

Densidad de madera de especies arbóreas dominantes de la selva tropical subperennifolia de Calakmul, México

Wood density of dominant tree species from the semi-evergreen tropical forest of Calakmul, Mexico

Gabriel Chan-Coba¹ ,
Bernardus Hendricus Jozeph De Jong¹ ,
Noel Antonio González-Valdivia² ,
Juan Carlos López-Hernández³ ,
Danilo Enrique Morales-Ruiz³ ,
José Apolonio Venegas-Venegas⁴ ,
Mariela Reyes-Sosa⁴ ,
Deb Raj Aryal^{4*} 

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

²Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Chiná, Calle 11 S/N, entre 22 y 28, CP. 24520. Chiná, Campeche, México.

³Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad Autónoma de Chiapas, Carretera Ocozocoautla - Villaflores km. 84.5, CP. 30470. Villaflores, Chiapas, México.

⁴CONACYT-UNACH, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad Autónoma de Chiapas, Carretera Ocozocoautla - Villaflores km. 84.5, CP. 30470. Villaflores, Chiapas, México.

*Autor de correspondencia:
debraj.aryal@hotmail.com

Artículo científico

Recibido: 12 de junio 2022

Aceptado: 28 de octubre 2022

Como citar: Chan-Coba G, De Jong BHJ, González-Valdivia NA, López-Hernández JC, Morales-Ruiz DE, Venegas-Venegas JA, Reyes-Sosa M, Aryal DR (2022) Densidad de madera de especies arbóreas dominantes de la selva tropical subperennifolia de Calakmul, México. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 9(3): e3386. DOI: 10.19136/era.a9n3.3386

RESUMEN. La densidad de madera es un parámetro fundamental para la estimación precisa de biomasa arbórea en ecosistemas forestales. La selva subperennifolia del sureste mexicano se caracteriza por la alta diversidad arbórea, por lo cual es necesario estudiar las variaciones de densidad de madera. El objetivo del estudio fue determinar la variación de densidad de madera de las especies dominantes de la selva subperennifolia y generar modelos de regresión con el grosor diamétrico de madera. Se colectaron 3 260 muestras de madera de 23 especies, en tres categorías diamétricas (gruesa, mediana y delgada). Se midió el volumen de madera con la técnica de desplazamiento de fluidos y se determinó la masa seca en un horno a 70 °C por 72 horas. La densidad de madera se calculó como la proporción de masa entre volumen. La densidad de madera varió significativamente entre las especies, siendo la mayor *Gymnanthes lucida* Sw., con 0.85 g/cm³ y la menor *Bursera simaruba* (L.) Sarg, con 0.37 g/cm³. El análisis de regresión demostró que 20 de 23 especies presentaron una relación positiva entre la densidad de madera y el tamaño diamétrico. Se concluyó que la densidad de la madera varía por especies y tamaño diamétrico del árbol en estos ecosistemas forestales. Los resultados son útiles para modelar la dinámica de acumulación de biomasa arbórea de la vegetación primaria y secundaria que se encuentra en constantes cambios en su estructura y composición de especies.

Palabras clave: Ecosistemas forestales, propiedades de madera, biomasa arbórea, captura de carbono, sureste mexicano.

ABSTRACT. Wood density is a fundamental parameter for the accurate estimation of tree biomass in forest ecosystems. The semi-evergreen forest of the Mexican southeast is characterized by the high diversity of trees, so that it is necessary to study the variations in wood density. The objective of the study was to determine the variation in wood density of the dominant species of the semi-evergreen forest and to generate regression models with wood diameter. We collected 3,260 wood samples of 23 species of three diameter categories (thick, medium, and thin). The volume of wood was measured with the fluid displacement technique and the dry mass was determined in an oven at 70 °C for 72 hours. Wood density was calculated as the ratio of mass to volume. Wood density varied significantly between species, *Gymnanthes lucida* Sw., being the largest with 0.85 g/cm³, and *Bursera simaruba* (L.) Sarg, the smallest with 0.37 g/cm³. Regression analysis showed that 20 out of 23 species presented a positive relationship between wood density and diameter size. It was concluded that wood density varied by species and diameter size of the tree in these forest ecosystems. The results are useful for modeling the dynamics of tree biomass accumulation of primary and secondary forests that are constantly changing in their structure and species composition.

Key words: Forest ecosystems, wood properties, tree biomass, carbon sequestration, southeastern Mexico.

INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas forestales en muchas partes del mundo se encuentran en constantes cambios por causas antropogénicas y naturales (Curtis *et al.* 2016, Ruiz-Corzo *et al.* 2022). Uno de los cambios en estos ecosistemas es la transición de la estructura y composición de las especies arbóreas durante el proceso de recuperación después de la perturbación (Reyes-Palomeque *et al.* 2021, Aryal *et al.* 2022). La transición en la composición de especies y estructura de la vegetación con el tiempo conlleva la diferenciación en las propiedades de especies leñosas como la densidad de la madera (Romero *et al.* 2020, Aryal *et al.* 2022). La densidad de la madera (DM) es una variable importante para estimar la biomasa de árboles mediante modelos matemáticos o ecuaciones alométricas (Chave *et al.* 2009, Francis *et al.* 2017). En México se han hecho varios estudios de vegetación que describen la composición, estructura y diversidad de especies pero pocos sobre la densidad de la madera (Esparza-Olguín *et al.* 2019, Pompa-García y Venegas-González 2016). Aún existen vacíos de información sobre las densidades de la madera de varias especies de selvas tropicales del sureste mexicano.

A falta de información sobre la DM, aumenta la incertidumbre en las estimaciones de almacenamiento, y tasa de secuestro de carbono en ecosistemas forestales y agroforestales (Aquino-Ramírez *et al.* 2015, Bolaños-González *et al.* 2017). La información sobre la DM es importante para la comprensión sobre el cambio de biomasa en ecosistemas forestales, de igual manera para la industria maderera, la cual coadyuva al entendimiento del uso adecuado de los recursos maderables (Gutiérrez-Vázquez y Flores-Montaña 2019, Yang *et al.* 2021).

Con la DM se puede caracterizar a cada especie leñosa, además de determinar la dureza, el peso, la resistencia mecánica y la conductividad térmica (Ordóñez-Díaz *et al.* 2015, Pompa-García *et al.* 2021). Su expresión se asocia con las condiciones climáticas que prevalecen en la región, donde los individuos crecen, como la precipitación y tipo de suelo, donde hay una influencia en la variación fisiológica

entre especies (Fernández *et al.* 2017, Soto-Correa *et al.* 2019). La DM es una de las características físicas de interés económico y ecológico, debido a que tiene relación con la resistencia, la durabilidad y la belleza de los productos elaborados; así como indicador de almacenamiento de carbono de las poblaciones leñosas en los ecosistemas forestales (Aryal *et al.* 2022, Pompa-García y Venegas-González 2016). La DM también influye en el peso de la biomasa leñosa, tasa de descomposición y tiempo de retención de carbono en ecosistemas forestales.

La Reserva de la Biósfera de Calakmul, Campeche, posee ambientes de selva subperennifolia con alta diversidad y composición de especies arbóreas (Sánchez-Silva *et al.* 2018, Haas-Ek *et al.* 2019). Esta diversidad de condiciones se ha generado por el uso rotativo de la tierra. Lo que es una situación común en la Península de Yucatán y en otras partes del Sur-Sureste mexicano (Aryal *et al.* 2018, Morales-Ruiz *et al.* 2021, Hernández-Dzib *et al.* 2021). Debido al uso y abandono de la tierra posterior a las prácticas de roza-tumba y quema, los ecosistemas forestales se encuentran en diferentes etapas (edades) de sucesión secundaria. El tamaño diamétrico de los árboles varía con la edad de la vegetación (Palacios-Wassenaar *et al.* 2014, Casiano-Domínguez *et al.* 2018, Sánchez-Silva *et al.* 2022). La comparación de densidades de madera de las mismas especies entre diferentes tamaños diamétricos, podría contribuir en reducir los niveles de incertidumbre en la cuantificación de biomasa arbórea, para estos ecosistemas que se encuentran en procesos de cambios sucesionales. Cerca de 50% de las especies arbóreas en selva madura en la Península de Yucatán se componen de especies con madera dura e intermedia, mientras las especies blandas son las que dominan en la vegetación secundaria joven (Aryal *et al.* 2014). Por lo tanto, estimar la biomasa sin tomar en cuenta las variaciones de las densidades de la madera podría sub- o sobre-estimar la cantidad de carbono almacenado en estos ecosistemas. Tener un registro con las densidades básicas de cada una de las especies de diferentes categorías diamétricas en la región, ayudará a estimar el potencial de captura de carbono de los diferentes tipos de

vegetación. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue determinar la variación de la densidad de la madera de ramas de diferentes tamaños diamétricos de especies arbóreas dominantes de la selva subperennifolia de Calakmul, Campeche; para generar los modelos de regresión entre densidad de madera y grosor diamétricos por especie. La información generada servirá para cuantificar la biomasa en ecosistemas forestales que se encuentran en diferentes etapas de recuperación, después del abandono de prácticas agropecuarias. Como hipótesis, se plantea que la densidad de la madera varía entre especies arbóreas y se relaciona positivamente con el grosor diamétrico de madera dentro de las mismas especies.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El muestreo de la madera se realizó en la Reserva de la Biosfera de Calakmul, en el Ejido Dos Lagunas, al Sur de Campeche (Figura 1). La reserva se encuentra entre las coordenadas 17°45' y 19°15' latitud norte y 89°15' y 90°10' longitud oeste. El sitio se caracteriza por la presencia de lomeríos que alcanzan elevaciones menores a 300 msnm, en los que predomina la vegetación de selva mediana subperennifolia (Aryal *et al.* 2014). El clima de la región es trópico subhúmedo con precipitaciones anuales entre 900 a 1400 mm y temperatura media anual de 26 °C (Sánchez-Silva *et al.* 2018). Los suelos dominantes de la región son litosoles, rendzinas y vertisoles con altas cantidades de materia orgánica (Aryal *et al.* 2017, Bautista *et al.* 2011).

Colección de muestras de madera

Las muestras de madera se colectaron de 16 conglomerados, sistema de parcelas de muestreo propio del Inventario Forestal y de Suelos (INFyS) propuesto por Comisión Nacional Forestal de México, cada uno con superficie de una hectárea (CONAFOR 2010). En la periferia del conglomerado se establecieron tres sitios de muestreo para obtener piezas de la madera de árboles maduros predominantes o más frecuentes en el dosel. La densidad

de madera en un árbol puede diferir considerablemente dependiendo de las partes como tronco, ramas primarias o secundarias, pero existe una correlación entre ellos (Sarmiento *et al.* 2011). Para evaluar la variación con el tamaño diamétrico, se colectaron las piezas de madera en tres categorías: gruesa (6.5 - 10 cm de diámetro), mediana (2.5 - 6.6 cm) y delgada (1 - 2.5 cm). Las muestras de madera de aproximadamente 5 cm de largo fueron colectadas de las ramas secundarias y terciarias de los árboles.

De esta forma, se completaron muestras para un total de 23 especies de árboles más comunes en la selva mediana subperennifolia en la región de Calakmul. Por otra parte, cada especie fue ubicada en una de tres categorías de dureza de la madera por criterios locales. Las tres categorías de dureza analizadas se definieron de acuerdo con el conocimiento empírico, usos y costumbres de los pobladores locales, como: madera dura, intermedia y blanda. Esta información fue colectada a través de una entrevista con los pobladores que conocen las especies maderables de la zona.

Para determinar la densidad de la madera se tomaron piezas de aproximadamente 5 cm de longitud (por duplicado), en segmentos aleatorios de los árboles. Cada pieza de madera se etiquetó para referir al conglomerado, especie, lote y tamaño de diamétrico. En total, se colectaron 3 260 muestras de madera, los cuales fueron transportadas al laboratorio para las mediciones de volumen y biomasa seca. Para el cálculo de densidad, las muestras de madera fueron procesadas en el laboratorio Jerzy Rzendowski de El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), Campus Campeche.

Procedimiento de cálculo de volumen

El volumen en fresco de cada pieza de madera se determinó mediante la técnica de desplazamiento de fluidos, la cual consiste en determinar la masa de un volumen de agua dentro de un recipiente graduado, y después se registró el dato que resulta al introducir una pieza de madera, de forma que el agua cubra toda la pieza, auxiliados de una pesa previamente considerada en la tara, para así tomar la lectura de la masa del agua y pieza sumergida. La

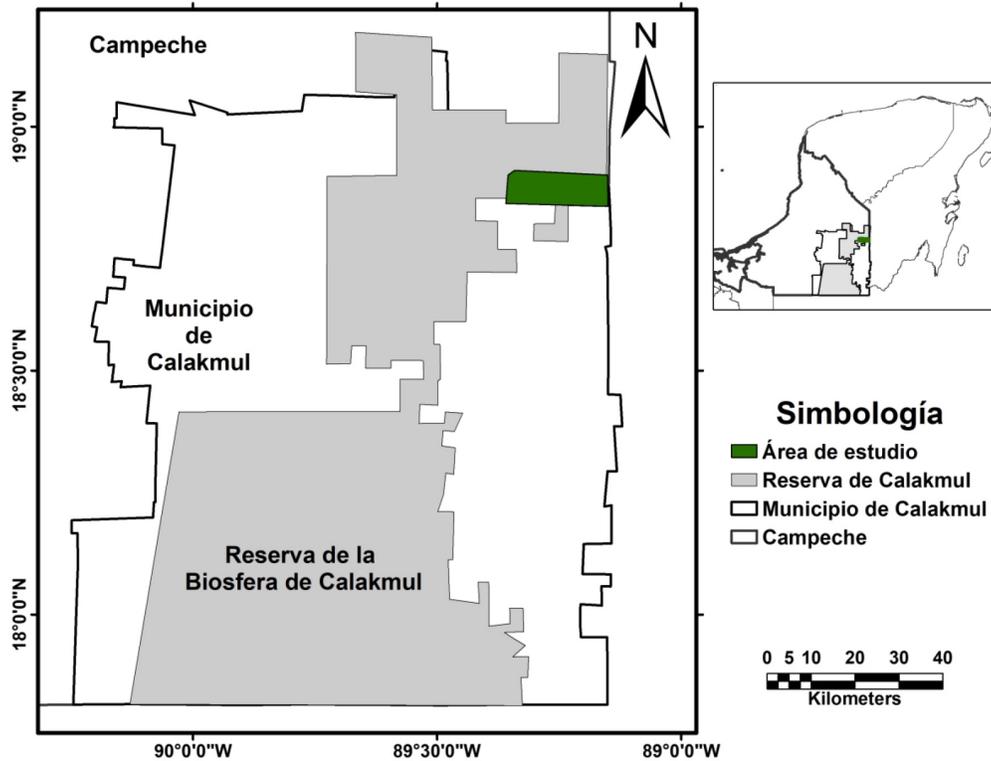


Figura 1. Localización de área de estudio dentro del Municipio de Calakmul, Campeche. El muestreo se realizó en el Ejido Dos Lagunas Norte dentro de la Reserva de la Biosfera de Calakmul.

diferencia en masa del agua más madera y el agua sola, en gramos, representa el volumen de la pieza de madera, ya que la masa de un gramo de agua desplazado por la pieza de madera equivale al de 1 cm³ de agua. Esto tomando en cuenta de que al dividir la masa del agua desplazada entre la densidad del agua resulta el volumen desplazado.

$$V = \text{masa de (agua + muestra)} - \text{masa de agua}$$

Para las piezas gruesas se utilizó un recipiente graduado de 2.5 L y una balanza de precisión de 0.05 g para registrar su masa (g). Para el caso de las piezas medianas se ocupó una probeta de 1 600 mL y una balanza con precisión de 0.05 g. El volumen de las piezas finas se calculó siguiendo el mismo proceso de las piezas gruesas y medianas. En este caso las masas fueron registradas con ayuda de una balanza de precisión 0.01g para disminuir el error.

Secado de muestras

Todas las piezas de madera fueron secadas a 70 °C de temperatura por un periodo de 72 horas en un horno industrial de convección BINDER ED-720. Las muestras fueron pesadas inmediatamente después de haberse retirado del horno, para evitar que se humedecieran al contacto con el aire exterior. El secado depende de la calidad de la máquina secadora, por lo tanto, se comprobó la obtención del dato de peso constante, mediante una curva de calibración del peso, en las muestras tomadas a intervalos regulares. La curva obtenida reflejó una disminución de masa de 0.5 g h⁻¹, por lo tanto, se determinó que para el secado de maderas blandas e intermedias debe ser 36 a 48 horas, mientras que, para maderas duras, debe ser de 72 horas.

Cálculo de la densidad básica de madera

Para estimar la densidad básica se tomaron los datos de masa anhidra y volumen en fresco de cada

pieza de madera (en la probeta), se calcularon con estos datos y se aplicó la fórmula presentada por Kollman (1959), la cual se muestra a continuación:

$$DM = Po/V$$

Donde: DM: Densidad básica de madera (g/cm^3); Po: Masa (biomasa) anhidra (g); V: Volumen de la pieza (cm^3).

Una vez obtenida la densidad de la madera por especie, se determinó si la clasificación local de uso común corresponde con la clasificación de la dureza estandarizada en la literatura especializada (Torelli y Gorisek 1995, Zanne et al. 2009, Silva-Arredondo y Návar-Cháidez 2012).

Análisis estadístico

Con los datos registrados de las densidades básicas de la madera se calcularon estadísticas básicas como media e intervalos de confianza por cada una de las especies y por categoría de tamaño diamétrico. Se comprobaron los supuestos de ANOVA con la prueba de Shapiro-Wilk (W). Los datos fueron analizados con el análisis de varianza ($p < 0.05$) entre especies y entre grupos de tamaños diamétricos a través de modelo lineal generalizado. Se calculó la proporción de varianza entre especies y dentro de especies con los coeficientes de varianza (Sokal y Rolf 2012). Cuando se encontraron diferencias significativas, se realizaron las pruebas de media con el análisis de Tukey ($p < 0.05$). Se generaron los modelos de regresión lineal entre densidad de madera como variable dependiente y tamaño diamétrico como variable independiente para cada una de las especies y un modelo general para todas las especies. Se realizaron los análisis de residuos usando la distancia de Cook y distancia de Mahalanobis. Así mismo, se calculó el error estándar del valor predicho y residuo estándar del modelo.

RESULTADOS

El promedio de las densidades de la madera por especie varió de 0.37 a 0.85 g/cm^3 (Tabla 1). La especie *Gymnanthes lucida* Sw., registró la mayor

densidad con un promedio de 0.85 g/cm^3 , mientras *Bursera simaruba* (L.) Sarg., tuvo la densidad más baja con un promedio de 0.37 g/cm^3 . La especie *Brosimum alicastrum* Sw., tuvo una densidad de la madera de 0.70 g/cm^3 en promedio, mientras *Mosannona depressa* (Baill.) Chatrou, tuvo una densidad de 0.81 g/cm^3 siendo el más denso del grupo de las maderas intermedias. En la categoría de las maderas blandas, se encuentra la especie *Hampea trilobata* Standl., con una densidad de 0.47 g/cm^3 (Tabla 1). La especie *Chrysophyllum mexicanum* Brandegees, presentó una densidad de 0.69 g/cm^3 y *Haematoxylum campechianum* L., 0.73 g/cm^3 . El promedio general de todas las especies arbóreas fue 0.66 g/cm^3 (Tabla 1).

El análisis de varianza indicó que la densidad la madera varió significativamente ($p < 0.001$) entre las especies y entre tamaños diamétricos (Tabla 2). Se encontró que la variación entre especies fue 545 veces mayor que la variación dentro de cada una de las especies ($F_{\text{species}} = 545.1$, $p < 0.01$). El modelo que considera la composición de especies y diámetro de madera explicó 85% de la varianza en la densidad de madera en este estudio (Tabla 2).

La densidad de la madera entre especies por categoría de tamaño diamétrico (delgado, mediano y grueso) varió significativamente según el agrupamiento homogéneo de Tukey. En general, las muestras gruesas presentaron mayores densidades que las medianas y delgadas (Tabla 3). En las especies duras como *Gymnanthes lucida*, *Pouteria reticulata*, *Drypetes lateriflora*, *Pouteria campechiana*, *Manilkara zapota*, *Sideroxylon salicifolium*, *Croton icche*, *Croton lundelli*, *Croton arboreus* y *Mosannona depressa*, se observa que las muestras gruesas tienen más alta densidad en relación a las medianas y delgadas (Tabla 3). La especie *Piscidia piscipula* no mostró una diferencia entre grupos de tamaños diamétricos y otras especies como *Cecropia peltata* y *Casearia laetioides* tuvieron una tendencia de menor densidad con mayor tamaño diamétrico (Tabla 3).

El análisis de regresión de todas las especies mostró una relación positiva (Figura 2) entre la densidad de madera y el tamaño diamétrico (Beta = 0.184,

Tabla 1. Promedio de la densidad de la madera (DM, g/cm³) de las 23 especies arbóreas de la selva mediana subperennifolia de Calakmul, Campeche.

Especies	DM (g/cm ³)		95% intervalo de confianza		Categoría de dureza por criterio local
	Media	Inferior	Superior		
<i>Bursera simaruba</i> (L.) Sarg.	0.37	0.36	0.38		Blanda
<i>Trema micrantha</i> (L.) Blume	0.42	0.41	0.44		Blanda
<i>Cecropia peltata</i> L.	0.44	0.42	0.45		Blanda
<i>Pseudobombax ellipticum</i> (Kunth) Dugand	0.45	0.44	0.45		Blanda
<i>Hampea trilobata</i> Standl.	0.47	0.46	0.48		Blanda
<i>Cascabela gaumeri</i> (Hemsl.) Lippold	0.59	0.57	0.61		Blanda
<i>Lysiloma latisiliquum</i> (L.) Benth	0.60	0.58	0.62		Intermedia
<i>Casearia laetioides</i> (A.Rich.) Warb	0.61	0.59	0.62		Intermedia
<i>Vitex gaumeri</i> Greenm.	0.63	0.61	0.64		Intermedia
<i>Chrysophyllum mexicanum</i> Brandegees	0.69	0.67	0.71		Dura
<i>Piscidia piscipula</i> (L.)	0.69	0.68	0.70		Intermedia
<i>Brosimum alicastrum</i> Sw.	0.70	0.69	0.72		Intermedia
<i>Pouteria campechiana</i> (Kunth) Baehni	0.70	0.68	0.71		Dura
<i>Drypetes lateriflora</i> (Sw.) Krug & Urb.	0.72	0.70	0.73		Intermedia
<i>Haematoxylum campechianum</i> L.	0.73	0.72	0.75		Dura
<i>Croton lundellii</i> Standl.	0.74	0.72	0.75		Intermedia
<i>Croton icche</i> Lundell	0.74	0.73	0.76		Intermedia
<i>Sideroxylon salicifolium</i> (L.) Lam.	0.77	0.75	0.78		Dura
<i>Croton arboreus</i> Shecut	0.80	0.78	0.81		Intermedia
<i>Mosannonna depressa</i> (Baill.) Chatrou	0.81	0.79	0.82		Intermedia
<i>Pouteria reticulata</i> (Engl.) Eyma	0.81	0.80	0.82		Dura
<i>Manilkara zapota</i> (L.) P.Royen	0.83	0.82	0.84		Dura
<i>Gymnanthes lucida</i> Sw.	0.85	0.84	0.86		Dura
Promedio de todas las especies	0.66	0.65	0.67		

Tabla 2. Análisis de varianza de densidad de madera como variable dependiente y especies arbóreas y tamaño diamétrico (delgada, mediana y gruesa) como variables independientes, realizado con el método de modelo lineal generalizado.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	F	p
Modelo corregido	86.67 ^a	68	1.275	266.4	< 0.01
Intercepto	822.52	1	822.515	171900.8	< 0.01
Especies	57.38	22	2.608	545.1	< 0.01
Tamaño diamétrico	1.82	2	0.911	190.3	< 0.01
Especies * Tamaño	1.7	44	0.038	7.8	< 0.01
Error	15.27	3191	0.005		
Total	1495.43	3260			
Corregido total	101.94	3259			

^a R² = 0.850 (R² ajustado = 0.847)

t = 10.68, p < 0.01) (Tabla 4). Los análisis de regresión de cada una de las especies mostraron que 20 de 23 especies tuvieron una relación positiva con el tamaño diamétrico de madera, indicando que la densidad de madera aumenta significativamente con el grosor diamétrico de la madera. Sin embargo, una especie (*Casearia laetioides*) mostró una relación negativa y dos especies (*Cecropia peltata* y *Piscidia piscipula*) no mostraron una regresión significativa entre densidad de madera y grosor diamétrico de la madera (Tabla 4). Se demuestran las estadísticas de análisis de residuos de la regresión en la Tabla

5, donde se puede observar que los promedios de residuo y residuo estándar son ceros.

DISCUSIÓN

Los valores de la densidad de la madera (0.34 - 0.92 g/cm³) se encuentran dentro del rango reportado de las especies forestales tropicales de la región (Pompa-García y Venegas-González 2016, Tamarit-Urías y Fuentes-Salinas 2003, Torelli y Gorisek 1995, Zanne et al. 2009). En la zona noreste de México,

Tabla 3. Variación de la densidad básica por especie en tres categorías de tamaño mediante la prueba de medias de Tukey. Las letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0.05$) entre especies.

Especies	Densidad de la madera (g/cm^3)		
	Delgada (1.00 - 2.5 cm)	Mediana (2.5 - 6.5 cm)	Gruesa (6.5 - 10 cm)
<i>Trema micrantha</i>	0.34 ^a	0.44 ^{bc}	0.48 ^{bcd}
<i>Bursera simaruba</i>	0.36 ^b	0.36 ^a	0.41 ^a
<i>Hampea trilobata</i>	0.43 ^b	0.47 ^c	0.50 ^{cd}
<i>Cecropia peltata</i>	0.46 ^{bc}	0.41 ^{ab}	0.43 ^{abc}
<i>Pseudobombax ellipticum</i>	0.42 ^c	0.42 ^b	0.49 ^b
<i>Cascabela gaumeri</i>	0.51 ^c	0.62 ^{de}	0.65 ^{efg}
<i>Vitex gaumeri</i>	0.52 ^{de}	0.67 ^{ef}	0.68 ^{fghi}
<i>Haematoxylum campechianum</i>	0.69 ^{cd}	0.72 ^{hijk}	0.79 ^{fgh}
<i>Brosimum alicastrum</i>	0.57 ^{cd}	0.72 ^{fgh}	0.83 ^{klm}
<i>Chrysophyllum mexicanum</i>	0.65 ^{def}	0.67 ^{ef}	0.75 ^{ghijk}
<i>Lysiloma latisiliquum</i>	0.58 ^{def}	0.58 ^d	0.65 ^{def}
<i>Casearia laetioides</i>	0.64 ^{def}	0.64 ^{de}	0.55 ^{de}
<i>Drypetes lateriflora</i>	0.66 ^{ef}	0.77 ^{hi}	0.72 ^{ghij}
<i>Croton icche</i>	0.68 ^{ef}	0.74 ^{shi}	0.82 ^{kl}
<i>Pouteria campechiana</i>	0.68 ^{ef}	0.72 ^{fgh}	0.72 ^{ghij}
<i>Piscidia piscipula</i>	0.69 ^{ef}	0.69 ^{ef}	0.69 ^{gh}
<i>Croton lundelli</i>	0.71 ^{efg}	0.74 ^{fghi}	0.78 ^{hijk}
<i>Croton arboreus</i>	0.72 ^{fgh}	0.82 ^{jk}	0.85 ^{klm}
<i>Sideroxylon salicifolium</i>	0.72 ^{efg}	0.78 ^{hij}	0.80 ^{ijkl}
<i>Pouteria reticulata</i>	0.75 ^g	0.83 ^{jk}	0.85 ^{kl}
<i>Gymnanthes lucida</i>	0.77 ^g	0.85 ^k	0.92 ^m
<i>Manilkara zapota</i>	0.78 ^g	0.83 ^{jk}	0.88 ^{lm}
<i>Mosannonna depressa</i>	0.79 ^g	0.80 ^{ijk}	0.84 ^{klm}

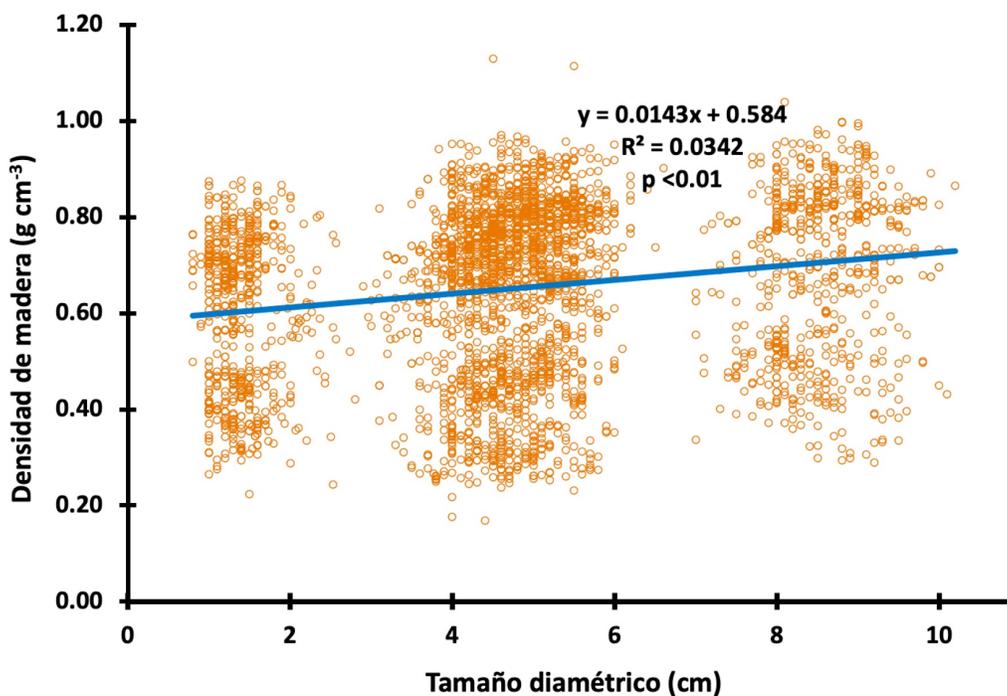


Figura 2. Relación entre tamaño diamétrico de madera (cm) y la densidad (g cm^{-3}) de todas las especies. El coeficiente de regresión fue estadísticamente mayor que cero ($t = 10.7$, $p < 0.001$).

Tabla 4. Coeficientes de regresión entre tamaño diamétrico (como predictor) y densidad de madera (como dependiente) de las especies arbóreas de Calakmul, Campeche. B = coeficiente de regresión no estandarizado, Beta = coeficiente de regresión estandarizado, t = valor de prueba de T y p = probabilidad (Alpha = 0.05).

Especies	B	Intervalo de confianza 95%		Beta	t	p
		Inferior	Superior			
<i>Brosimum alicastrum</i>	0.034	0.029	0.039	0.857	14.08	< 0.01
<i>Bursera simaruba</i>	0.009	0.004	0.015	0.244	3.30	< 0.01
<i>Cascabela gaumeri</i>	0.020	0.013	0.026	0.557	6.00	< 0.01
<i>Casearia laetioides</i>	-0.010	-0.013	-0.006	-0.498	-5.07	< 0.01
<i>Cecropia peltata</i>	-0.004	-0.008	0.001	-0.173	-1.51	0.14
<i>Chrysophyllum mexicanum</i>	0.013	0.010	0.016	0.675	7.55	< 0.01
<i>Croton arboreus</i>	0.016	0.010	0.022	0.401	5.15	< 0.01
<i>Croton icche</i>	0.020	0.014	0.026	0.502	6.81	< 0.01
<i>Croton lundelli</i>	0.012	0.008	0.016	0.549	6.44	< 0.01
<i>Drypetes lateriflora</i>	0.006	0.001	0.011	0.206	2.24	0.03
<i>Gymnanthes lucida</i>	0.019	0.016	0.023	0.560	10.46	< 0.01
<i>Haematoxylum campechianum</i>	0.016	0.010	0.022	0.465	5.61	< 0.01
<i>Hampea trilobata</i>	0.011	0.009	0.014	0.418	8.51	< 0.01
<i>Lysiloma latisiliquum</i>	0.010	0.002	0.017	0.279	2.60	0.01
<i>Manikara zapota</i>	0.013	0.010	0.016	0.544	8.51	< 0.01
<i>Mosannonna depressa</i>	0.007	0.005	0.010	0.481	5.86	< 0.01
<i>Piscidia piscipula</i>	0.000	-0.005	0.005	-0.006	-0.08	0.94
<i>Pouteria campechiana</i>	0.011	0.007	0.014	0.337	6.65	< 0.01
<i>Pouteria reticulata</i>	0.011	0.007	0.014	0.337	6.65	< 0.01
<i>Pseudodombax ellipticum</i>	0.011	0.004	0.018	0.171	2.95	< 0.01
<i>Sideroxylon salicifolium</i>	0.012	0.010	0.014	0.718	11.01	< 0.01
<i>Trema micrantha</i>	0.018	0.011	0.024	0.496	5.41	< 0.01
<i>Vitex gaumeri</i>	0.018	0.013	0.024	0.526	6.60	< 0.01
General (todas)	0.014	0.012	0.017	0.184	10.68	< 0.01

Tabla 5. Análisis de residuales de la regresión general entre tamaño diamétrico (como variable predictora) y densidad de madera (como variable dependiente).

Estadística de residuales	Promedio	Min.	Max.	Desv. est.	N
Valor predicho	0.6538	0.5960	0.7297	0.03252	3260
Valor estándar predicho	0.000	-1.777	2.334	1.000	3260
Error estándar del valor predicho	0.004	0.003	0.008	0.001	3260
Valor predicho ajustado	0.6538	0.5958	0.7294	0.03252	3260
Residual	0.00000	-0.47720	0.56409	0.17384	3260
Estándar residual	0.000	-2.745	3.244	1.000	3260
Residual eliminado	0.00000	-0.47735	0.56450	0.17395	3260
Distancia de Mahalanobis	1.000	0.000	5.446	1.249	3260
Distancia de Cook	0.000	0.000	0.004	0.000	3260

Fuentes-Salinas *et al.* (2008) analizaron la densidad de 16 especies de madera de la selva baja caducifolia del sur de Tamaulipas y mostraron un rango entre 0.56 a 0.97 g/cm³. Aunque algunos valores de estos estudios entran dentro del rango de nuestro estudio, los extremos inferiores y superiores son mayor que de nuestro estudio. Esto puede atribuirse a la diferencia de clima porque la parte norte de México es más seca que la península de Yucatán. La vegetación arbórea en zonas secas (áridas) pueden tener la madera más densa que la vegetación en zonas húmedas (Poorter *et al.* 2019). En la parte centro de la república, en los

estados de Tlaxcala y Puebla, la densidad de madera de *Pinus hartwegii* Lindl. fue 0.49 g/cm³ (Rojas García y Villers Ruíz 2005). Mientras que en la Península de Yucatán, se reporta la densidad de la madera de *Caesalpinia gaumeri* de 0.86 g/cm³ (Interián-Ku *et al.* 2011) y para *Dendropanax arboreus* (L.) Planch & Decne de 0.44 g/cm³ (Martínez-Trinidad *et al.* 2001). Los resultados encontrados son consistentes con lo reportado en estos ecosistemas de la Península de Yucatán. Sin embargo, el rango de variación es alto por la inclusión de mayor número de especies. Las especies de densidades menores son principal-

mente las especies pioneras que se caracterizan por crecimiento rápido. Esto concuerda con un estudio de la selva tropical de Ghana donde se reporta que las especies de crecimiento más rápido exhiben una densidad más baja en comparación con las especies de crecimiento lento (Yeboah *et al.* 2014).

El cambio en los tamaños diamétricos, composición de especies y la complejidad estructural de la vegetación tienen implicaciones importantes en el almacenamiento de carbono (Thon y Keeton 2019). En un estudio de sucesión secundaria de la selva tropical subperennifolia de Calakmul, Campeche, las especies que conforman los bosques secundarios (acahuales) jóvenes, tuvieron en promedio una densidad de la madera de 0.60 g/cm^3 , más baja que los acahuales viejos (0.69 g/cm^3) y selvas maduras, con promedio de 0.81 g/cm^3 (Aryal *et al.* 2014). Se observó que las especies duras como *Gymnanthes lucida*, *Pouteria reticulata*, *Drypetes lateriflora*, *Pouteria campechiana*, *Manilkara zapota*, *Sideroxylon salicifolium*, *Croton icche*, *Croton lundelli*, *Croton arboreus* y *Mosannonna depressa* tuvieron tendencias de mayor densidad de la madera en los diámetros más grandes. Lo que se puede deber a que a medida que la madera crece en su diámetro, la parte interna del tallo se convierte en duramen mediante el proceso de polimerización de compuestos de polisacáridos como lignina, estilbena y flavonoides (Chave *et al.* 2009).

La variación de la densidad de la madera puede deberse a factores como las condiciones climáticas (variaciones altitudinales 600 -1 500 msnm), la edad de la vegetación, el sitio de la colecta, la altura a la que se toma la muestra y la propia corteza que contiene (Candel-Pérez *et al.* 2018, Chave *et al.* 2006, Nabais *et al.* 2018). Otro factor que influye en la densidad de la madera es la sequía, ya que la intensidad de la estación seca puede impulsar hacia maderas más duras al influir la trayectoria de la sucesión secundaria (Poorter *et al.* 2019). Además, los factores genéticos, el contenido de humedad, la altura, la tasa de crecimiento, así como la época del año en la que se colectaron las muestras, determinan la densidad de la madera de especies leñosas (Silva-Arredondo y Návar-Cháidez

2012, Gutiérrez-Vázquez y Flores-Montaña 2019).

En general, los criterios locales de la dureza de madera, basado en usos y costumbres de los pobladores, concuerdan con las densidades medidas en este estudio. A través de usos y costumbres, que pasan de generación a generación, varias especies de madera son utilizadas para la elaboración de estructuras de sus casas, los muebles u otros usos según las consideren de madera dura, mediana o blanda (Gutiérrez-Vázquez y Flores-Montaña 2019). La especie *Cecropia Peltata* y *Casearia laetioides* que presentaron una mayor densidad en la categoría delgada respecto a las categorías medianas y gruesas; pertenecen dentro de las categorías de blanda e intermedias según los criterios locales. Las especies *Lysilona latisiliquum* y *Piscidia piscipula* están dentro del grupo de las maderas intermedias de acuerdo a la tabla de clasificación de Tamarit-Urías y Fuentes-Salinas (2003) y Torelli y Gorisek (1995). De las especies estudiadas, 87% mostró una tendencia de aumento en la densidad de madera con el aumento del tamaño de diamétrico, lo cual implica que a medida que los árboles crecen de su tallo, la densidad de madera aumenta. Cabe mencionar que esta relación se debe comprobar con la madera de los troncos de los árboles debido a que en este estudio, solo se muestreo las ramas hasta 10 cm de diámetro. Diferente de lo que encontramos en este estudio, en un estudio con 145 especies de árboles concurrentes en una selva tropical de Malasia, la densidad de madera se correlacionó negativamente con el diámetro del tallo y positivamente con la biomasa del tallo (Iida *et al.* 2012).

Los datos de densidad de la madera ayudan a reducir la incertidumbre en la cuantificación de carbono de la vegetación. Los datos de la cantidad de carbono que almacenan las selvas y bosques tropicales varían mucho de un estudio a otro, además todavía hay incertidumbre sobre su contribución al ciclo global del carbono (Corona-Núñez *et al.* 2021, Harris *et al.* 2021). La falta de datos de densidad de la madera puede sub-estimar o sobre-estimar el tiempo de recuperación del carbono en la vegetación secundaria, por los cambios en la composición de las especies, tamaño diamétrico y la densidad de

la madera con el tiempo (Flores y Coomes 2011, Poorter *et al.* 2019). La densidad de la madera también puede influir en la tasa de descomposición de la madera y por consecuencia el tiempo de retención de carbono en ecosistemas forestales (Aryal *et al.* 2022, Tobías-Baeza *et al.* 2019). La variación en la densidad de madera según las especies arbóreas y las clases diamétricas podrían explicar la dinámica de acumulación de biomasa leñosa de vegetaciones secundarias que se encuentran en constantes cambios en su estructura y composición de las especies.

CONCLUSIONES

La densidad de la madera varía por especies arbóreas y tamaños diamétricos, oscilando entre 0.34 y 0.92 g/cm³. Las maderas con diámetros gruesos tuvieron mayor densidad que las maderas medianas y delgadas. En general, la densidad de madera dentro de la misma especie se relacionó positivamente con el grosor diamétrico de la madera. Los datos de densidad de la madera por especie y

tamaños diamétricos son útiles para estimar el almacenamiento de carbono en ecosistemas forestales con presencia de árboles de diferentes especies y tamaños diamétricos. Este trabajo puede contribuir a reducir la incertidumbre en la modelación del comportamiento de la biomasa arbórea de la vegetación primaria y secundaria en el sureste de México.

AGRADECIMIENTOS

Al proyecto de colaboración entre ECOSUR y el Servicio Forestal de Estados Unidos (US Forest Service), bajo el convenio 12-IJ11242306-054 por el financiamiento parcial para para este estudio. A Hugo Ruiz, Gerardo Avilés, Mirna Canul, Demetrio Alvarez, Elsy, Yanin, Lourdes, Saraí Sánchez y Roldan Ruiz por su apoyo en trabajo de campo y laboratorio. A CONACYT por apoyar el proyecto # 381/2015 bajo el programa "Investigadores por México". Un agradecimiento especial a los revisores y editores por sus comentarios y sugerencias, que contribuyeron a fortalecer la calidad de este escrito científico.

LITERATURA CITADA

- Aquino-Ramírez M, Velázquez-Martínez A, Castellanos-Bolaños JF, los Santos-Posadas D, Etchevers-Barra JD (2015) Partición de la biomasa aérea en tres especies arbóreas tropicales. *Agrociencia* 49: 299-314.
- Aryal DR, Corzo RR, Cruz AL, Sanabria CV, Gómez H, Castro FGH, Ruiz RP, Venegas JAV, de Coss AL, Ruiz DM (2018) Biomass accumulation in forests with high pressure of fuelwood extraction in Chiapas, Mexico. *Revista Árvore* 42(3): e420307. DOI: 10.1590/1806-90882018000300007.
- Aryal DR, De Jong BH, Ochoa-Gaona S, Mendoza-Vega J, Esparza-Olguín L, Cruz SL (2022) Fine wood decomposition rates decline with the age of tropical successional forests in southern Mexico: Implications to ecosystem carbon storage. *Ecosystems* 25: 661-677.
- Aryal DR, De Jong BHJ, Mendoza-Vega J, Ochoa-Gaona S, Esparza-Olguín L (2017) Soil organic carbon stocks and soil respiration in tropical secondary forests in southern Mexico. In: Field D (ed) *Global soil security*. Springer, Switzerland. pp: 153-165.
- Aryal DR, De Jong BH, Ochoa-Gaona S, Esparza-Olguín L, Mendoza-Vega J (2014) Carbon stocks and changes in tropical secondary forests of southern Mexico. *Agriculture, ecosystems & environment* 195: 220-230.
- Bautista F, Palacio-Aponte G, Quintana P, Zinck JA (2011) Spatial distribution and development of soils in tropical karst areas from the Peninsula of Yucatan, Mexico. *Geomorphology* 135: 308-321.
- Bolaños-González Y, Bolaños González MA, Paz Pellat F, Ponce Pulido JI (2017) Estimación de carbono almacenado en bosques de oyamel y ciprés en Texcoco, Estado de México. *Terra Latinoamericana* 35: 73-86.

- Candel-Pérez D, Lo YH, Blanco JA, Chiu CM, Camarero JJ, González de Andrés E, Imbert JB, Castillo FJ (2018) Drought-induced changes in wood density are not prevented by thinning in scots pine stands. *Forests* 9(4): 1-20. DOI: 10.3390/f9010004.
- Casiano-Domínguez M, Paz-Pellat F, Rojo-Martínez M, Covalada-Ocon S, Aryal DR (2018) El carbono de la biomasa aérea medido en cronosecuencias: Primera estimación en México. *Madera y bosques* 24(SPE). DOI: 10.21829/myb.2018.2401894.
- Chave J, Coomes D, Jansen S, Lewis SL, Swenson NG, Zanne AE (2009) Towards a worldwide wood economics spectrum. *Ecology Letters* 12: 351-366.
- Chave J, Muller-Landau HC, Baker TR, Easdale TA, Steege H ter, Webb CO (2006) Regional and phylogenetic variation of wood density across 2456 neotropical tree species. *Ecological Applications* 16: 2356-2367.
- CONAFOR (2010) Inventario Nacional Forestal y de Suelos (INFyS): Manual y procedimientos para el muestreo de campo. Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), Guadalajara, Jalisco, México. 140p.
- Corona-Núñez RO, Mendoza-Ponce AV, Campo J (2021) Assessment of above-ground biomass and carbon loss from a tropical dry forest in Mexico. *Journal of Environmental Management* 282: 111973. DOI: 10.1016/j.jenvman.2021.111973.
- Curtis PG, Slay CM, Harris NL, Tyukavina A, Hansen MC (2018) Classifying drivers of global forest loss. *Science* 361: 1108-1111.
- Esparza-Olguín LG, Vargas-Contreras JA, 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.
- Fernández ACH, Parra AC, Bucio FEP, Méndez FC, Bucio RH, Albarrán PL, Quiñones JGR (2017) Densidad, composición química y poder calorífico de la madera de tres especies de encinos (*Quercus candicans*, *Q. laurina* y *Q. rugosa*). *Ciencia Nicolaita* 72: 136-154.
- Flores O, Coomes DA (2011) Estimating the wood density of species for carbon stock assessments. *Methods in Ecology and Evolution* 2: 214-220.
- Francis EJ, Muller-Landau HC, Wright SJ, Visser MD, Iida Y, Fletcher C, Hubbell SP, Kassim AR (2017) Quantifying the role of wood density in explaining interspecific variation in growth of tropical trees. *Global Ecology and Biogeography* 26: 1078-1087.
- Fuentes-Salinas M, Correa-Méndez F, Corona-Ambríz A (2008) Características tecnológicas de 16 maderas del estado de Tamaulipas, que influyen en la fabricación de tableros de partículas y de fibras. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 14: 65-71.
- Gutiérrez-Vázquez BN, Flores-Montaña A (2019) Patrón y magnitud de la variación de la densidad de la madera en rodales semilleros de *Pinus oocarpa*. *Madera y Bosques* 25: e2531615. DOI: 10.21829/myb.2019.2531615.
- Haas-Ek MA, González-Valdivia NA, Jong BHJD, Ochoa-Gaona S, Aryal DR (2019) Arboreal resprouting in the Calakmul, Campeche, Mexico tropical forest regeneration. *Revista de Biología Tropical* 67: 164-81.
- Hernández-Dzib GA, Esparza-Olguín L, Romero EM, 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
- Iida Y, Poorter L, Sterck FJ, Kassim AR, Kubo T, Potts MD, Kohyama TS (2012) Wood density explains architectural differentiation across 145 co-occurring tropical tree species. *Functional Ecology* 26: 274-282.

- Interián-Ku VM, Borja de la Rosa MA, Valdez-Hernández JI, García-Moya E, Romero-Manzanares A, Vaquera-Huerta H (2011) Características anatómicas y propiedades físicas de la madera de *Caesalpinia gaumeri* Greenm en Dzan, Yucatán. *Madera y Bosques* 17: 23-36.
- Kollmann F (1959) *Tecnología de la madera y sus aplicaciones*. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias y Servicio de la Madera, Madrid, España. 695 pp.
- Martínez-Trinidad T, de la Rosa AB, Rodríguez MÁ (2001) Características tecnológicas de la madera de *Sacchacah* de Campeche en diferentes zonas del árbol. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 7: 91-97.
- Morales Ruiz DE, Aryal DR, Pinto Ruiz R, Guevara Hernández F, Casanova Lugo F, Villanueva Lopez G (2021) Carbon contents and fine root production in tropical silvopastoral systems. *Land Degradation & Development* 32: 738-56.
- Nabais C, Hansen JK, David-Schwartz R, Klisz M, Lopez R, Rozenberg P (2018) The effect of climate on wood density: What provenance trials tell us? *Forest Ecology and Management* 408: 148-56.
- Ordóñez-Díaz JAB, Galicia Naranjo A, Venegas Mancera NJ, Hernández Tejeda T, Ordóñez Díaz M de J, Dávalos-Sotelo R (2015) Densidad de las maderas mexicanas por tipo de vegetación con base en la clasificación de J. Rzedowski: compilación. *Madera y Bosques* 21: 77-126.
- Palacios-Wassenaar O, Castillo-Campos G, Vázquez-Torres SM, Del Amo-Rodríguez S (2014) Flora vascular de la selva mediana subcaducifolia del centro de Veracruz, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85: 125-142.
- Pompa-García M, Hevia A, Camarero JJ (2021) Minimum and maximum wood density as proxies of water availability in two Mexican pine species coexisting in a seasonally dry area. *Trees* 35: 597-607.
- Pompa-García M, Venegas-Gonzalez A (2016) Temporal variation of wood density and carbon in two elevational sites of *Pinus cooperi* in relation to climate response in northern Mexico. *PLoS One* 11: e0156782. DOI: 10.1371/journal.pone.0156782.
- Poorter L, Rozendaal DM, Bongers F, de Almeida-Cortez JS, Zambrano AMA, Álvarez FS, Andrade JL, Villa LFA, Balvanera P, Becknell JM (2019) Wet and dry tropical forests show opposite successional pathways in wood density but converge over time. *Nature Ecology & Evolution* 3: 928-934.
- Reyes-Palomeque G, Dupuy J, Portillo-Quintero C, Andrade J, Tun-Dzul F, Hernández-Stefanoni J (2021) Mapping forest age and characterizing vegetation structure and species composition in tropical dry forests. *Ecological Indicators* 120: 106955. DOI: 10.1016/j.ecolind.2020.106955.
- Rojas García F, Villers Ruíz L (2005) Comparación de dos métodos para estimar la densidad de la madera de *Pinus hartwegii* Lindl. del Volcán La Malinche. *Madera y Bosques* 11: 63-71.
- Romero E, Dávalos-Sotelo R, Meave JA, Terrazas T (2020) Wood density, deposits and mineral inclusions of successional tropical dry forest species. *European Journal of Forest Research* 139: 369-381.
- Ruiz-Corzo R, Aryal DR, Venegas-Sandoval A, Jerez-Ramírez DO, Fernández-Zúñiga KS, del Carmen Lopez-Cruz S, López-Herández JC, Peña-Alvarez B, Velázquez-Sanabria CA (2022) Dinámica temporal de combustibles forestales y efecto del incendio en Cerro Nambiyugua, Chiapas, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 9: e3253. DOI: 10.19136/era.a9n2.3253.
- Sánchez-Silva S, De Jong BH, Aryal DR, Huerta-Lwanga E, Mendoza-Vega J (2018) Trends in leaf traits, litter dynamics and associated nutrient cycling along a secondary successional chronosequence of semi-evergreen tropical forest in South-Eastern Mexico. *Journal of Tropical Ecology* 34: 364-377.

- Sánchez-Silva S, De Jong BH, Huerta-Lwanga E, Mendoza-Vega J, Morales-Ruiz DE, Aryal DR (2022) Fine root biomass stocks but not the production and turnover rates vary with the age of tropical successional forests in Southern Mexico. *Rhizosphere* 21: 100474. DOI: 10.1016/j.rhisph.2022.100474.
- Sarmiento C, Patiño S, Paine CET, Beauchêne J, Thibaut A, Baraloto C (2011) Within-individual variation of trunk and branch xylem density in tropical trees. *American Journal of Botany* 98: 140-149.
- ilva-Arredondo FM, Návar-Cháidez J (2012) Estimación de la densidad de madera en árboles de comunidades forestales templadas del norte del estado de Durango, México. *Madera y Bosques* 18: 77-88.
- Sokal RR, Rohlf FJ (2012) *Biometry* (cuarta edición). W.H. Freeman and Company, New York. 937 pp.
- Soto-Correa JC, Cambrón-Sandoval VH, Renaud-Rangel R (2019) Atributos de las especies arbóreas y su carbono almacenado en la vegetación del municipio de Querétaro, México. *Madera y Bosques* 25(1): e2511699. DOI: 10.21829/myb.2019.2511699.
- Tamarit-Urías J, Fuentes-Salinas M (2003) Parámetros de humedad de 63 maderas latifoliadas mexicanas en función de su densidad básica. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 9: 155-64.
- Thom D, Keeton WS (2019) Stand structure drives disparities in carbon storage in northern hardwood-conifer forests. *Forest Ecology and Management* 442: 10-20.
- Tobías-Baeza A, Salvador-Morales P, Sánchez-Hernández R, Ruiz-Acosta S del C, Andrade-Prado H (2019) Composición florística y carbono en la vegetación arbórea de un área periurbana en Tabasco, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 6: 369-376.
- Torelli N, Gorisek Z (1995) Mexican tropical hardwoods: mechanical properties in green condition. *Holz als Roh-und Werkstoff* 53: 421-423.
- Yang H, Ciais P, Wang Y, Huang Y, Wigneron J, Bastos A, Chave J, Chang J, E Doughty C, Fan L (2021) Variations of carbon allocation and turnover time across tropical forests. *Global Ecology and Biogeography* 30: 1271-85.
- Yeboah D, Burton AJ, Storer AJ, Opuni-Frimpong E (2014) Variation in wood density and carbon content of tropical plantation tree species from Ghana. *New Forests* 45: 35-52.
- Zanne AE, Lopez-Gonzalez G, Coomes DA, Ilic J, Jansen S, Lewis SL, Miller RB, Swenson NG, Wiemann MC, Chave J (2009) Data from: Towards a worldwide wood economics spectrum. *Dryad* 235. DOI: 10.5061/dryad.234