

Biomasa acumulada en un bosque de pino-encino del sur de México

Biomass accumulation in a pine-oak forest in southern of Mexico

Martin Aquino-Ramírez¹, Julio César Ríos-Saucedo^{2*}, Rolando Misael Tlaxcala-Méndez³ y Reynol Fierros-Mateo⁴

¹INIFAP-Campo Experimental Edzná. Carretera Campeche-Pocayaxum km 15.1. Campeche, Camp. México. C.P. 24520

²INIFAP - Campo Experimental Valle del Guadiana. Carretera Durango - El Mezquital km 4.5. Durango, Dgo., México. C. P. 34170.

³INIFAP-Campo Experimental El Palmar. Carretera Tezonapa-El Palmar Km 15. Tezonapa, Veracruz, México. C. P. 95080

⁴Universidad para el Bienestar Benito Juárez García, sede Chenalhó, Carretera Ejido San Pedro, s/n., San Pedro. Chenalhó, Chiapas. C.P. 29870

*Autor para correspondencia: rios.julio@inifap.gob.mx

RESUMEN

Los bosques naturales son importantes en la acumulación de biomasa y ayudan a mitigar los efectos del calentamiento global del planeta. El objetivo del presente estudio fue estimar la acumulación de biomasa aérea en un bosque natural de pino-encino de la localidad de San José del Pacífico, Oaxaca, México. Se establecieron 37 sitios de muestreo de 1000 m² de forma aleatoria en el predio particular y se realizó un censo de todas las especies arbóreas y arbustivas mayores a 7.5 cm de diámetro normal. La biomasa aérea a nivel de árbol fue estimada mediante ecuaciones alométricas y la del inventario del predio con estimadores de muestreo simple al azar. Un total de 18 especies fueron registradas, pertenecientes a nueve géneros y seis familias. El bosque presenta una densidad de 406 individuos ha⁻¹, una acumulación de biomasa aérea de 426.22 Mg ha⁻¹ y un inventario de biomasa aérea en el predio de 298353.79 Mg. Las especies que acumularon mayor cantidad de biomasa son *Pinus douglasiana*, *Pinus patula*, *Quercus laurina* y *Pinus oaxacana*. Los resultados son útiles para establecer una línea base para el pago de bonos de carbono en el sur de México.

Palabras clave: carbono, coníferas, ecuaciones alométricas, hojosas, Sierra Sur de Oaxaca.

ABSTRACT

Natural forests are important in the accumulation of biomass and help mitigate the effects of global warming on the planet. The objective of the present study was to estimate the accumulation of aboveground biomass in a natural pine-oak forest in the town of San José del Pacifico, Oaxaca, Mexico. We established 37 sampling sites of 1000 m² randomly on the private property and a census was carried out of all tree and shrub species larger than 7.5 cm in diameter at breast height. The aboveground biomass at the tree level was estimated using allometric equations and that of the property inventory with simple random sampling estimators. A total of 18 species were recorded and belong to nine genera and six families. The forest has a density of 406 individuals ha⁻¹, an accumulation of aboveground biomass of 426.22 Mg ha⁻¹ and an inventory of aboveground biomass on the property of 298353.79 Mg. The species that accumulated the greatest amount of biomass are *Pinus douglasiana*, *Pinus patula*, *Quercus laurina* and *Pinus oaxacana*. The results are useful for establishing a baseline for the payment of carbon credits in southern Mexico.

Keywords: carbon, conifers, allometric equations, broadleaf, Sierra Sur of Oaxaca.

INTRODUCCIÓN

El cambio climático en los últimos años se ha convertido en un tema fundamental y de preocupación para todos los científicos del planeta, puesto que el aumento de la concentración atmosférica de CO₂ se ha elevado en un 49.4 % desde la revolución industrial de 280 ppm en 1750 a 418.51 ppm en septiembre de 2023 (Lan *et al.*, 2023). Asumiendo que esta concentración creciente de CO₂ en la atmósfera es una de las principales causas del cambio climático, unos de los primeros pasos para mitigar los cambios son aquellos que puedan de alguna manera reducir esta concentración de CO₂ (Raihan, 2023). Los bosques bajo este panorama representan una solución que puede contribuir eficazmente a la captura y secuestro de CO₂ a través del tiempo (Shahbazi y Nasab, 2016). Los bosques tienen gran influencia sobre el ciclo global del carbono, ya que lo almacenan en la vegetación y el suelo, y lo intercambian con la atmósfera mediante el proceso de la fotosíntesis y la respiración (Brown, 1997).

Como parte de la estrategia para mitigar el cambio climático, los bosques como sumideros de carbono fueron incluidos en el Protocolo de Kioto de 1998 (Breidenich *et al.*, 1998) y resoluciones posteriores como los Acuerdos de París de 2015. Las reservas de carbono y el secuestro de carbono en la vegetación arbórea generalmente se estiman mediante una evaluación de la biomasa, debido a que la cantidad de carbono almacenado en las especies leñosas es alrededor del 50 % de su peso seco, sin embargo, en la literatura se puede encontrar estudios específicos que indican el valor de la concentración de carbono por especie o grupos de especies (Aguirre *et al.*, 2021).

Una de las alternativas más utilizadas para estimar la biomasa forestal es mediante datos de inventario, convirtiendo las mediciones de campo en biomasa aérea empleando ecuaciones alométricas o factores de expansión de biomasa. Las ecuaciones alométricas requieren información sobre las dimensiones de los árboles individuales y luego se convierten en biomasa en función del diámetro normal y la altura del árbol (Ameztegui *et al.*, 2022). En México se han desarrollado diferentes estudios que permiten estimar el potencial que tiene los bosques para capturar y almacenar biomasa a partir de datos de inventario. Tal es el caso de los trabajos realizados en la región norte del país donde se

calcula que la biomasa en los bosques de pino-encino presentan un valor de 93.22 Mg ha⁻¹ en el Ejido Aboreachi, Guachochi, Chihuahua (Rascón-Solano *et al.*, 2022) y 219.3 Mg ha⁻¹ en la Reserva de la Biosfera El Cielo, Tamaulipas (Rodríguez-Laguna *et al.*, 2009). En cambio, en la región centro se reportan valores de 222.98 Mg ha⁻¹ en un área sin aprovechamiento forestal en Zacualtipán Hidalgo (Chávez-Aguilar *et al.*, 2016) hasta 323.23 Mg ha⁻¹ en rodales sin manejo forestal en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca (Hernández-Moreno *et al.*, 2020). En el sur, Álvarez-Arteaga *et al.* (2013) evaluaron la biomasa en diferentes bosques montanos de niebla de la Sierra Norte de Oaxaca situadas entre 1500 y 2500 m de altitud con una media de 384.16 Mg ha⁻¹ y Rodríguez-Larramendi *et al.* (2016) en un bosque de pino en la región Frailesca de Chiapas. Estos trabajos son específicos por regiones de México y aún existen muchas áreas y regiones por evaluar.

La región de la Sierra Sur de Oaxaca es una región montañosa que cuenta con extensos bosques de clima templado en el que los taxones de *Pinus* y *Quercus* son los dominantes (Castillo *et al.*, 2016), sin embargo, se carece de estudios que evalúen el potencial de almacenamiento y captura de carbono forestal. Por lo tanto, el presente estudio tuvo como objetivo estimar la acumulación de biomasa aérea de especies arbóreas en un bosque de pino-encino de la localidad de San José del Pacífico, Oaxaca, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se realizó en el predio particular Rancho Encino, ubicado en la localidad de San José del Pacífico, municipio de San Mateo Río Hondo perteneciente a la región fisiográfica de la Sierra Sur de Oaxaca, México. El área cuenta con una superficie de 70 ha, ubicada en las coordenadas geográficas 16° 8' 50.17" LN y 96° 30' 7.48" LO, con una altitud de 2400 m (Figura 1). Los suelos en el predio son de tipo cambisol y el clima es semifrío subhúmedo con lluvias en verano. La temperatura media anual es de 28 ° y la precipitación media anual de 1147 mm (INEGI, 2010).



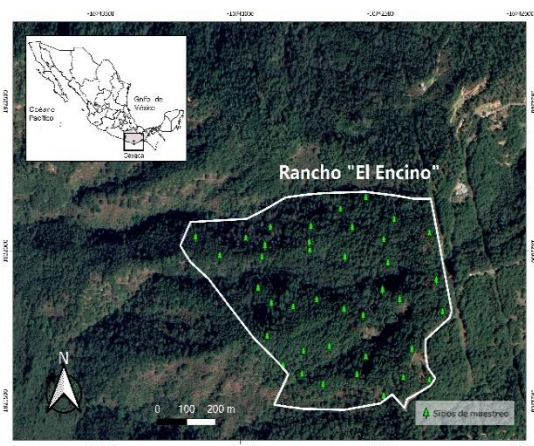


Figura 1. Localización del área de estudio.

Obtención de información dasométrica

La información dasométrica se obtuvieron de 37 sitios de muestreo temporales establecidos en primavera de 2019, que corresponden a una intensidad de muestreo (IM) del 5.2 %. Los sitios de muestreo fueron de forma circular y de un décimo de hectárea (1000 m²). En cada sitio se registraron todos los árboles y arbustos con un diámetro normal ≥ 7.5 cm, asimismo, a cada individuo se les se les midió la altura total con un clinómetro. Se determinó la biomasa aérea individual partir de las ecuaciones alométricas desarrolladas por especie o grupos de especies de coníferas y hojosas reportadas en la literatura. Estas ecuaciones predicen la biomasa a partir de las variables diámetro normal y la altura total (Tabla 1).

Tabla 1. Ecuaciones alométricas utilizadas para estimar la biomasa en las diferentes especies de pinos, encinos y hojosas encontradas en el bosque del predio particular Rancho Encino en San José del Pacífico, Oaxaca, México.

Especie	Ecuación
<i>Pinus oaxacana</i> ¹	$Ba = 0.108919 \times DN^{1.26323} \times H^{1.235934}$
<i>Pinus douglasiana</i> ²	$Ba = (0.01753 \times DN^{1.8261} \times H^{1.28397}) + (0.02898 \times DN^{2.08978}) + (0.00948 \times DN^{2.7493}) + (0.04163 \times DN^{1.93601})$
<i>Pinus patula</i> ³	$Ba = \exp(-4.554805) \times (DN^2 H)^{1.047218}$
<i>Pinus pseudostrobus</i> ⁴	$Ba = 2.0639 \times DN^{1.6915} \times H^{0.1153}$
<i>Quercus crassifolia</i> ²	$Ba = 0.283 \times (DN^2 \times H^{0.807}) + (0.00305 \times DN^2 H) +$

*Quercus elliptica*⁵

$$(0.01113 \times DN^2 H) + (0.00165 \times DN^2 H)$$

$$Ba = (1.44 \times DN^{1.05} \times H^{1.19}) + (0.73 \times DN^{1.50} \times H^{0.03}) + (0.23 \times DN^{2.05} \times H^{-0.48})$$

*Quercus laurina*⁶

$$Ba = \exp[-4.3375 + 1.0760 \ln(DN^2 \times H)]$$

*Quercus rugosa*²

$$Ba = (0.01988 \times DN^{2.28684} \times H^{0.52175}) + (0.05621 \times DN^{2.0764}) + (0.11276 \times DN^{1.52164} \times H^{0.53343}) + (0.0377 \times DN^{1.42193} \times H^{0.70675})$$

*Alnus acuminata*⁷

$$Ba = \exp[-2.62104 + 2.51636 \times \ln(DN)]$$

Otros encinos²

$$Ba = (0.11618 \times DN^{1.77395} \times H^{0.68708}) + (0.00827 \times DN^{2.54589}) + (0.0502 \times DN^{1.97638} \times H^{0.34229}) + (0.08234 \times DN^{1.59396})$$

(*Quercus laeta* y *Quercus scytophylla*)

Otras hojosas³ (*Alnus*

$$Ba = (\exp[-4.196867] \times Dn^2 AT^{0.988965}) + (\exp[-6.63739] \times Dn^2 AT^{1.28846}) + (\exp[-2.437957] \times Dn^2 AT^{0.57486})$$

firmitolia, *Arbutus*

xalapensis,

Cercocarpus

macrophyllus, *Clethra*

mexicana, *Prunus*

capuli,

Chiranthodendron

pentadactylon y

Guazuma ulmifolia)

Ba=biomasa aérea (kg), Dn=diámetro normal, AT=altura total (m), Exp = base de los logaritmos neperianos. Ecuaciones alométricas desarrolladas por: ¹Chávez-Pascual *et al.* (2017), ²Vargas-Larreta *et al.* (2017), ³Soriano-Luna *et al.* (2015), ⁴Vásquez-Fabián *et al.* (2017), ⁵García-Aguilar *et al.* (2015), ⁶Ruiz-Aquino *et al.* (2014), ⁷Fonseca *et al.* (2013).

Estimadores muestrales

Para determinar la acumulación de biomasa aérea en el predio particular se utilizaron los estimadores del muestreo simple al azar (Fierros-Mateo *et al.*, 2018; Tamarit-Urias *et al.*, 2021), los cuales se obtiene con las siguientes expresiones matemáticas:

a) Media

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$$

b) Varianza muestral

$$S_y^2 = \sum_{i=1}^n y_i^2 - \frac{\left(\frac{y_i - \bar{y}}{n}\right)^2}{n} - 1$$

c) Varianza de la media



$$S_{\bar{y}}^2 = \frac{S^2}{n} \times \left(\frac{N-n}{N} \right)$$

d) Intervalos de confianza

$$IC = \bar{y} \pm t_{n,gl} \times \sqrt{S_{\bar{y}}^2}$$

e) Precisión de la media o error de muestreo

$$P = \frac{t_{n,gl} \sqrt{S_y^2}}{\bar{y}} \times 100$$

donde

y_i = biomasa aérea (Mg ha^{-1}) en el i -ésimo sitio de muestreo.

$\bar{y}$ = media muestral de la biomasa aérea (Mg ha^{-1}).

N = número de total de sitios de muestreo en la población.

n = número de sitios incluidos en la muestra.

gl = grados de libertad que corresponde al número de sitios de muestreo.

t = es la distribución t de Student.

En tanto, el inventario de biomasa aérea se obtuvo con la siguiente formula:

$$\hat{y} = N \times \bar{y}$$

donde

$\hat{y}$ = inventario total de la biomasa aérea (Mg ha^{-1}).

N = número de total de sitios de muestreo en la población.

$\bar{y}$ = media muestral de la biomasa aérea (Mg ha^{-1}).

La base de datos fue procesada en el software Microsoft Excel ® versión 2023.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

especies registradas

En el bosque bajo estudio se registraron 18 especies, pertenecientes a nueve géneros y siete familias. Las familias presentes en la vegetación arbórea fueron *Pinaceae*, *Fagaceae*, *Betulaceae*, *Rosaceae*, *Malvaceae* y *Clethraceae* (Tabla 3). Las familias *Pinaceae* y *Fagaceae* son las más representativas del lugar e incluyen a 10 especies, lo que contribuye 55 % de la vegetación encontrada en los 37 sitios de muestreo. Estos resultados coinciden con los

estudios realizados por Vásquez-Fabián *et al.* (2017) y Ruiz Martínez *et al.* (2022) quienes documentaron el registro de las familias de *Pinaceae* y *Fagaceae*, así como los géneros de *Pinus* y *Quercus* como los más representativos de la vegetación arbórea de la región fisiográfica de la Sierra Sur de Oaxaca.

Tabla 2. Nombre científico y familia de las especies registradas en el bosque de clima templado del predio particular Rancho Encino en San José del Pacífico, Oaxaca, México.

Nombre científico	Familia
<i>Pinus douglasiana</i> Martínez	Pinaceae
<i>Pinus oaxacana</i> Mirov.	
<i>Pinus patula</i> Schl. et Cham.	
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl	
<i>Quercus crassifolia</i> Bonpl.	
<i>Quercus elliptica</i> Née	Fagaceae
<i>Quercus laeta</i> Liebm.	
<i>Quercus rugosa</i> Née	
<i>Quercus scytophylla</i> Liebm.	
<i>Quercus laurina</i> Bonpl.	
<i>Alnus acuminata</i> Kunth	Betulaceae
<i>Alnus firmifolia</i> Fernald	
<i>Cercocarpus macrophyllus</i> C.K. Schneid.	Rosaceae
<i>Prunus capuli</i> Cav.	
<i>Chiranthodendron pentadactylon</i> Larreat.	Malvaceae
<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	Clethraceae
<i>Clethra mexicana</i> DC.	
<i>Arbutus xalapensis</i>	

El bosque natural estudiado presentó un total de 405 individuos ha^{-1} . Las especies *P. douglasiana*, *Q. laurina*, *P. patula* y *Alnus acuminata* fueron las especies con mayor abundancia con 105 (25.8 %), 74 (18.2 %), 38 (9.5 %) y 30 (7.5 %) árboles ha^{-1} , respectivamente (Figura 2).

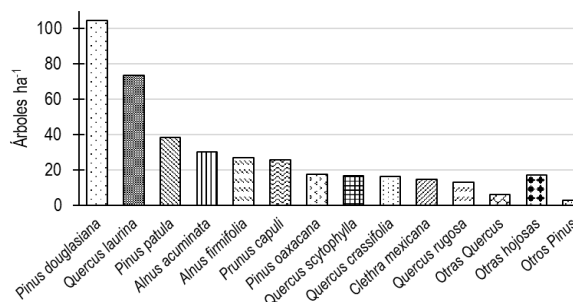


Figura 2. Número de individuos por especie en el bosque de clima templado del predio particular Rancho Encino en San José del Pacífico, Oaxaca, México.



En tanto, las especies con menor cantidad de individuos fue *C. pentadactylon* con 4 árboles ha^{-1} , seguida de *P. pseudostrobus* con 3 árboles ha^{-1} y *C. macrophyllus*, *Q. elliptica* y *G. ulmifolia* que solo registraron un árbol por hectárea.

La densidad encontrada es superior al reportado en un bosque de pino-encino de la Sierra Madre del Sur en el estado de Guerrero con 254 individuos ha^{-1} y como especies dominantes al *P. oocarpa*, *P. maximinoi* y *Q. crassifolia* (Méndez-Osorio *et al.*, 2018). Estas diferencias encontradas en la cantidad de individuos se atribuyen al estado de conservación y desarrollo de la vegetación, ya que en bosques con poca perturbación antropogénica es posible encontrar un mayor número de individuos y una mayor diversidad de especies como es el caso de este estudio.

Biomasa forestal

El parámetro de la media de la biomasa aérea calculada con muestreo simple al azar fue de 426.2 Mg ha^{-1} con un límite superior de 480.9 y un límite inferior 371.4 Mg ha^{-1} . La precisión obtenida con el muestreo simple al azar fue menor al 10 % (Tabla 3).

Tabla 3. Estimadores de muestreo simple al azar para la biomasa aérea estimada del bosque de clima templado del predio particular Rancho Encino en San José del Pacífico, Oaxaca, México.

Parámetro	Biomasa aérea (Mg ha^{-1})
Media	426.22
L.S. (95 %)	480.998
L.I. (95 %)	371.45
P (%)	9.62

L. S. es el límite superior; L. I. es el límite inferior; P (%) es la precisión.

El valor de inventario para biomasa área en el predio bajo estudio es de 298353.79 Mg para las 70 ha (Tabla 4).

Tabla 4. Inventario de biomasa aérea en el predio particular Rancho Encino de San José del Pacífico, Oaxaca, México.

Estimador	Biomasa aérea (Mg) en 70 ha
Inventario	298353.79
L.S. (95 %)	336694.37
L.I. (95 %)	260013.21

L. S. es el límite superior; L. I. es el límite inferior.

La especie con mayor cantidad de biomasa acumulada en la vegetación natural fue *P. douglasiana* con 293.8 Mg ha^{-1} , seguida por *P. patula* con 54.8 Mg ha^{-1} , *Q. laurina* con 16.7 Mg ha^{-1} y *P. oaxacana* con 15.7 Mg ha^{-1} . En tanto, las especies agrupadas en otros encinos y otras hojosas, por ejemplo, *C. mexicana*, *Q. scytophylla*, *Q. laeta* y *Q. elliptica* presentaron valores menores a 1 Mg ha^{-1} en la biomasa aérea almacenada (Figura 3).

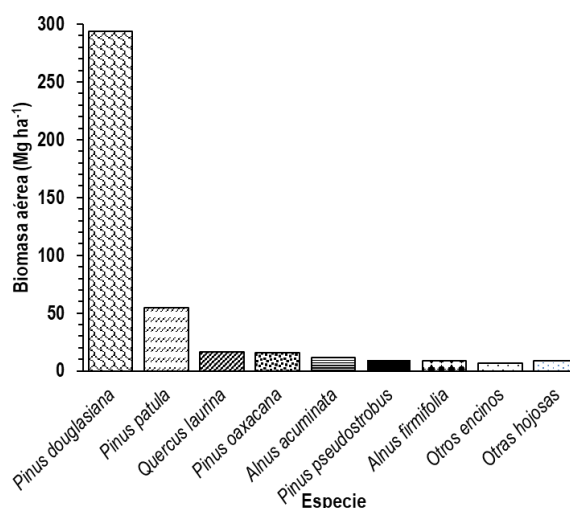


Figura 3. Biomasa área acumulada por especie (Mg ha^{-1}) en el predio particular Rancho Encino en San José del Pacífico, Oaxaca, México.

La cantidad de biomasa aérea estimada en este estudio (426.22 Mg ha^{-1}) se encuentra dentro de los intervalos reportados en la literatura nacional para los bosques de pino en clima templado, tal es el caso de del trabajo realizado en la Sierra Norte de Oaxaca donde Álvarez-Arteaga *et al.* (2013) calculó un valor de 413 Mg ha^{-1} en el bosque montano de niebla de Santa Cruz Tepetotutla y Cortés-Pérez *et al.* (2021) en un bosque sin manejo de Santiago Xiacuí con 461.2 Mg ha^{-1} . Por el contrario, esta acumulación de biomasa es alta en contraste con los 130.28 Mg ha^{-1} estimados en un bosque de clima templado-frío del Ejido La Victoria de la Sierra Madre Occidental en Durango (Graciano-Ávila *et al.*, 2019) y a los obtenidos por Rodríguez-Larramendi *et al.* (2016) en un bosque de pino con un valor de 158 Mg ha^{-1} y en un bosque de encino con 117 Mg ha^{-1} en Chiapas, México. Las diferencias encontradas entre las cantidades de biomasa almacenada se atribuyen a los factores topográficos, por ejemplo, la altitud y pendiente que influyen en la estructura, diversidad y funciones del bosque (Sanaei *et al.*, 2021). Estos

factores topográficos pueden crear una heterogeneidad micro ambiental en la disponibilidad de recursos como la luz, agua y nutrientes en el suelo, y en consecuencia inciden en la acumulación de biomasa aérea forestal (Jucker *et al.*, 2018). La información presentada en este estudio puede ser utilizada para proponer prácticas de manejo sustentable y estrategias de conservación del predio, así como establecer una línea base para participar en el pago de bonos de carbono.

CONCLUSIONES

Las especies de las familias Pinaceae, Fagaceae y Malvaceae son las más frecuentes y abundantes en el bosque de pino-encino de la Sierra Sur de Oaxaca. *P. douglasiana*, *P. patula* y *Q. laurina* son las especies que acumulan mayor cantidad biomasa forestal. Los estimadores de muestreo simple azar son confiables para calcular la biomasa a nivel de hectárea y total del bosque. La biomasa almacenada en las especies arbóreas del área de estudio es alta en comparación con lo registrado en otras zonas de México, lo que sugiere que esta región tiene un alto potencial de producción de biomasa y captura de carbono.

LITERATURA CITADA

- Aguirre, A., del Río, M., Ruiz-Peinado, R., and Condés, S. 2021. Stand-level biomass models for predicting C stock for the main Spanish pine species. *Forest Ecosystems*, 8(1), 29.
- Álvarez-Arteaga, G., García Calderón, N. E., Krasilnikov, P., y García-Oliva, F. 2013. Almacenes de carbono en bosques montanos de niebla de la Sierra Norte de Oaxaca, México. *Agrociencia*, 47(2), 171-180.
- Álvarez-Arteaga, G., García Calderón, N. E., Krasilnikov, P., y García-Oliva, F. 2013. Almacenes de carbono en bosques montanos de niebla de la Sierra Norte de Oaxaca, México. *Agrociencia*, 47(2), 171-180.
- Ameztegui, A., Rodríguez, M., and Granda, V. 2022. Uncertainty of biomass stocks in Spanish forests: a comprehensive comparison of allometric equations. *European Journal of Forest Research*, 141(3), 395-407.
- Breidenich, C., Magraw, D., Rowley, A., & Rubin, J. W. 1998. The Kyoto protocol to the United Nations framework convention on climate change. *American Journal of International Law*, 92(2), 315-331.
- Brown, S., Gillespie, A. J., and Lugo, A. E. 1989. Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. *Forest Science*, 35(4), 881-902.
- Castillo González, C. F., Arango Canseco, L. L., Vásquez Pacheco, E., Barragán Mendoza, M., Morales Cruz, J., y Celis Mendoza, D. 2016. Estudio de cuenca de abasto: caracterización y estrategias de desarrollo industrial forestal maderable de la Cuenca Sierra Sur Miahuatlán-Oeste del estado de Oaxaca. Semarnat-Conafor.
- Chávez-Aguilar, G., Ángeles-Pérez, G., Pérez-Suárez, M., López-López, M. Á., García-Moya, E., and Wayson, C. 2016. Distribución de biomasa aérea en un bosque de *Pinus patula* bajo gestión forestal en Zacualtipán, Hidalgo, México. *Madera y bosques*, 22(3), 23-36.
- Chávez-Pascual, E. Y., Rodríguez-Ortiz, G., Enríquez-del Valle, J. R., Velasco-Velasco, V. A., y Gómez-Cárdenas, M. 2017. Compartimentos de biomasa aérea en rodales de *Pinus* oaxacana bajo tratamientos silvícolas. *Madera y Bosques*, 23(3), 147-161.
- Cortés-Pérez, M., León-González, F. D., Paz-Pellat, F., Leyva-Pablo, T., Santiago-García, W., Ponce-Mendoza, A., y Fuentes-Ponce, M. 2021. Almacenamiento de carbono aéreo en un bosque templado de Oaxaca: manejo de alta y baja intensidad. *Madera y Bosques*, 27(SPE).
- Fierros-Mateo, R., Santos-Posadas, H. M. D. L., Fierros-González, A. M., Cruz-Cobos, F., Martínez Ángel, L., Velasco Bautista, E., y Quiñonez-Barraza, G. 2018. Estimadores de muestreo para inventario de plantaciones de *Pinus chiapensis* (Martínez) Andresen. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 9(47), 131-150.
- Fonseca, W., Ruiz, L., Rojas, M., and Alice, F. 2013. Modelos alométricos para la estimación de biomasa y carbono en *Alnus acuminata*. *Revista de Ciencias Ambientales*, 46(1), 37-50.



- García-Aguilar, J. Á., Rodríguez-Ortiz, G., & Martínez-de la Cruz, J. (2015). Influencia de variables fisiográficas en la productividad de biomasa aérea en bosques mixtos. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 2(2).
- Graciano-Ávila, G., Alanís-Rodríguez, E., Aguirre-Calderón, O. A., González-Tagle, M. A., Treviño-Garza, E. J., Mora-Olivo, A., & Buendía-Rodríguez, E. 2019. Estimación de volumen, biomasa y contenido de carbono en un bosque de clima templado-frío de Durango, México. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 42(2), 119-127.
- Hernández-Moreno, J. A., Velázquez-Martínez, A., Fierros-González, A. M., Gómez-Guerrero, A., Reyes-Hernández, V. J., y Vera-Castillo, J. A. G. 2020. Estimación de biomasa aérea y carbono, en rodales con y sin manejo forestal en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca. *Madera y Bosques*, 26(1).
- INEGI. 2010. Compendio de Información Geográfica Municipal de lo Estados Unidos Mexicanos San Mateo Río Hondo, Oaxaca clave geoestadística 20254. https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/20/20254.pdf (Consulta: octubre de 2023)
- Jucker, T., Bongalov, B., Burslem, D. F., Nilus, R., Dalponte, M., Lewis, S. L., Oliver L. P., Lan Q., and Coomes, D. A. (2018). Topography shapes the structure, composition and function of tropical forest landscapes. *Ecology letters*, 21(7), 989-1000.
- Lan, X., Tans, P. and K.W. 2023. Thoning: Trends in globally-averaged CO2 determined from NOAA Global Monitoring Laboratory measurements. Version 2023-10 <https://doi.org/10.15138/9N0H-ZH07>
- Méndez Osorio, C., Mora Donjuán, C. A., Alanís Rodríguez, E., Jiménez Pérez, J., Aguirre Calderón, O. A., Treviño Garza, E. J., y Pequeño Ledezma, M. Á. 2018. Fitodiversidad y estructura de un bosque de pino-encino en la Sierra Madre del Sur, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(50), 35-53.
- Raihan, A. 2023. A review of the global climate change impacts, adaptation strategies, and mitigation options in the socio-economic and environmental sectors. *Journal of Environmental Science and Economics*, 2(3), 36-58.
- Rascón-Solano, J., Galván-Moreno, V. S., Aguirre-Calderón, O. A., and García-García, S. A. 2022. Caracterización estructural y carbono almacenado en un bosque templado frío censado en el noroeste de México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 13(70), 136-165.
- Rodríguez-Laguna, R., Jiménez-Pérez, J., Aguirre-Calderón, Ó. A., Treviño-Garza, E. J. and Razo-Zárate, R. 2009. Estimación de carbono almacenado en el bosque de pino-encino en la Reserva de la Biosfera El Cielo, Tamaulipas, México. *Ra Ximhai*, 5(3), 317-327.
- Rodríguez-Larramendi, L. A., Guevara-Hernández, F., Reyes-Muro, L., Ovando-Cruz, J., Nahed-Toral, J., Prado-López, M., y Campos Saldaña, R. A. 2016. Estimación de biomasa y carbono almacenado en bosques comunitarios de la región Frailesca de Chiapas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 7(37), 77-94.
- Ruiz Martínez, A., Maximino Carmona López, A. M., and Ramírez Sánchez, P. 2022. Forest management and knowledge of the ejidatarios of San Sebastián Río Hondo, Oaxaca 2022- 2022. *Textual*, 79, 229-256.
- Ruiz-Aquino, F., Valdez-Hernández, J. I., Manzano-Méndez, F., Rodríguez-Ortiz, G., Romero-Manzanares, A., & Fuentes-López, M. E. 2014. Ecuaciones de biomasa aérea para *Quercus laurina* y *Q. crassifolia* en Oaxaca. *Madera y Bosques*, 20(2), 33-48.
- Sanaei, A., Ali, A., Yuan, Z., Liu, S., Lin, F., Fang, S., and Wang, X. (2021). Context-dependency of tree species diversity, trait composition and stand structural attributes regulate temperate forest multifunctionality. *Science of The Total Environment*, 757, 143724.
- Shahbazi, A., and Nasab, B. R. 2016. Carbon capture and storage (CCS) and its impacts on climate change and global warming. *J. Pet. Environ. Biotechnol*, 7(9).
- Soriano-Luna, M. D. L. Á., G. Ángeles-Pérez, T. Martínez-Trinidad, F. O. Plascencia-Escalante y R. Razo-Zárate. 2015. Estimación de biomasa aérea por componente estructural en Zacualtipán,

- Hidalgo, México. *Agrociencia*, 49(4), 423-438.
- Tamarit-Urias, J. C., Santos-Posadas, H. M. D. L., Aldrete, A., Valdez-Lazalde, J. R., Ramírez-Maldonado, H., y Guerra-de la Cruz, V. 2021. Estrategia de muestreo óptima para la planeación del inventario maderable en plantaciones comerciales de *Tectona grandis* Lf. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 12(68), 58-80.
- Vargas-Larreta, B., López-Sánchez, C. A., Corral-Rivas, J. J., López-Martínez, J. O., Aguirre-Calderón, C. G., and Álvarez-González, J. G. 2017. Allometric equations for estimating biomass and carbon stocks in the temperate forests of North-Western Mexico. *Forests*, 8(8), 269.
- Vázquez-Fabián, S. A., Ortiz, G. R., del Valle, J. R. E., Ángeles, G. V. C., y Flores, A. S. 2017. Volumen y biomasa aérea de *Pinus pseudostrobus* y *P. teocote* del sur de Oaxaca. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 4, 164-172