vegetación secundaria con 20 a 30 años de descanso. En los ejidos de la región, la palizada se clasifica de acuerdo con su DN que puede tener dimensiones de 5 a 20 cm. Otro material apreciado localmente son los 'xiles' que incluyen varas con DN entre 3 a 5 cm y que son utilizados para la construcción de cercos y techos.

Con el propósito de generar alternativas para el aprovechamiento sostenido de las selvas en la península de Yucatán, se consideró importante evaluar la oferta potencial de productos forestales maderables en la vegetación secundaria. El objetivo de este estudio fue evaluar la cantidad (número de individuos) y la calidad

Materials and Methods

Study area

The ejido Nuevo Becal is located in the municipality of Calakmul in Campeche, between the coordinates 18.6920 N, -89.2511 W and 21.0161 N, -89.8772 W (Briceño-Méndez et al., 2017). Average annual precipitation ranges from 1 100 to 1 200 mm, with an average temperature of 24.6°C, and the climate is warm subhumid with summer rains (Martínez & Galindo-Leal, 2002). This ejido is the largest in the municipality, covering 53 000 hectares, and was founded by Yucatec Mayans in the 1970s. It was later populated by migrants from various states of Mexico (Reyna-Hurtado, 2009).

About 50 % of the ejido's surface area is under forest management and the other 50 % is distributed among urban zones, agricultural and livestock use areas and secondary vegetation. The economy is based on the commercialization of cedar (*Cedrela odorata* L.) roundwood, mahogany (*Swietenia macrophylla* King), squared timber, charcoal, chicle tree (*Manilkara zapota* [L.] P. Royen.) latex extraction and, on a smaller scale, cedar and mahogany seeds, allspice (*Pimenta dioica* [L.] Merr.) and xate palm (*Chamaedorea* sp.). They also engage in subsistence agriculture and subsistence hunting (Briceño et al., 2017).

Vegetation sampling

The structural attributes of the tree vegetation (composition, density, diameter at breast height and total height of individuals) were evaluated in sampling units (SU) of 500 m² (20 x 25 m) in areas with secondary vegetation of 20 to 30-years fallow and in mature vegetation (>60 years fallow). The first condition (20 to 30 years) is found in 50 % of the ejidos dedicated to agricultural activities and the second (mature vegetation) is located in the portion destined for forest management, where it was verified that there was no sign of previous harvesting. This selection was supported by the land use and vegetation chart, series VI, of the Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2017). The area of interest of this chart was gridded and numbered to subsequently and randomly define the location of the 18 SU: nine in secondary vegetation and nine in mature vegetation. Each SU was divided into five rectangles (subunits) of 5 x 20 m (100 m²). The subunits in turn include a 5 x 5 m (25 m²) square and within these squares two 1 m² sub-squares were drawn (Figure 1).

In the SUs, all trees with DBH ≥ 10 cm were recorded. In the subunits (100 m²), individuals with DBH ≥ 3 cm and DBH < 10 cm were recorded, which correspond to the minimum harvestable diameters recognized by

de especies arbóreas útiles para xiles y palizada, tanto en la vegetación secundaria como en la madura en el ejido de Nuevo Becal, Calakmul, Campeche.

Materiales y métodos

Área de estudio

El ejido Nuevo Becal se ubica en el municipio de Calakmul en el estado de Campeche, entre las coordenadas 18.6920 N, -89.2511 O y 21.0161 N, -89.8772 O (Briceño-Méndez et al., 2017). La precipitación media anual es 1 100 a 1 200 mm con temperatura promedio 24.6 °C y clima cálido subhúmedo con lluvias en verano (Martínez & Galindo-Leal, 2002). Dicho ejido es el más grande del municipio con 53 000 ha y fue fundado por mayas peninsulares en la década de 1970; posteriormente, fue poblado por migrantes de diversos estados de México (Reyna-Hurtado, 2009).

Alrededor de 50 % de la superficie del ejido se encuentra bajo manejo forestal y el otro 50 % está distribuido en zona urbana, área de aprovechamiento agropecuario y vegetación secundaria. La economía se basa en la comercialización de madera en rollo de cedro (*Cedrela odorata* L.), caoba (*Swietenia macrophylla* King), madera en escuadría, carbón vegetal, extracción de látex del árbol del chicle (*Manilkara zapota* [L.] P. Royen.) y, en menor escala, comercializan semillas de cedro y caoba, pimienta gorda (*Pimenta dioica* [L.] Merr.) y palma xate (*Chamaedorea* sp.). También realizan agricultura para autoconsumo y cacería de subsistencia (Briceño et al., 2017).

Muestreos de vegetación

Los atributos estructurales de la vegetación arbórea (composición, densidad, diámetro normal y altura total de los individuos) se evaluaron en unidades de muestreo (UM) de 500 m² (20 x 25 m) en áreas con vegetación secundaria de 20 a 30 años de descanso y en vegetación madura (>60 años de descanso). La primera condición (20 a 30 años) se encuentra en 50 % de la superficie de los terrenos ejidales dedicados a las actividades de aprovechamiento agropecuario y la segunda (vegetación madura) se localiza en la porción destinada al manejo forestal, donde se constató que no se apreciara señal de aprovechamiento previo. Esta selección se apoyó en la carta de uso de suelo y vegetación, serie VI, del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2017). La superficie de interés de esta carta se cuadrículó y numeró para, posteriormente y de manera aleatoria, definir la ubicación de las 18 UM: nueve en vegetación secundaria y nueve en vegetación madura. Cada UM se dividió en cinco rectángulos (subunidades) de 5 x 20 m (100 m²). Las subunidades a su vez incluyen un cuadro de 5 x 5 m (25 m²) y en el interior de estos cuadros se trazaron dos subcuadros de 1 m² (Figura 1).

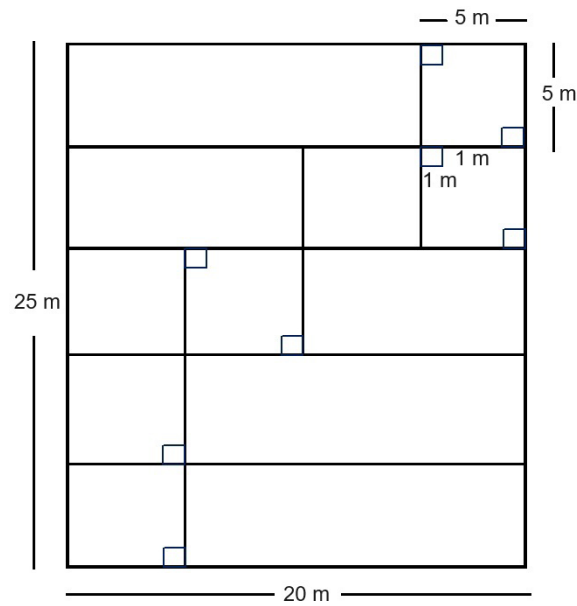


Figure 1. The design of the sampling units for the measurement of structural attributes of tree vegetation.

Figura 1. Diseño de las unidades de muestreo para la medición de atributos estructurales de la vegetación arbórea.

the producers. In the 25 m² squares only the density of individuals with DBH < 3 cm was counted and in the 1 m² sub squares, tree individuals with total height < 1.3 m (repopulated) were recorded. The DBH was used to calculate the basal area (ba, cm²) with the formula $ba = 0.7854 * DBH^2$; where 0.7854 = value of $\pi/4$. The basimetric area (BA, m²·ha⁻¹) is the sum of ba referred to 1 ha with the formula $BA = \sum(ba/s)$; where s is the area of the plot (m²).

Woody individuals were identified by a parataxonomist expert in the local flora; in addition, cross-references were made with floristic lists from other authors in the region. (Martínez & Galindo-Leal, 2002; Ochoa-Gaona et al., 2018). The nomenclature of the species was consulted and standardized based on the websites of the Missouri Botanical Garden (<https://www.tropicos.org/home>), New York Botanical Garden (www.theplantlist.org) y Royal Botanic Garden Edinburgh (<https://www.rbge.org.uk>).

Importance Value Index

The importance value index (IVI) of the species was calculated by the sum of frequency, density and relative BA for both conditions (secondary and mature) (Curtis, 1959). IVI was also calculated for each of the size classes using this same procedure.

Foresters survey

To identify the species used and the types of products obtained, a semi-structured survey was made to 26 local

En las UM se registraron todos los árboles con DN ≥ 10 cm. En las subunidades (100 m²) se registraron los individuos con DN ≥ 3 cm y DN < 10 cm que corresponden a los diámetros mínimos aprovechables reconocidos por los productores. En los cuadros de 25 m² solo se contabilizó la densidad de los individuos con DN < 3 cm y en los subcuadros de 1 m² se registraron los individuos arbóreos con altura total < 1.3 m (re poblado). El DN se utilizó para calcular el área basal (ba, cm²) con la fórmula $ba = 0.7854 * DN^2$; donde 0.7854 = valor de $\pi/4$. El área basimétrica (BA, m²·ha⁻¹) se obtuvo a partir de la suma de ba referida a 1 ha con la fórmula $BA = \sum(ba/s)$; donde s es el área de la parcela (m²).

Los individuos leñosos se identificaron por un parataxónomo experto en la flora local; además, se hicieron referencias cruzadas con listados florísticos de otros autores en la región (Martínez & Galindo-Leal, 2002; Ochoa-Gaona et al., 2018). La nomenclatura de las especies se consultó y estandarizó con base en los sitios web del Jardín Botánico de Missouri (<https://www.tropicos.org/home>), New York Botanical Garden (www.theplantlist.org) y Royal Botanic Garden Edinburgh (<https://www.rbge.org.uk>).

Índice de valor de importancia

El valor de importancia (IVI) de las especies se calculó mediante la suma de frecuencia, densidad y AB relativa para ambas condiciones (secundaria y madura) (Curtis, 1959). También se calculó el IVI para cada una de las clases de tamaño utilizando este mismo procedimiento.

foresters. From this, the local classification of product types based on DBH was obtained: xiles ($3 \text{ cm} \leq \text{DBH} < 5 \text{ cm}$), polewood-I ($5 \text{ cm} \leq \text{DBH} < 10 \text{ cm}$), polewood-II ($10 \text{ cm} \leq \text{DBH} < 20 \text{ cm}$), poles-beams ($\text{DBH} \geq 20 \text{ cm}$ in DBH) and firewood. The latter is obtained from poorly grown trees and from branches and trunks of trees harvested for other products.

Harvesting forest products

The forest products harvested were classified as xiles, polewood, poles, beams and firewood. Each of these were quantified exclusively in the secondary vegetation plots, where the materials were collected at ground level. The tips and branches were removed from these materials until the products had the correct dimensions. All the material that could not be included in the classified forest products was recovered as firewood. The forest products were only obtained in six of the nine SU, due to logistical problems and because the owners of the properties did not provide consent for harvesting.

Estimated forest products

Based on the information obtained from the vegetation sampling, the products (xiles, polewood, poles and beams) were classified according to size classes and species. The individuals were evaluated based on the attributes of composition (useful species), density, basal area and height.

Statistical Analysis

In order to compare the structural attributes of richness, density, DBH and timber volume between the two vegetation conditions (by size class and product types), and because in some cases the data were not homoscedastic according to Levene's and Bartlett's tests, a permutation procedure (9999) with Welch's two-sample t-test was employed using the 'MKinfer' package (Kohl, 2024) on the R platform (v. 4.3.1) (R Core Team, 2023). The probability of differences between means, noted in the tables, refers to the probability generated by the permutation.

Results

Floristic composition of woody vegetation

A total of 108 species grouped in 92 genera of 37 families were recorded. In secondary vegetation 100 species in 83 genera and 35 families were found and in mature vegetation 70 species, 64 genera and 31 families. Species richness in size classes (SC) I to III is higher in secondary vegetation than in mature vegetation. According to Table 1, SC III has the highest

Encuesta a silvicultores

Para identificar las especies utilizadas y los tipos de productos que se obtienen, se hizo una encuesta semiestructurada a 26 silvicultores locales. A partir de esta se obtuvo la clasificación local de los tipos de producto con base en el DN: xiles ($3 \text{ cm} \leq \text{DN} < 5 \text{ cm}$), palizada-I ($5 \text{ cm} \leq \text{DN} < 10 \text{ cm}$), palizada-II ($10 \text{ cm} \leq \text{DN} < 20 \text{ cm}$), postes-polines ($\text{DN} \geq 20 \text{ cm}$ en DN) y leña. Esta última se obtiene de árboles mal formados y de ramas y troncos de los árboles aprovechados para otros productos.

Cosecha de productos forestales

Los productos forestales cosechados se clasificaron en xiles, palizada, postes, polines y leña. Cada uno de estos se cuantificaron exclusivamente en las parcelas de vegetación secundaria, donde los materiales fueron cosechados a ras de suelo. A estos materiales se les eliminaron las puntas y ramas hasta dejar los productos con las dimensiones correctas. Todo el material que no se pudo incluir en los productos forestales clasificados, se recuperó como leña. Los productos forestales solo se obtuvieron en seis de las nueve UM, debido a problemas logísticos y a que los propietarios de los predios no proporcionaron el consentimiento para realizar la cosecha.

Productos forestales estimados

A partir de la información obtenida en los muestreos de vegetación, se procedió a la clasificación de los productos (xiles, palizada, postes y polines) tomando en cuenta las clases de tamaños y las especies. Los individuos se evaluaron con base en los atributos de composición (especies útiles), densidad, área basal y altura.

Análisis estadístico

Con el fin de comparar los atributos estructurales de riqueza, densidad, DN y volumen maderable entre las dos condiciones de vegetación (por clase de tamaño y tipos de productos), y debido a que en algunos casos los datos no eran homocedásticos acorde con las pruebas de Levene y de Bartlett, se empleó un procedimiento de permutaciones (9999) con la prueba T de Welch de dos muestras, utilizando el paquete 'MKinfer' (Kohl, 2024) en la plataforma R (v. 4.3.1) (R Core Team, 2023). La probabilidad de diferencias entre medias, anotada en los cuadros, se refiere a la probabilidad generada por la permutación.

Resultados

Composición florística de la vegetación leñosa

Se registraron 108 especies agrupadas en 92 géneros de 37 familias. En la vegetación secundaria se encontraron 100 especies en 83 géneros y 35 familias y en la

Table 1. Number of tree species, genera and families in four size classes of secondary (SV) and mature (MV) vegetation in Calakmul, Campeche.

Cuadro 1. Número de especies arbóreas, géneros y familias en cuatro clases de tamaño de vegetación secundaria (VS) y madura (VM) en Calakmul, Campeche.

SC/ CT	Species/Especies			Genera/Géneros		Families/Familias	
	SV/VS	MV/VM	P value/ Valor P	SV/VS	MV/VM	SV/VS	MV/VM
I	17.9 ± 5 a	11.6 ± 1 b	0.002	48	59	25	29
II	20.2 ± 4 a	13.3 ± 3 b	0.001	59	32	30	21
III	30.6 ± 6 a	17.0 ± 4 b	2E-04	72	47	31	23
IV	16.7 ± 5 a	14.3 ± 3 a	0.23	50	41	27	23
Total	100	70		81	66	33	31

The 'total' value considers species, genera or families that were not repeated in the size classes. Size class (SC) based on diameter at breast height (DBH): I) 1.3 in height, II) DBH < 3 cm, III) 3 cm ≤ DBH < 10 cm, IV) DBH ≥ 10 cm. Mean values (± standard deviation) with different letter indicate significant difference between SV and MV according to the probability generated with permutations of Welch's t-test.

El valor 'total' considera las especies, géneros o familias que no se repitieron en las clases de tamaño. Clase de tamaño (CT) con base en el diámetro normal (DN): I) 1.3 de altura, II) DN < 3 cm, III) 3 cm ≤ DN < 10 cm, IV) DN ≥ 10 cm. Valores medios (± desviación estándar) con letra distinta indican diferencia significativa entre VS y VM de acuerdo con la probabilidad generada con permutaciones de la prueba T de Welch.

number of species (30.6 ± 6); trees in this category have the appropriate dimensions for xiles and polewood.

In secondary vegetation, the families with the highest species richness were Fabaceae (13 species), Rubiaceae (7), Sapotaceae and Sapindaceae (6), Polygonaceae (5) and Euphorbiaceae (5); and in mature vegetation, they were Rubiaceae (7), Fabaceae (6), Sapotaceae (5), Meliaceae and Sapindaceae (4). We found 29 families and 60 tree species inhabiting both conditions. The families with the highest number of shared species were Fabaceae, Rubiaceae, Sapotaceae and Sapindaceae.

Density

Table 2 indicates that, for each of the four SC, the average density was significantly higher ($P < 0.05$) in secondary vegetation than in mature vegetation. In particular, for SC II and III, the values were three times higher than those recorded in mature vegetation. The density of individuals per hectare was higher in SC I and lower in SC IV.

Basimetric Area

Mature vegetation has greater BA than secondary vegetation; however, in two SC (II and III), the BA of secondary vegetation is greater than in mature vegetation ($P < 0.0001$; Table 3). In contrast, in SC IV, the BA accumulated by mature vegetation (89 % of the total) was higher than that recorded in areas with secondary vegetation ($P = 0.006$).

Importance Value Index (IVI)

According to Table 4, in secondary vegetation, 15 out of 100 species had IVI > 1 %, which together comprise

vegetación madura 70 especies, 64 géneros y 31 familias. La riqueza de especies en las clases de tamaño (CT) I a III es superior en la vegetación secundaria que en la vegetación madura. De acuerdo con el Cuadro 1, la CT III tiene el mayor número de especies (30.6 ± 6); los árboles en esta categoría cuentan con las dimensiones apropiadas para el aprovechamiento de xiles y palizada.

En la vegetación secundaria, las familias con mayor riqueza de especies fueron Fabaceae (13 especies), Rubiaceae (7), Sapotaceae y Sapindaceae (6), Polygonaceae (5) y Euphorbiaceae (5); y en la vegetación madura, fueron Rubiaceae (7), Fabaceae (6), Sapotaceae (5), Meliaceae y Sapindaceae (4). Se encontraron 29 familias y 60 especies arbóreas que habitan en ambas condiciones. Las familias con mayor cantidad de especies compartidas fueron Fabaceae, Rubiaceae, Sapotaceae y Sapindaceae.

Densidad

El Cuadro 2 indica que, para cada una de las cuatro CT, la densidad promedio fue significativamente mayor ($P < 0.05$) en la vegetación secundaria respecto a la vegetación madura. En particular, para las CT II y III, los valores triplican a los registrados en la vegetación madura. La densidad de individuos por hectárea fue más alta en CT I y más baja en CT IV.

Área basimétrica

La vegetación madura posee mayor AB que la vegetación secundaria; sin embargo, en dos CT (II y III), el AB de la vegetación secundaria es mayor que en la vegetación madura ($P < 0.0001$; Cuadro 3). En contraste, en la CT IV, el AB acumulada por la vegetación madura (89 % del total) fue superior a la registrada en las áreas con vegetación secundaria ($P = 0.006$).

Table 2. Density recorded according size class in secondary vegetation (SV) and mature vegetation (MV) in Calakmul, Campeche.
Cuadro 2. Densidad registrada por clase de tamaño en vegetación secundaria (VS) y madura (VM) en Calakmul, Campeche.

SC/ CT	Sampling area (m ²)/ Superficie de muestreo (m ²)	SV/VS	MV/VM	P value/Valor P	Density (individuals·ha ⁻¹)/ Densidad (individuos·ha ⁻¹)	
					SV/VS	MV/VM
I	10	158.22 ± 72.35 b	88.67 ± 29.93 a	0.018	158 220	88 670
II	125	106.66 ± 34.06 b	39.33 ± 16.10 a	0.0001	8 532	3 146
III	500	171.11 ± 43.80 b	58.66 ± 12.84 a	2.2E-16	3 422	1 173
IV	500	48.77 ± 8.12 b	35.77 ± 8.74 a	0.005	975	715
					171 149	93 704

Size class (SC) based on diameter at breast height (DBH): I) 1.3 in height, II) DBH < 3 cm, III) 3 cm ≤ DBH < 10 cm, IV) DBH ≥ 10 cm. Mean values (± standard deviation) with different letter indicate significant difference between SV and MV according to the probability generated with permutations of Welch's t-test.

Clase de tamaño (CT) con base en el diámetro normal (DN): I) 1.3 de altura, II) DN < 3 cm, III) 3 cm ≤ DN < 10 cm, IV) DN ≥ 10 cm. Valores medios (± desviación estándar) con letra distinta indican diferencia significativa entre VS y VM de acuerdo con la probabilidad generada con permutaciones de la prueba T de Welch.

Table 3. Basimetric area recorded according to size class in secondary vegetation (SV) and mature vegetation (VM) in Calakmul, Campeche.

Cuadro 3. Área basimétrica registrada por clase de tamaño en vegetación secundaria (VS) y madura (VM) en Calakmul, Campeche.

SC/ CT	Area/Superficie (m ²)	Basimetric area (m ² ·ha ⁻¹)/Área basimétrica (m ² ·ha ⁻¹)		P value/Valor P
		SV/VS	MV/VM	
I	10	0.0 ± 0.0 a	0.0 ± 0.0 a	0.0000
II	125	1.87 ± 0.5 b	0.67 ± 0.2 a	0.0001
III	500	8.80 ± 1.9 b	3.40 ± 0.6 a	2.2E-16
IV	500	21.96 ± 5.3 a	32.18 ± 8.6 b	0.0060
Total		32.7	36.2	

Size class (SC) based on diameter at breast height (DBH): I) 1.3 in height, II) DBH < 3 cm, III) 3 cm ≤ DBH < 10 cm, IV) DBH ≥ 10 cm. Mean values (± standard deviation) with different letter indicate significant difference between SV and MV according to the probability generated with permutations of Welch's t-test.

Clase de tamaño (CT) con base en el diámetro normal (DN): I) 1.3 de altura, II) DN < 3 cm, III) 3 cm ≤ DN < 10 cm, IV) DN ≥ 10 cm. Valores medios (± desviación estándar) con letra distinta indican diferencia significativa entre VS y VM de acuerdo con la probabilidad generada con permutaciones de la prueba T de Welch.

50 % of the total index. For mature vegetation, taking into account the above limit, 15 out of 70 species account for 67 % of the total IVI. Only six species were present in both conditions: *Eugenia ibarrae* Lundell, *Bursera simaruba* (L.) Sarg., *Myrciaria floribunda* (H. West ex Willd.) O. Berg, *Dendropanax arboreus* (L.) Decne. & Plancha, *Mosannonna depressa* (Baill.) Chatrou and *Pouteria campechiana* (Kunth) Baehni.

Valuable species

Table 5 indicates that the species most used for polewood, firewood and charcoal (mentioned by the interviewed producers) and which, in turn, are better represented (IVI > 1 %) in both types of vegetation, total 12. Of these, 11 are found in secondary vegetation and only six in mature vegetation; the presence of *Pouteria reticulata* (Englós) Eyma stands out with IVI = 11 %.

Índice de valor de importancia (IVI)

Acorde con el Cuadro 4, en la vegetación secundaria, 15 de 100 especies tuvieron IVI > 1 %, que en conjunto comprenden 50 % del total del índice. En la vegetación madura, tomando en cuenta el límite anterior, 15 de 70 especies representan 67 % del total del IVI. Solo seis especies se presentan en ambas condiciones: *Eugenia ibarrae* Lundell, *Bursera simaruba* (L.) Sarg., *Myrciaria floribunda* (H. West ex Willd.) O. Berg, *Dendropanax arboreus* (L.) Decne. & Plancha, *Mosannonna depressa* (Baill.) Chatrou y *Pouteria campechiana* (Kunth) Baehni.

Especies útiles

El Cuadro 5 indica que las especies más utilizadas para palizada, leña y carbón vegetal (mencionadas por los productores encuestados) y que, a su vez, están mejor

Table 4. Tree species with importance value index (IVI) >1 % in secondary vegetation (SV) and mature vegetation (VM) in Calakmul, Campeche.

Cuadro 4. Especies arbóreas con valor de importancia (IVI) >1 % en vegetación secundaria (VS) y vegetación madura (VM) en Calakmul, Campeche.

Species / Especies	IVI SV (%)	IVI MV (%)
<i>Eugenia ibarrae</i> Lundell	7	2
<i>Bursera simaruba</i> (L.) Sarg.	5	5
<i>Lonchocarpus xuul</i> Lundell	4	-
<i>Lysiloma latisiliquum</i> (L.) Benth.	4	-
<i>Piscidia piscipula</i> (L.) Sarg.	4	-
<i>Myrciaria floribunda</i> (H. West ex Willd.)	4	6
<i>Coccoloba cozumelensis</i> Hemsl.	3	-
<i>Croton arboreus</i> Millsp.	3	-
<i>Nectandra salicifolia</i> (Kunth) Nees	3	-
<i>Dendropanax arboreus</i> (L.) Decne. & Planch.	3	6
<i>Caesalpinia yucatanensis</i> (Britton & Rose) Greenm.	2	-
<i>Coccoloba spicata</i> Lundell	2	-
<i>Thouinia paucidentata</i> Radlk.	2	-
<i>Mosannonna depressa</i> (Baill.) Chatrou	2	3
<i>Pouteria campechiana</i> (Kunth) Baehni	2	3
<i>Pouteria reticulata</i> (Englés) Eyma	-	11
<i>Brosimum alicastrum</i> Sw.	-	7
<i>Cryosophila argentea</i> Bartlett	-	5
<i>Drypetes lateriflora</i> (Sw.) Krug & Urb.	-	4
<i>Manilkara zapota</i> (L.) P. Royen	-	4
<i>Pseudolmedia spuria</i> (Sw.) Griseb.	-	4
<i>Trichilia minutiflora</i> Standl.	-	3
<i>Protium copal</i> (Schltdl. & Cham.) Engl.	-	2
<i>Talisia floresii</i> Standl.	-	2
Sum IVI species	50	67

Estimated and actual existence of forest products

According to Table 6, the stock of polewood was estimated at 4479 pieces·ha⁻¹ for secondary vegetation and 1927 pieces·ha⁻¹ for mature vegetation. The density of useful pieces for xiles, polewood I and II was higher in secondary vegetation; however, for poles and beams (DBH ≥ 20 cm), the highest number of pieces was recorded in mature vegetation, exceeding secondary vegetation by more than double. Total volumetric stocks of forest products were higher in mature vegetation, but that of small dimension products such as xiles and polewood (I and II) were higher in secondary vegetation.

According to Table 7, when comparing the estimated products (materials) with those that were evaluated in

representadas (IVI > 1 %) en ambos tipos de vegetación, suman un total de 12. De estas, 11 se encuentran en la vegetación secundaria y solo seis en la vegetación madura; la presencia de *Pouteria reticulata* (Englés) Eyma destaca con IVI = 11 %.

Estimación y existencia real de productos forestales

Acorde con el Cuadro 6, la existencia de palizada se estimó en 4479 piezas·ha⁻¹ para vegetación secundaria y 1927 piezas·ha⁻¹ para vegetación madura. La densidad de piezas útiles para xiles, palizada I y II fue mayor en la vegetación secundaria; sin embargo, para postes y polines (DN ≥ 20 cm), la mayor cantidad de piezas se registró en la vegetación madura, superando a la vegetación secundaria por más del doble. Las existencias volumétricas totales de los productos forestales fueron

Table 5. Importance value index (IVI) of the species preferred by farmers for use in xiles, polewood, firewood and charcoal in secondary vegetation (SV) and mature vegetation (MV) in Calakmul, Campeche.**Cuadro 5. Valor de importancia (IVI) de las especies preferidas por los campesinos para el uso en xiles, palizada, leña y carbón vegetal en vegetación secundaria (VS) y vegetación madura (VM) en Calakmul, Campeche.**

Species / Especies	IVI SV (%)	IVI MV (%)
<i>Eugenia ibarrae</i> Lundell	7.0	2.0
<i>Lonchocarpus xuul</i> Lundell	4.0	0.3
<i>Piscidia piscipula</i> (L.) Sarg.	4.0	0.2
<i>Lysiloma latisiliquum</i> (L.) Benth.	4.0	0.0
<i>Nectandra salicifolia</i> (Kunth) Nees	3.0	2.0
<i>Croton arboreus</i> Millsp.	3.0	0.3
<i>Pouteria reticulata</i> (Englós) Eyma	2.0	11.0
<i>Pouteria campechiana</i> (Kunth) Baehni	2.0	3.0
<i>Mosammona depressa</i> (Baill.) Chatrou	2.0	3.0
<i>Metopium brownei</i> (Jacq.) Urb.	2.0	0.4
<i>Lonchocarpus castilloi</i> Standl.	2.0	0.3
<i>Caesalpinia mollis</i> (Kunth) Spreng.	0.1	1.0
Sum IVI species	35.1	23.5

Table 6. Density and timber volume of xiles, polewood and poles in secondary vegetation (SV) and mature vegetation (MV) in Calakmul, Campeche.**Cuadro 6. Densidad y volumen maderable de xiles, palizada y postes en vegetación secundaria (VS) y madura (VM) en Calakmul, Campeche.**

Product / Producto	DBH (cm) / DN (cm)	Density (pieces·ha ⁻¹) / Densidad (piezas·ha ⁻¹)			Volume (m ³ ·ha ⁻¹) / Volumen (m ³ ·ha ⁻¹)		
		SV / VS	MV / VM	P value / Valor P	SV / VS	MV / VM	P value / Valor P
Xiles	3 ≤ DBH < 5	1762 ± 613.4 b	493 ± 160.0 a	0.0001	8 ± 2.9 b	2 ± 0.8 a	2.2E-16
Polewood I / Palizada I	5 ≤ DBH < 10	1727 ± 375.3 b	715 ± 169.3 a	2.2E-16	33 ± 5.7 b	14 ± 2.4 a	2.2E-16
Polewood II / Palizada II	10 ≤ DBH < 20	833 ± 178 b	384 ± 145.0 a	0.0001	92 ± 19.8 b	48 ± 16.7 a	0.0003
Poles - beams / Postes - polines	DBH ≥ 20	157 ± 87.4 a	335 ± 104.7 b	0.0004	86 ± 55.7 a	286 ± 104.9 b	2.2E-16
Total		4479	1927		219	350	

DBH = 1.3 m Diameter at breast height. Mean values (± standard deviation) with different letters indicate significant difference between SV and MV according to the probability generated with permutations of Welch's t-test.

DN = Diámetro del árbol a la altura de 1.3 m. Valores medios (± desviación estándar) con letra distinta indican diferencia significativa entre VS y VM de acuerdo con la probabilidad generada con permutaciones de la prueba T de Welch.

the plots with secondary vegetation, only 32.9 % were harvested. The quantity harvested of xiles (48 %) and poles (52.3 %) was higher than the materials recovered from polewood I (20.4 %) and polewood II (16.8 %). Except for poles, the amount harvested of the other products was lower than estimated.

The volume harvested for xiles (23.7 %) and polewood I (13.4 %) was low, while for the larger products (polewood II and poles) it was even lower (6 %). Taking these products together, the volume harvested reached

mayores en la vegetación madura, pero la de productos de dimensiones pequeñas como xiles y palizada (I y II) fueron más altos en la vegetación secundaria.

De acuerdo con el Cuadro 7, al comparar los productos (materiales) estimados con aquellos que fueron evaluados en las parcelas con vegetación secundaria, se aprecia que solo se cosechó 32.9 %. La cantidad cosechada de xiles (48 %) y postes (52.3 %) fue superior a los materiales recuperados de palizada I (20.4 %) y palizada II (16.8 %). Con excepción de los postes, la

only 7.44 %; however, if the firewood recovered from tips and branches is included, the volume reaches 81.7 % (Table 7).

Forest product sales

According to Table 8, the sale of forest products from one hectare with secondary vegetation (20 to 30 years) could generate 251 530 MXN. Of this amount, 24.10 % (60 630 MXN) would come from materials

cantidad cosechada de los demás productos fue menor que la estimada.

El volumen cosechado para xiles (23.7 %) y palizada I (13.4 %) fue bajo, mientras que para los productos de mayor tamaño (palizada II y postes) fue aún más bajo (6 %). Tomando en cuenta estos productos en conjunto, el volumen cosechado alcanzó solo 7.44 %; sin embargo, si se toma en cuenta la leña recuperada de las puntas y ramas, el volumen alcanza 81.7 % (Cuadro 7).

Table 7. Estimated and harvested forest products in the secondary vegetation of Calakmul, Campeche.

Cuadro 7. Productos forestales estimados y cosechados en la vegetación secundaria de Calakmul, Campeche.

Product/ Producto	Diameter at breast height (cm)/ Diámetro normal (cm)	Density (pieces·ha ⁻¹)/Densidad (piezas·ha ⁻¹)			Volume (m ³ ·ha ⁻¹)/Volumen (m ³ ·ha ⁻¹)		
		Estimated/ Estimada	Harvested/ Cosechada	P value/ Valor P	Estimated/ Estimada	Harvested/ Cosechada	P value/ Valor P
Firewood/ Leña						190.92	
Xiles	3 ≤ DBH < 5	1696 ± 681.3 b	810 ± 662.6 a	0.05	8.14 ± 3.5 b	1.93 ± 1.4 a	0.0031
Polewood I/ Palizada I	5 ≤ DBH < 10	1620 ± 343.6 b	363 ± 273.0 a	2.2E-16	33.57 ± 8.5 b	4.5 ± 4.0 a	0.0025
Polewood II/ Palizada II	10 ≤ DBH < 20	800 ± 125.0 b	140 ± 103.0 a	2.2E-16	94.35 ± 17.9 b	5.72 ± 4.23 a	0.0013
Poles/ Postes - polines	DBH ≥ 20	210 ± 48.5 a	110 ± 93.0 a	0.069	121 ± 22.7 b	6.98 ± 4.8 a	0.0018
Total		4326	1423		257.06	19.13	
Recovered % */ % Recuperado*			32.9 %			7.44 %	

*Materials harvested compared to those estimated. Mean values (± standard deviation) with different letter indicate significant difference between estimated and harvested materials according to the probability generated with permutations of Welch's t-test.

*Materiales cosechados respecto a los estimados. Valores medios (± desviación estándar) con letra distinta indican diferencia significativa entre materiales estimados y cosechados de acuerdo con la probabilidad generada con permutaciones de la prueba T de Welch.

Table 8. Quantification and economic value (2022) of forest products harvested per hectare in secondary vegetation with 30-years fallow in Calakmul, Campeche. The price refers to the value of the products for the end user.

Cuadro 8. Cuantificación y valor económico (2022) de los productos forestales cosechados por hectárea en vegetación secundaria con 30 años de descanso en Calakmul, Campeche. El precio se refiere al valor de los productos para el usuario final.

Product/ Producto	Unit/ Unidad	Unit price (MXN)/ Precio unitario (MXN)	Total (MXN)
Firewood/Leña	190.9 m ³	1000	190900
Xiles	810 pieces/810 piezas	8	6480
Polewood I/Palizada I	363 pieces/363 piezas	50	18150
Polewood II/Palizada II	140 pieces/140 piezas	100	14000
Poles - beams/Postes - polines	110 pieces/110 piezas	200	22000
Total			251530

used in construction (xiles, polewood and poles) and the remaining 75.90 % from the sale of firewood and charcoal inputs.

Use and exploitation of secondary woody vegetation

According to the survey conducted with local producers, secondary vegetation has the capacity to provide polewood, firewood, and charcoal with the potential for commercialization; 20 % mentioned that beams, poles, and guano (palm leaves) are also obtained during this successional stage.

The 26 respondents agreed that after 20-years fallow, secondary vegetation has trees of sufficient size to obtain xiles, polewood, poles and beams, as well as firewood and charcoal; 10 % of the respondents mentioned that after 10-years fallow it is possible to obtain these products, which can also be transformed into charcoal. In smaller quantities, there are species that reach diameters that can be used to obtain poles or beams (Table 9).

Discussion

The botanical families recognized in this study are common and representative of tropical ecosystems in Mexico (Pennington & Sarukhán, 2005) and coincide with research conducted in the evergreen tropical forest of the Yucatán Peninsula (Martínez & Galindo-Leal, 2002; Rodríguez-Sánchez et al., 2019; Tadeo Noble et al., 2019), as well as in the states of Tabasco (García Licona et al., 2014) and Chiapas (Levy Tacher et al., 2017; Martínez Ramos et al., 2017; Sánchez Gutiérrez et al., 2017).

Venta de productos forestales

Acorde con el Cuadro 8, la venta de los productos forestales de una hectárea con vegetación secundaria (20 a 30 años) podría alcanzar los 251530 MXN. De este monto, 24.10 % (60630 MXN) se obtendría de los materiales utilizados para construcción (xiles, palizada y postes) y 75.90 % restante de la venta de leña e insumos para carbón.

Uso y aprovechamiento de la vegetación secundaria leñosa

De acuerdo con la encuesta aplicada a los productores locales, la vegetación secundaria tiene la capacidad de ofrecer palizada, leña y carbón vegetal con posibilidad de comercializarse; 20 % mencionó que también se obtienen vigas, postes y guano (hojas de palma) en esta fase sucesional.

Los 26 encuestados coinciden en que, a partir de los 20 años de descanso, la vegetación secundaria tiene árboles con dimensiones suficientes para la obtención de xiles, palizada, postes y vigas, además de leña y carbón; 10 % de los encuestados mencionan que a los 10 años de descanso es posible obtener esos productos, los cuales también se pueden transformar en carbón vegetal. En menor cantidad existen especies que alcanzan diámetros con los que se pueden obtener postes o vigas (Cuadro 9).

Discusión

Las familias botánicas reconocidas en este estudio son comunes y representativas de los ecosistemas tropicales en México (Pennington & Sarukhán, 2005) y coinciden

Table 9. Perspective of local producers in relation to forest products generated in secondary vegetation in Calakmul, Campeche. The price refers to the value of the products for the end user.

Cuadro 9. Perspectiva de los productores locales en relación con los productos forestales generados en la vegetación secundaria en Calakmul, Campeche. El precio se refiere al valor de los productos para el usuario final.

Product/ Producto	Unit/ Unidad	Estimated unit price (MXN)/ Precio unitario estimado (MXN)	Abundance perspective/ Perspectiva de abundancia	Level of commercialization/ Nivel de comercialización
Firewood/Leña	kg	2	Abundant/Abundante	Local
Charcoal/Carbón	kg	3	Abundant/Abundante	Regional
Polewood I/Palizada I	Piece/Pieza	50	Abundant/Abundante	National/Nacional
Polewood II/Palizada II	Piece/Pieza	100	Abundant/Abundante	National/Nacional
Beam/Viga	Piece/Pieza	400	Scarce/Escasa	National/Nacional
Poles/Poste	Piece/Pieza	200	Regular	Local

Respondents agreed that the high cost of developing forest management programs and the technical and regulatory restrictions for harvesting secondary vegetation are the main factors limiting the commercialization of their forest products.

Los encuestados coincidieron en el costo elevado que implica la elaboración de los programas de manejo forestal y las restricciones técnicas normativas para el aprovechamiento de la vegetación secundaria, los cuales son los principales factores que restringen la comercialización de sus productos forestales.

Secondary vegetation included 54 % of the total species recorded in the Calakmul region; in contrast, mature vegetation only comprised 38 % of the regional floristic richness (Martínez & Galindo-Leal, 2002). In terms of diversity, the described pattern of species richness remains consistent: secondary vegetation is 60 % more diverse than mature vegetation. The greater richness and diversity of forest species in secondary vegetation compared to mature vegetation has been documented in several studies (Cortes-Sosa et al., 2021; Rodríguez-Sánchez et al., 2019; Román et al., 2014; Vleut et al., 2013), where it is argued that the advanced stages of succession contain fewer species compared to areas with younger vegetation. This is because in mature vegetation only some persistent and late species are maintained, compared to intermediate stages of plant succession that have the presence of pioneer, intermediate and some late species.

The composition of useful species for obtaining forest materials such as xiles, polewood, poles and beams is a determining attribute for the choice and use by farmers in the region. Thus, the low number of common species between both types of vegetation stands out: the mature vegetation only shares 29 species with the secondary vegetation, totaling 98 species (30 %). Of the 108 species documented in the vegetation samples, only six species with IVI > 1 % are shared in both conditions (secondary and mature vegetation). The species preferred by farmers for xiles and polewood reach high values of importance (> 1 %) in the secondary vegetation compared to mature condition. This difference is evident when comparing SC III and IV, where most of the species useful for xiles and polewood correspond to secondary vegetation.

According to the surveys, 12 species useful for xiles and polewood are also used to produce charcoal or, in some cases, for poles *L. castilloi* Standl., *L. xuul* Lundell, *Caesalpinia mollis* [Kunth] Spreng) and sawn wood (*P. piscipula* [L.] Sarg. and *L. latisiliquum* [L.] Benth.).

In vegetation sampling, the high representativeness of the species *L. castilloi*, *P. piscipula*, and *L. latisiliquum* in mature vegetation stands out, as they are highly valued for polewood, firewood, construction poles, furniture making, and the production of high-quality charcoal (Moreno-Casasola & Paradowska, 2009; Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2018).

According to several studies (Hartter et al., 2008; Lebrija-Trejos et al., 2010; Román et al., 2014; Urquiza-Haas et al., 2007), in post-agricultural tropical forests, basimetric area increases over time since abandonment, while the density of stems with a diameter (at breast height) greater than 1 or 2 cm decreases with fallow age. In the present study, tree

con las investigaciones realizadas en la selva mediana subperennifolia de la península de Yucatán (Martínez & Galindo-Leal, 2002; Rodríguez-Sánchez et al., 2019; Tadeo Noble et al., 2019), así como en los estados de Tabasco (García Licon et al., 2014) y Chiapas (Levy Tacher et al., 2017; Martínez Ramos et al., 2017; Sánchez Gutiérrez et al., 2017).

La vegetación secundaria incluyó 54 % del total de especies registradas en la región de Calakmul; en contraste, la vegetación madura solo abarcó 38 % de la riqueza florística regional (Martínez & Galindo-Leal, 2002). En términos de diversidad, el patrón descrito de la riqueza de especies sigue siendo consistente: la vegetación secundaria es 60 % más diversa que la vegetación madura. La mayor riqueza y diversidad de especies forestales de la vegetación secundaria respecto a la vegetación madura ha sido documentada en varios estudios (Cortes-Sosa et al., 2021; Rodríguez-Sánchez et al., 2019; Román et al., 2014; Vleut et al., 2013), donde se argumenta que los estadios avanzados de la sucesión contienen menos especies respecto a las áreas con vegetación más joven. Lo anterior responde a que en la vegetación madura se mantienen solo algunas especies persistentes y tardías, en comparación con estadios intermedios de la sucesión vegetal que cuentan con la presencia de especies pioneras, intermedias y algunas tardías.

La composición de las especies útiles para la obtención de materiales forestales como los xiles, palizada, polines y postes es un atributo determinante para la elección y aprovechamiento por parte de los campesinos de la región. Así, destaca la poca cantidad de especies comunes entre ambos tipos de vegetación: la vegetación madura solo comparte 29 especies con la vegetación secundaria que en total suman 98 especies (30 %). De las 108 especies documentadas en los muestreos de vegetación, solo seis especies con IVI > 1 % se comparten en ambas condiciones (vegetación secundaria y madura). Las especies que los campesinos prefieren para xiles y palizada alcanzan valores altos de importancia (>1 %) en la vegetación secundaria respecto a la condición madura. Esta diferencia es evidente al comparar las CT III y IV, donde la mayoría de las especies útiles para xiles y palizada corresponden a la vegetación secundaria.

De acuerdo con las encuestas, 12 especies útiles para xiles y palizada también son usadas para la elaboración de carbón vegetal o, en su caso, para postes (*L. castilloi* Standl., *L. xuul* Lundell, *Caesalpinia mollis* [Kunth] Spreng) y madera aserrada (*P. piscipula* [L.] Sarg. y *L. latisiliquum* [L.] Benth.).

En los muestreos de vegetación llama la atención la representatividad alta de las especies *L. castilloi*, *P. piscipula* y *L. latisiliquum* en la vegetación madura, las cuales son muy apreciadas para palizada, leña, polines para la

density in secondary vegetation is double that reported for mature vegetation, which can partly be explained by self-thinning that occurs during the succession stage. It is important to note that the dimensions of the trees in mature vegetation allow obtaining mainly sawn timber (Tadeo Noble et al., 2019), while secondary vegetation is better suited for the commercial use of xiles and polewood.

In sampling for secondary and mature vegetation, the BA was similar to that reported by Urquiza-Haas et al. (2007), Hartter et al. (2008), Román et al. (2014), Dzib Castillo et al. (2014) and Zamora Crecencio et al. (2018) with values between 17 and 38 m²·ha⁻¹ and an average value of 28 m²·ha⁻¹ for vegetation 30 to 50-years fallow. Further analysis shows that the BA of classes II and III in secondary vegetation was three times higher than in mature vegetation. Forest products of economic interest (xiles and polewood) correspond to these classes and their quantity and quality is higher in secondary vegetation.

In Nuevo Becal and other forest ejidos that have forest management programs, commercial harvesting of polewood is carried out on mature vegetation (Báez Vargas et al., 2017). However, ejidos and communities that do not have these management plans benefit economically from the commercialization of polewood from secondary vegetation, which is an important signal to generate forest management strategies that allow the optimization of these harvests (Mendoza Fuente et al., 2020). It is evident that the extraction of firewood, xiles, polewood and poles is profitable considering the evaluation of the present study for a 20 to 30-year fallow (251 530 MXN·ha⁻¹); however, the amount could be higher if forest management aimed at generating higher quality products (more profitable, e.g. larger dimensions of the most appreciated species) in a shorter time was applied.

In 2018, forest harvesting in the forests of the state of Campeche generated an income of 8.4 million USD, distributed in the sale of poles, piles and beams (SEMARNAT, 2018). According to the data collected in the present study, timber forest products obtained from secondary vegetation could generate income of up to 13973 USD·ha⁻¹. In this sense, the management of secondary vegetation in its initial stages (<5 years) could be a convenient strategy considering the predominance of woody species regrowth and the information regarding species preference for various uses. All of the above would be possible from selective thinning and training pruning, without detriment to biodiversity levels (Báez Vargas et al., 2017). Additionally, due to the increasing demand for polewood, the exploitation of secondary vegetation for this purpose is highly recommended (Mendoza-Briseño et al., 2021).

construcción, elaboración de muebles y producción de carbón vegetal de buena calidad (Moreno-Casasola & Paradowska, 2009; Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2018).

De acuerdo con varios estudios (Hartter et al., 2008; Lebrija-Trejos et al., 2010; Román et al., 2014; Urquiza-Haas et al., 2007), en los bosques tropicales postagrícolas, el área basimétrica aumenta con el tiempo desde el abandono, mientras que la densidad de tallos con diámetro (altura del pecho) mayor de 1 o 2 cm disminuye con la edad del barbecho. En el presente estudio, la densidad arbórea en vegetación secundaria duplica la reportada para la vegetación madura, lo que en parte puede ser explicado por el autoclareo que tiene lugar en el proceso de sucesión. Es importante señalar que las dimensiones de los árboles en la vegetación madura permiten la obtención de madera aserrada principalmente (Tadeo Noble et al., 2019), mientras que la vegetación secundaria tiene mejor uso para el aprovechamiento comercial de xiles y palizada.

En los muestreos para vegetación secundaria y madura, el AB fue similar al señalado por Urquiza-Haas et al. (2007), Hartter et al. (2008), Román et al. (2014), Dzib Castillo et al. (2014) y Zamora Crecencio et al. (2018) con valores entre 17 y 38 m²·ha⁻¹ y un valor promedio de 28 m²·ha⁻¹ para vegetación de 30 a 50 años de descanso. Un análisis más minucioso muestra que el AB de las clases II y III en la vegetación secundaria fue tres veces mayor que en la vegetación madura. Los productos forestales de interés económico (xiles y palizada) corresponden a estas clases y su cantidad y calidad es superior en la vegetación secundaria.

En Nuevo Becal y otros ejidos forestales que cuentan con programas de manejo forestal, la cosecha comercial de palizada se lleva a cabo en la vegetación madura (Báez Vargas et al., 2017). No obstante, los ejidos y comunidades que no cuentan con estos planes de manejo se benefician económicamente por la comercialización de palizada a partir de la vegetación secundaria, lo cual es una señal importante para generar estrategias de manejo forestal que permitan la optimización de estos aprovechamientos (Mendoza Fuente et al., 2020). Es evidente que la extracción de leña, xiles, palizada y postes es rentable tomando en cuenta la evaluación del presente estudio para un barbecho de 20 a 30 años (251 530 MXN·ha⁻¹); sin embargo, el monto podría ser más alto si se aplicara un manejo forestal dirigido a la generación de productos de mayor calidad (más redituables, v.g. dimensiones mayores de las especies más apreciadas) en menor tiempo.

En el 2018, el aprovechamiento forestal de las selvas del estado de Campeche generó un ingreso de 8.4 millones USD, distribuidos en la venta de polines, pilotes y morillos (SEMARNAT, 2018). De acuerdo

Conclusions

Products useful for exploitation, such as xiles and polewood, are present in greater quantity and quality in secondary vegetation compared to mature vegetation. The forest use of secondary vegetation is a viable option for the economic development of foresters in Campeche and the Yucatán Peninsula, based on sustainable practices. The demand for forest materials for the construction of tourist and residential infrastructure opens up a new possibility to meet the requirements for xiles and polewood from secondary vegetation. This increases the utility of secondary vegetation and creates an opportunity for sustainable commercial exploitation. However, it is necessary to recognize the lack of secondary vegetation management strategies focused on the production of a greater quantity and quality of forest products (xiles and polewood). The effect of sustainable harvesting of secondary vegetation could reduce pressure on Calakmul's forests and thus contribute to regional conservation strategies.

Acknowledgments

The authors would like to thank the Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología for the scholarship granted to the first author to pursue doctoral studies. To the Asociación Regional de Silvicultores de Calakmul. To José Zúñiga Morales, head chief of the Calakmul Biosphere Reserve, for the facilities provided to carry out this research. To the Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), the U.S. Fish and Wildlife Service (Grant # F20AP00197), Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza (Clave A2001032) and Etnobiología para la Conservación A. C.

End of English version

References / Referencias

- Báez Vargas, A. M., Esparza Olguín, L. G., Martínez Romero, E., Ochoa Gaona, S., Ramírez Marcial, N., & González Valdivia, N. A. (2017). Efecto del manejo sobre la diversidad de árboles en vegetación secundaria en la reserva de la biosfera de Calakmul, Campeche, México. *Revista de Biología Tropical*, 65(1), 41–53. <https://doi.org/10.15517/rbt.v65i1.20806>
- Briceno Méndez, M., Naranjo Piñera, E., Pérez Irineo, G., Sandoval Serés, E., Contreras Perera, Y., & Hidalgo Mihart, M. (2017). Richness and trophic guilds of carnivorous mammals in ejido Nuevo Becal, Calakmul, Campeche, México. *Therya*, 8(2), 145–150. <https://doi.org/10.12933/therya-17-472>
- Chao, A., Ma, K. H., & Hsieh, T. C. (2016). *User's guide for iNEXT online: Software for interpolation and extrapolation of species diversity*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.25777.79200>
- Chazdon, R. L. (2014). *Second growth: The promise of tropical forest regeneration in an age of deforestation*. The University of Chicago

con los datos recabados en el presente estudio, los productos forestales maderables obtenidos de la vegetación secundaria podrían generar ingresos de hasta 13973 USD·ha⁻¹. En este sentido, el manejo de la vegetación secundaria en sus estadios iniciales (<5 años) podría ser una estrategia conveniente tomando en cuenta la predominancia del rebrote de las especies leñosas y la información respecto a la preferencia de especies para diversos usos. Todo lo anterior sería posible a partir de aclareos selectivos y podas de formación, sin detrimento de los niveles de biodiversidad (Báez Vargas et al., 2017). Además, debido a la demanda creciente de la palizada, el aprovechamiento de la vegetación secundaria para este fin es plenamente recomendable (Mendoza-Briseño et al., 2021).

Conclusiones

Los productos útiles para aprovechamiento como xiles y palizada están presentes en mayor cantidad y calidad en la vegetación secundaria que en la madura. El aprovechamiento forestal de la vegetación secundaria es una opción para el desarrollo económico de los silvicultores de Campeche y la península de Yucatán, con base en prácticas de carácter sustentable. La demanda de materiales forestales para la construcción de infraestructura turística y de vivienda abre la posibilidad inédita de abastecer los requerimientos de xiles y palizada a partir de vegetación secundaria, lo cual aumenta la utilidad de esta y se genera la oportunidad del aprovechamiento comercial sustentable. No obstante, es necesario reconocer la carencia de estrategias de manejo de vegetación secundaria enfocadas hacia la producción de una mayor cantidad y calidad de productos forestales (xiles y palizada). El efecto del aprovechamiento sustentable de la vegetación secundaria podría disminuir la presión sobre las selvas de Calakmul y con esto sumarse a las estrategias de conservación regionales.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca otorgada para realizar los estudios de doctorado del primer autor. A la Asociación Regional de Silvicultores de Calakmul. A José Zúñiga Morales, director de la Reserva de la Biosfera de Calakmul, por las facilidades para el desarrollo de esta investigación. Al Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), a la U.S. Fish and Wildlife Service (Grant # F20AP00197), al Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza (clave A2001032) y a Etnobiología para la Conservación A. C.

Fin de la versión en español

- Press. <https://press.uchicago.edu/ucp/books/book/chicago/S/bo17407876.html>
- Clarke, P. J., Lawes, M. J., Midgley, J. J., Lamont, B. B., Ojeda, F., Burrows, G. E., Enright, N. J., & Knox, K. J. E. (2013). Resprouting as a key functional trait: How buds, protection and resources drive persistence after fire. *New Phytologist*, 197(1), 19–35. <http://doi.org/10.1111/nph.12001>
- Cortes-Sosa, D. M., Levy-Tacher, S. I., Ramírez-Marcial, Navarrete Gutierrez, D. A., & Rodríguez-Sánchez, P. V. (2021). Diversidad y estructura de franjas de árboles en una matriz agrícola (tolchés) en relación con la intensidad de uso forestal en Yaxcabá, Yucatán. *Botanical Sciences*, 99(3), 1–45. <https://doi.org/10.17129/botsci.2717>
- Curtis, J. (1959). *The vegetation of Wisconsin. An ordination of plant communities*. University of Wisconsin Press.
- Dzib Castillo, B., Chanatásig Vaca, C., & González Valdivia, N. A. (2014). Estructura y composición en dos comunidades arbóreas de la selva baja caducifolia y mediana subcaducifolia en Campeche, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85(1), 167–178. <https://doi.org/10.7550/rmb.38706>
- Ellis, E. A., Hernández-Gómez, I. U., & Romero-Montero, J. A. (2017). Los procesos y causas del cambio en la cobertura forestal de la Península Yucatán, México. *Ecosistemas*, 26(1), 101–111. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2017.26-1.16>
- García Licona, J. B., Esparza Olguín, L. G., & 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. *Polibotanica*, 38, 1–26. <https://doi.org/1405-2768>
- Hartter, J., Lucas, C., Gaughan, A. E., & Aranda, L. L. (2008). Detecting tropical dry forest succession in a shifting cultivation mosaic of the Yucatan Peninsula, Mexico. *Applied Geography*, 28, 134–149. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2007.07.013>
- Haas-Ek, M. A., González-Valdivia, N. A., Hendricus, B., De Jong, B. H. J., Ochoa-Gaona, S., & Aryal, D. R. (2019). Rebrote arbóreo en la regeneración del bosque tropical de Calakmul, Campeche, México. *Revista de Biología Tropical*, 67(1), 164–181. <http://doi.org/10.15517/rbt.v67i1.33092>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2017). *Carta del uso de suelo y vegetación Serie VI*. https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2017/especiales/especiales2017_12_01.pdf
- Jiménez Osornio, J., Durán García, R., Dupuy Rada, J. M., & González Iturbe, J. A. (2010). Uso del suelo y vegetación secundaria. In R. Durán & M. Méndez (Eds.), *Biodiversidad y desarrollo humano en Yucatán* (pp. 460–464). México: CICY, PPD-FMAM, CONABIO, SEDUMA. <https://www.cicy.mx/Documentos/CICY/Sitios/Biodiversidad/pdfs/Cap9/04%20Vegetacion%20secundaria.pdf>
- Kohl, M. (2024). *MKinfer: inferential Statistics. R package version 1.2*. <http://github.com/stamats/MKinfer>.
- Lebrija-Trejos, E., Pérez-García, E. A., Meave, J. A., Bongers, F., & Poorter, L. (2010). Functional traits and environmental filtering drive community assembly in a species-rich tropical landscape. *Ecology*, 91, 386–398. <https://doi.org/10.1890/08-1449.1>
- Levy Tacher, S. I., Aguirre Rivera, R., & Pignataro, G. (2017). Restauración de selvas y rehabilitación de vegetación secundaria en el sur de México, con base en el conocimiento tradicional. In B. Baptiste, D. Pacheco, M. Carneiro da Cunha, & S. Diaz (Eds.), *Knowing our lands and resources: Indigenous and local knowledge of biodiversity and ecosystem services in the Americas* (pp. 8–19). UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000368171>
- Martínez, E., & Galindo-Leal, C. (2002). La vegetación de Calakmul, Campeche, México: clasificación, descripción y distribución. *Botanical Sciences*, 71, 7–32. <https://doi.org/10.17129/botsci.1660>
- Martínez Ramos, M., & García Orth, X. (2017). Sucesión ecológica y restauración de las selvas húmedas. *Botanical Sciences*, 80(80S), 69–84. <https://doi.org/10.17129/botsci.1758>
- Mendoza-Briseño, M. A., Navarro-Martínez, A., Negreros-Castillo, P., & Uu-Chi, R. (2021). Planeación del manejo forestal con fines patrimoniales. *Madera y Bosques*, 27(1), e2712129. <https://doi.org/10.21829/myb.2021.2712129>
- Mendoza Fuente, N. M., Martínez Romero, E., Esparza Olguín, L. G., & Pat Fernández, J. M. (2020). Capital social y manejo forestal: caso de estudio de la Asociación Regional de Silvicultores (ARS) de Calakmul, Campeche. *Entreciencias: Diálogos en la Sociedad del Conocimiento*, 8(22), 1–20. <https://doi.org/10.22201/enesl.20078064e.2020.22.68372>
- Moreno-Casasola, P., & Paradowska, K. (2009). Especies útiles de la selva baja caducifolia en las dunas costeras del centro de Veracruz Useful plants of tropical dry forest on the coastal dunes of the center of Veracruz State. *Madera y Bosques*, 15(3), 21–44. <http://www.scielo.org.mx/pdf/mb/v15n3/v15n3a2.pdf>
- Ochoa-Gaona, S., Ruíz González, H., Álvarez Montejó, D., Chan Coba, G., & De Jong, B. H. J. (2018). Árboles de Calakmul. ECOSUR. <https://www.ecosur.mx/libros/wp-content/uploads/sites/3/2019/01/Sin-t%C3%ADtulo.jpg>
- Pennington, T. D., & Sarukhán, J. (2005). Árboles tropicales de México. *Manual para la identificación de las principales especies*. UNAM.
- R Core Team. (2023). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>
- Reyna-Hurtado, R. (2009). Conservation status of the white-lipped peccary (*Tayassu pecari*) outside the Calakmul Biosphere Reserve in Campeche, Mexico: a synthesis. *Tropical Conservation Science*, 2(2), 159–172. <https://doi.org/10.1177/194008290900200204>
- Rodríguez Sánchez, P. V., Levy Tacher, S. I., Ramírez Marcial, N., & Estrada Lugo, E. (2019). Análisis comparativo de la vegetación de fundo legal y la vegetación madura en el poblado de Yaxcabá, Yucatán, México. *Botanical Sciences*, 97(1), 50–64. <https://doi.org/10.17129/botsci.2024>
- Román Dañobeytia, F., Levy Tacher, S. I., Macario Mendoza, P., & Zúñiga Morales, J. (2014). Redefining secondary forests in the Mexican forest code: Implications for management, restoration, and conservation. *Forests*, 5(5), 978–991. <https://doi.org/10.3390/f5050978>

- Sánchez Gutiérrez, F., Valenzuela Gómez, A., Valdez Hernández, J. I., & González González, C. A. (2017). Estructura y diversidad de especies arbóreas en el sitio arqueológico “El Mirador”, Selva Lacandona, Chiapas. *Polibotánica*, 44, 79–94. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.44.6>
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2018). *Anuario estadístico de la producción forestal 2018*. <https://dsiappsdev.semarnat.gob.mx/datos/portal/publicaciones/2021/2018.pdf>
- Tadeo Noble, A. E., Valdez Hernández, J. I., Beltrán Rodríguez, L., & García Moya, E. (2019). Efecto del aprovechamiento forestal sobre la estructura y diversidad arbórea en selvas tropicales de Quintana Roo, México. *Bosque*, 40(2), 129–140. <https://doi.org/10.4067/s0717-92002019000200129>
- Urquiza-Haas, T., Dolman, P. M., & Peres, C. A. (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. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.04.015>
- Vleut, I., Levy-Tacher, S. I., de Boer, F., Galindo-González, J., Ramírez-Marcial, N. (2013). Can a fast-growing early successional tree (*Ochroma pyramidale*, Malvaceae) accelerate forest succession? *Journal of Tropical Ecology*, 29, 173–180. <https://doi.org/10.1017/S0266467413000126>
- Zamora Crescencio, P., Rico Gray, V., Ramírez Medina, L. N. G., Barrientos Medina, R. C., Plasencia Vázquez, A. H., Villegas, P., & Gutiérrez Báez, C. (2018). Composición y estructura de la vegetación secundaria en Bethania, Campeche, México. *Polibotánica*, 45, 57–74. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.45.5>