

Estimación de biomasa aérea total y contenido de carbono de *Pinus maximinoi* H. E. Moore en Las Margaritas, Chiapas, México

Estimation of Total Aerial Biomass and Carbon Content of *Pinus maximinoi* H. E. Moore in Las Margaritas, Chiapas, Mexico

Dorian de Jesús Pimienta-de la Torre, Jorge Reyes-Reyes,*
Juan Alberto Rodríguez-Morales y Pablo Marroquín-Morales

Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad Autónoma de Chiapas.
Entronque carretera costera y pueblo de Huehuetán, Chiapas, México.

*Correo de correspondencia: jorge.reyes@unach.mx

Resumen

Los estudios de carbono muestran claramente la capacidad de los bosques como sumideros de gases de efecto invernadero y contribuyen directamente en mitigar el cambio climático. Por lo anterior, el presente reporte de investigación tuvo como objetivo estimar la biomasa aérea total y el contenido de carbono en *Pinus maximinoi* H. E. Moore, ajustando ecuaciones alométricas a partir de los datos de un inventario forestal. La biomasa fue el producto del volumen de madera por la densidad básica promedio y la concentración de carbono. El modelo de Meyer modificada presentó coeficientes de determinación altamente confiables de 0.99, con muy bajo error estándar, demostrando alta correlación en la estimación de biomasa aérea total y contenido de carbono en los árboles de *P. maximinoi* H. E. Moore.

Palabras clave

coníferas, densidad básica, inventario forestal, modelos alométricos, volumen.

Abstract

Carbon studies clearly demonstrate the capacity of forests as sinks for greenhouse gases and directly contribute to mitigate climate change. Therefore, the present research report aimed to estimate the total aerial biomass and carbon content in *Pinus maximinoi* H. E. Moore, adjusting allometric equations from the data of a forest inventory. Biomass was the product of wood volume by average basic density and carbon concentration. The modified Meyer model showed highly reliable coefficients of determination of 0.99, with very low standard error, demonstrating high correlation in the estimation of total aerial biomass and carbon content in the trees of *P. maximinoi* H. E. Moore.

Keywords

coniferous, basic density, allometric models, forest inventory, volume.

Introducción

Las concentraciones atmosféricas mundiales de dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O), reportadas por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, 2007), se aceleraron por efecto de las actividades antropogénicas. Los gases de efecto invernadero (GEI) son los causantes del cambio climático (Aguirre-Calderón y Jiménez-Pérez, 2011), cuyas emisiones se derivan de la quema de combustibles fósiles, cambios de uso de suelo y particularmente de la deforestación, que a su vez afectan el clima del planeta (IPCC, 2001; Schlegel, 2001). La destrucción de los bosques del mundo, principalmente en los trópicos, libera aproximadamente dos mil millones de toneladas de carbono por año (Khatun *et al.*, 2013). En México, el sector energético contribuye con el mayor volumen de GEI, en 2010 con más de 67% del total (503.8 millones de toneladas de CO_2e); dentro de este sector, el consumo de combustibles fósiles es la principal fuente de emisiones con 56.2%, la agricultura con un 12.3%, los procesos industriales 8.2%, el cambio de uso del suelo y silvicultura 6.3% y las emisiones derivadas de los desechos con un 5.9% (SEMARNAT, 2013).

La evidencia de los impactos ambientales es más sólida y completa para los sistemas naturales (IPCC, 2014). Estos impactos afectan a la totalidad de medios de vida, por lo que los bosques son trascendentales en el ciclo de carbono, ya que lo almacenan en la vegetación y en el suelo, además de intercambiar carbono con la atmósfera a través de los procesos fotosintéticos y de respiración (Gasparri y Manghi, 2004). La vegetación tiene la capacidad de asimilar el carbono e incorporarlo a sus estructuras (tallos, ramas, hojas y raíces); es decir, lo fija y lo mantiene almacenado por largos periodos (Ordóñez y Maser, 2001). Por lo tanto, es necesario e importante que la estimación de la biomasa de un bosque sea lo más precisa posible, debido a que ésta permite determinar el carbono y otros elementos químicos existentes en cada componente (Brown *et al.*, 1996).

En la estimación de la biomasa se emplean diferentes métodos de cálculo, entre estos destacan los basados en modelos alométricos (De Jong *et al.*, 1995; Díaz *et al.*, 2007), los cuales se desarrollan a través de mediciones de árboles y toma de muestras que se relacionan estadísticamente con sus propiedades biofísicas, tales como el diámetro, la densidad de la madera, y la altura total (Basuki *et al.*, 2009); y aquellos para los que se generan factores de expansión (F_{Exp}), que expresan las relaciones entre las dimensiones del fuste y la cantidad de biomasa (Solano *et al.*, 2014; Domínguez-Cabrera *et al.*, 2009). Estos F_{Exp} se utilizan cuando no existe la información detallada o un inventario forestal con parámetros individuales de cada árbol.

Pinus maximinoi H. Moore es de gran importancia maderable en Chiapas por su madera liviana, fácil de preservar y útil en aserrío; es uno de los mejores pinos de rápido crecimiento en condiciones semitropicales, lo que favorece la absorción de CO_2 atmosférico. En este contexto y ante la necesidad de contar con métodos e instrumentos prácticos en el estado de Chiapas, México, el objetivo del presente trabajo fue estimar la biomasa total y el contenido de carbono en *P. maximinoi* H. E. Moore, ajustando ecuaciones alométricas a partir de los datos de un inventario forestal.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en el ejido San Antonio Monterrey, municipio de Las Margaritas, ubicado al noreste del estado de Chiapas, México. Geográficamente se localiza entre los paralelos 16° 13' 47" y 16° 13' 04" de latitud norte y los meridianos 91° 45' 30 " y 91° 45' 33" de longitud oeste (figura 1).

Figura 1
Ubicación geográfica del área de estudio



Orográficamente pertenece a la provincia fisiográfica de la sierra de Chiapas y Guatemala. El clima que predomina en el área de estudio es C (w2) (w) big., correspondiente al templado subhúmedo, con una precipitación media anual de 1,024 mm. Sus suelos dominantes son el litosol y vertisol pélico. El tipo de vegetación corresponde a bosque de coníferas, donde las principales especies son *Pinus douglasiana* Martínez, *P. oocarpa* Schiede, *P. maximinoi* H. E. Moore, *P. oaxacana* Mirov., *Quercus* sp. y *Liquidambar* sp.

P. maximinoi H. E. Moore se distribuye naturalmente desde el sureste de México, centro de Guatemala y Honduras, norte de El Salvador hasta el noroeste de Nicaragua; su rango altitudinal varía de 600 a 2,400 m, con precipitaciones de 1,000 a 2,400 mm (Narave y Taylor, 1997).

Obtención de datos

Mediante un muestreo sistemático se evaluaron ciento diez unidades de muestreo de forma circular de 1,000 m² en una superficie de 376 ha. Cabe señalar que *P. maximinoi* H. E. Moore no estaba presente en todas las unidades muestrales, por lo cual se obtuvo un

total de 481 árboles en la evaluación, siendo la especie de interés para este estudio. Se le midió el diámetro normal (1.30 m) con una forcípula y la altura total con un clinómetro Suunto® a todos los árboles presentes.

Obtención del volumen

Se emplea la tabla de volumen que se reporta en la *Memoria del inventario forestal* del estado de Chiapas (de 1985) para *P. maximinoi* H. E. Moore, dicha tabla se obtuvo del Programa de Manejo Forestal Maderable aplicada para el predio. La ecuación se expresa como:

$$V = e (a + b * \ln(dn) + c * \ln(ht))$$
$$V = e (-9.79893158 + 1.8754256 * \ln(dn) + 1.00591418 * \ln(ht))$$

Donde:

V = es el volumen m^3

e = exponente

\ln = logaritmo natural

dn = diámetro normal (1.30 m)

ht = altura total

a, b, c = coeficientes del modelo

Obtenido el volumen del fuste se estimó el volumen total, para ello se agregó 15% correspondiente a brazuelos, ramas, tocón, hojas y ramas menores de cinco cm de diámetro (Rodríguez-Laguna *et al.*, 2009). Esto considerando la distribución de productos aplicada para *P. maximinoi* H. E. Moore en los predios bajo manejo forestal maderable del estado de Chiapas.

Obtención de la biomasa y carbono

La biomasa de los fustes es el producto de su volumen por la densidad básica promedio de las especies en cuestión (Brown *et al.*, 1989). La biomasa total se obtuvo al multiplicar el volumen individual por la densidad básica promedio de la madera (0.410 gr/cm^3) de *P. maximinoi* H. E. Moore reportada por Sotomayor (2005). El producto se multiplicó por el factor de 0.50 que representa la concentración de carbono promedio para coníferas (Díaz *et al.*, 2007; Rodríguez-Larramendi *et al.*, 2016).

Modelos ajustados

Cinco modelos alométricos fueron ajustados (cuadro 1) mediante regresión lineal, con la finalidad de corroborar su eficiencia para predecir biomasa y carbono en *P. maximinoi* H. E. Moore. Estos modelos son utilizados en especies de coníferas por Salas *et al.* (2005) y Rodríguez-Laguna *et al.* (2009), quienes presentan excelentes ajustes en los criterios de bondad.

Los datos se analizaron con el paquete estadístico R Studio, y en la evaluación se seleccionó el modelo que presentó el mejor ajuste en los criterios de bondad, como el coeficiente de determinación (R^2) y error estándar (S_x).

Cuadro 1
Modelos para la estimación biomasa

Modelo	Ecuación
Variable combinada	$\beta = a + b dn^2ht$
Variable combinada generalizada	$\beta = a + b dn^2 + c ht + d dn^2ht$
Australiana	$\beta = a + b dn + c ht + d dn^2ht$
Naslund	$\beta = a + b dn^2ht + c ht + d dnht^2$
Meyer modificada	$\beta = a + b dn + c dnht + d dn^2ht$

Dónde:

β = biomasa

dn = diámetro normal (1.30 m)

ht = altura total

a, b, c, d = parámetros del modelo

Resultados

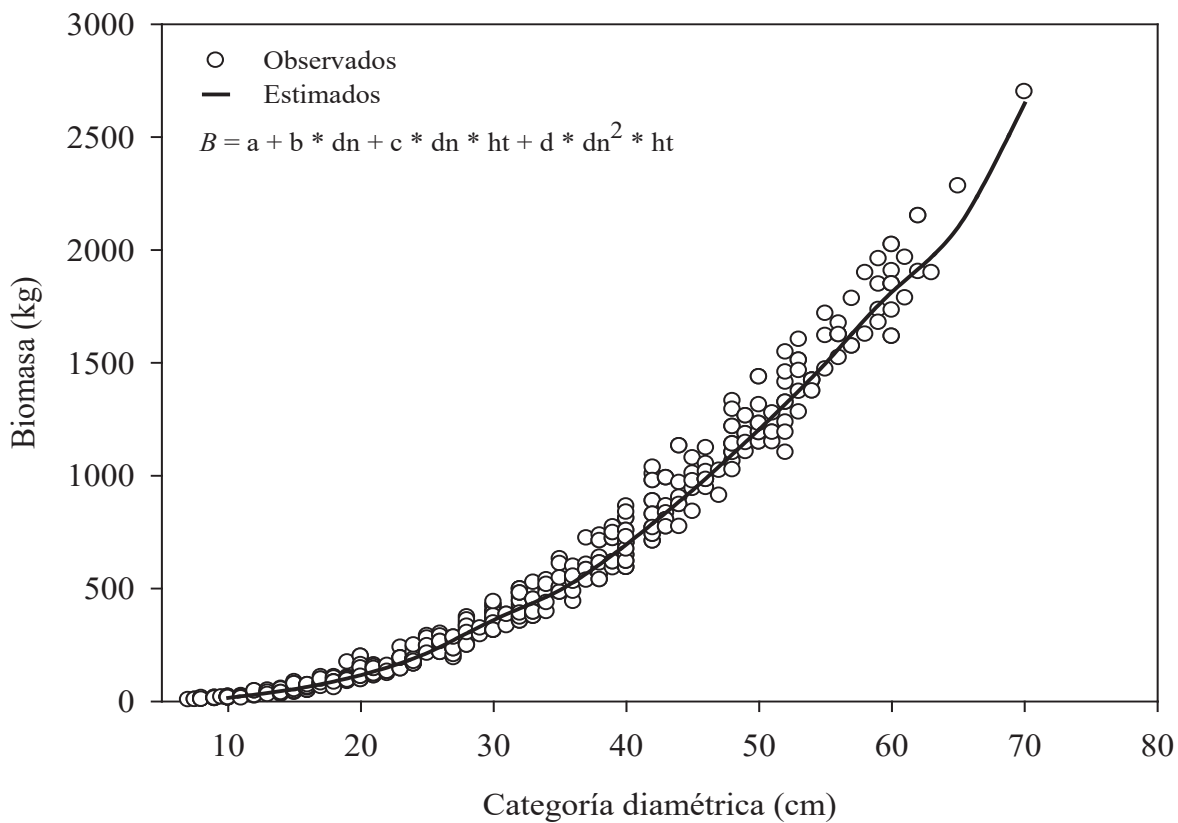
Los parámetros y estadísticos de las ecuaciones ajustadas para predecir la biomasa seca de *P. maximinoi* H. E. Moore se muestran en el cuadro 2, donde se muestra que el modelo para predecir la biomasa a partir del diámetro normal y la altura total fue de Meyer modificada; demostrando alta correlación al presentar un $R^2 = 0.99$ y el valor más bajo en el error estándar de 2.0 kg en relación a los otros modelos, lo anterior se corrobora con el ajuste gráfico de la ecuación (figura 2).

Cuadro 2
Parámetros de ajuste de los modelos usados para predecir biomasa seca de *P. maximinoi* H. E. Moore

Modelos	a	b	c	d	R^2	S_x
Variable combinada	19.21	0.016			0.99	12.4
Variable combinada generalizada	-24.15	0.018	2.580	0.015	0.99	5.0
Australiana	-28.04	0.959	1.982	0.015	0.99	4.6
Naslund	-18.37	0.015	2.393	0.000	0.99	5.5
Meyer modificada	-6.66	-0.007	0.104	0.014	0.99	2.0

Donde: a, b, c, d = parámetros del modelo R^2 = Coeficiente de determinación S_x = Error estándar.

Figura 2
Biomasa total observada y estimada de *P. maximinoi* H. E. Moore



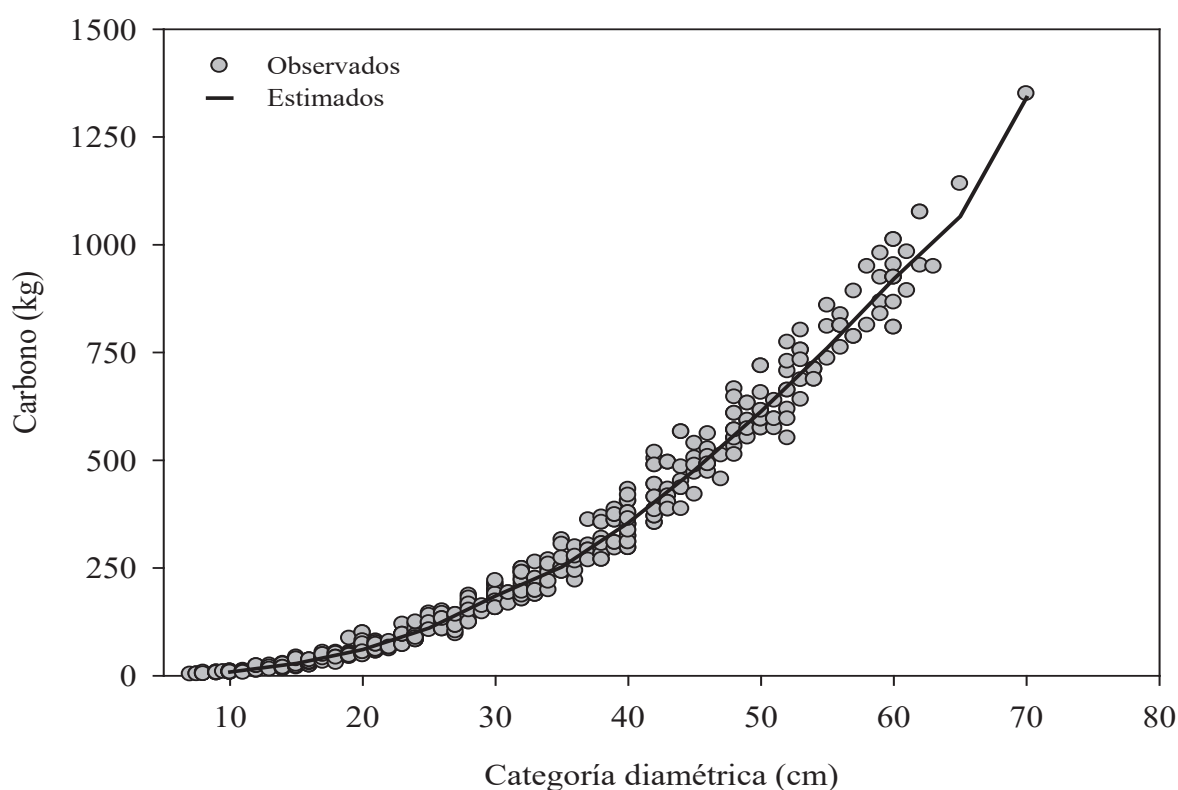
El valor de los criterios de bondad de ajuste de los modelos considerados para estimar el contenido de carbono de *P. maximinoi* H. E. Moore se muestra en el cuadro 3, en donde se observa que el modelo de Meyer modificada fue el que explicó en mayor magnitud el contenido de carbono. Se puede afirmar que el ajuste es bueno, ya que 99% de la variabilidad de la variable es explicado, además presentó un bajo error estándar de 1.0 kg, lo que se corrobora en el ajuste gráfico de la ecuación (figura 3).

Cuadro 3
Parámetros de ajuste de los modelos usados para predecir el carbono de *P. maximinoi* H. E. Moore

Modelos	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	R ²	S _x
Variable combinada	9.607	0.008			0.99	6.2
Variable combinada generalizada	-12.070	0.009	1.290	0.007	0.99	2.5
Australiana	-14.020	0.479	0.990	0.008	0.99	2.3
Naslund	-9.184	0.008	1.196	0.000	0.99	2.8
Meyer modificada	-3.329	-0.004	0.059	0.007	0.99	1.0

Donde: *a, b, c, d* = parámetros del modelo R² = Coeficiente de determinación S_x = Error estándar.

Figura 3
Carbono observado y estimado de *P. maximinoi* H. E. Moore



Con el modelo ajustado se construyó la tarifa para estimar la biomasa y el contenido de carbono (cuadro 4). En ella se observa la tendencia en el incremento a mayor categoría diamétrica.

Cuadro 4
Tarifa para la estimación de biomasa y contenido de carbono de *P. maximinoi* H. E. Moore.

Categoría diamétrica (cm)	Altura total (m)	Meyer modificada	
		Biomasa (kg)	Carbono (kg)
10	9.32	16.01	8.65
15	13.01	54.51	28.62
20	16.08	116.70	60.59
25	19.51	214.61	110.70
30	23.38	360.67	185.23
35	24.05	493.10	252.42
40	26.45	695.57	355.17
45	28.56	936.36	477.16

50	30.16	1,205.42	613.24
55	31.30	1,497.55	760.80
60	32.15	1,813.90	920.42
65	32.00	2,102.01	1,065.53
70	35.00	2,648.65	1,341.44

Discusión

El modelo de Meyer modificada presentó el mejor ajuste, demostrando alta correlación y arrojando el valor más bajo en el error estándar. Asimismo, el valor de biomasa estimado en este trabajo para la categoría diamétrica de 20 centímetros fue de 116.70 kg, esto se asemeja a lo encontrado por Díaz *et al.* (2007), quienes reportan 113.38 kg de biomasa en un bosque de *P. patula* empleando un método destructivo. Por otro lado, Aguirre-Calderón y Jiménez-Pérez (2011), reportan para la misma categoría diamétrica un peso de 140.72 a 160.78 kg en biomasa para *P. pseudostrobus* y *P. teocote* en bosques del sur de Nuevo León, mediante el derribo de árboles. Méndez-González *et al.* (2011) reportan para *P. devoniana* y *P. pseudostrobus* una biomasa de 59.9 y 81.2 kg para la categoría diamétrica de 20 centímetros en una plantación mixta de 12 años, mediante el método de análisis troncal. Aunque estas coníferas se clasifican como madera de densidad media, cada especie tiene un valor que va en un rango de 0.401 a 0.600 gr/cm³, influyendo en la estimación de biomasa y carbono. Esto concuerda con Ordóñez *et al.* (2015), quienes mencionan que la densidad de la madera adquiere relevancia en la conversión del volumen de las existencias reales (m³) a biomasa y en particular para la estimación del contenido, captura o secuestro de carbono.

Se puede afirmar que el modelo de Meyer modificada presenta buen ajuste y alta confiabilidad para describir la relación que existe entre estas variables, tomando en cuenta el valor del coeficiente de determinación y el error estándar; sin embargo, el coeficiente de determinación no debe ser el principal criterio para definir si un modelo es adecuado, ya que no indica si el ajuste realizado es sensible en términos de coherencia biológica. Por lo tanto, altos valores en el coeficiente de determinación pueden ser observados en modelos con limitada capacidad de predicción. Esto concuerda con Mares *et al.* (2004), quienes mencionan que Franco (en comunicación personal) señala que un buen ajuste no necesariamente indica que el modelo representa la forma general de la relación entre variables. Por lo anterior, debe corroborarse siempre el ajuste gráfico de la ecuación. Tomado en cuenta lo anterior, los cinco modelos presentaron altos coeficientes de determinación, pero con variación en el error estándar; sin embargo, el modelo de la variable combinada sobreestima la biomasa total y el resto de modelos subestiman la biomasa en las primeras categorías diamétricas, siendo el modelo de Meyer modificada el que representa mejor el incremento de biomasa total en los árboles de *P. maximinoi* H. E. Moore. Esta sub y sobreestimación se deben a que en estas primeras categorías diamétricas no se tiene suficientes muestras.

Los modelos ajustados para la estimación del contenido de carbono presentaron la misma tendencia de ajuste para biomasa; esto debido a la relación directa que existe entre la biomasa, el contenido de carbono y el diámetro normal (Acosta *et al.*, 2011). Los cinco modelos ajustados mostraron coeficientes de determinación altos, y cuatro de ellos presentaron mínima variación en su error estándar. Por lo cual, cualquiera de estos cuatro modelos puede describir los perfiles de contenido de carbono de *P. maximinoi* H. E. Moore; sin embargo, se prefirió el modelo de Meyer modificada, el cual presentó el error estándar más bajo. Cabe señalar que el contenido de carbono de los cuatro modelos se homogeniza en las categorías diamétricas mayores de 15 cm. El aumento del contenido de carbono en la biomasa obedece a los incrementos en diámetro, lo cual se debe a la eficiencia en el proceso de la fotosíntesis, ya que durante este proceso el CO₂ se transfiere de la atmósfera al tejido vegetal: follaje, ramas, raíces y tronco (Pacheco *et al.*, 2007). De aquí la importancia de estimar el contenido de carbono de las especies forestales, ya que los árboles asimilan y almacenan grandes cantidades de carbono durante toda su vida; sin embargo, al disminuir la superficie de bosques se pierde el CO₂ retenido y se restringe la capacidad de absorber más carbono. Esto concuerda con Roxburgh *et al.* (2006), quienes demostraron que los bosques templados bajo manejo tienen el potencial para almacenar cantidades significativas de carbono, con acumulación de biomasa hasta de 60% aproximadamente.

En general, las ecuaciones para estimar el contenido de carbono presentaron un comportamiento muy semejante en términos de calidad de ajuste de los datos con coeficientes de determinación cercanos a 1, lo que significa un ajuste casi perfecto. En concreto, 99% de la variabilidad es explicada por el modelo de regresión ajustado.

Conclusiones

El modelo de Meyer modificada es adecuado para describir la relación directa que existe entre la biomasa, el contenido de carbono, el diámetro normal y la altura de *P. maximinoi* H. E. Moore.

Las ecuaciones ajustadas para determinar la biomasa y contenido de carbono de *P. maximinoi* H. E. Moore pueden ser validadas en áreas similares en el estado de Chiapas, ajustando los datos dasométricos del sitio.

Ante la necesidad de contar con métodos e instrumentos prácticos, la metodología aplicada es una buena opción en la evaluación de la biomasa total y el contenido de carbono en ecosistemas forestales, sin recurrir al método destructivo de los árboles.

Literatura citada

- Acosta, M. M.; Carrillo, F. y Gómez, R. G. (2011). Estimación de biomasa y carbono en dos especies de bosque mesófilo de montaña. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2(4): 529-543.
- Aguirre-Calderón, C. O. y Jiménez-Pérez, J. (2011). Evaluación del contenido de carbono en bosques del sur de Nuevo León. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 2(6): 73-84.
- Basuki, T. M.; Van Laake, P. E.; Skidmore, A. K., and Hussin, Y. A. (2009). Allometric Equations for Estimating the Above-Ground Biomass in Tropical Lowland Dipterocarp Forests. *Forest Ecology and Management*, 257: 1684-1694.

- Brown, S.; Sathaye, J.; Cannell, M., and Kauppi, P. (1996). Mitigation of Carbon Emission to the Atmosphere by Forest Management. *Commonwealth Forestry Review*, 75(1): 80-91.
- Brown, S.; Gillespe, J. R., and Lugo, A. E. (1989). Biomass Estimation for Tropical Forest with Applications to Forest Inventory Data. *Forest Science*, 35(4): 881-902.
- De Jong, B.H.; Montoya, G. G.; Nelson, L. K.; Soto, P., and Tipper, R. (1995). Community Forest Management and Carbon Sequestration. A Feasibility Study from Chiapas, México. *Interciencia*, 20(6): 409-416.
- Díaz, F. R.; Acosta, M. M.; Carrillo, A. F.; Buendía, R. E.; Flores, A. E., and Etchevers, B. J. (2007). Determinación de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Pinus patula* Schl. et Cham. *Madera y Bosques*, 13(1): 25-34.
- Domínguez-Cabrera, G.; Aguirre-Calderón, O. A.; Jiménez-Pérez, J.; Rodríguez-Laguna, R. y Díaz-Balderas, J. A. (2009). Biomasa aérea y factores de expansión de especies arbóreas en bosques del sur de Nuevo León. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 15(1): 59-64.
- Gasparri, I. y Manghi, E. (2004). *Estimación de volumen, biomasa y contenido de carbono de las regiones forestales argentinas*. <http://ambiente.gob.ar/wp-content/uploads/Deforestacion-Estimacion-de-volumen-biomasa-carbono-de-las-regiones-forestales-Inf.Final-2004.pdf>. (Consultado 10 de sep. 2018).
- Khatun, K.; Imbach, P., and Zamora, J. C. (2013). The Implications of Climate Change Impacts on Conservation Strategies for Central America Using the Holdridge Life Zone (HLZ) Land Classification. *iForest*, 6: 183-189.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2001). *Third Assessment Report-Climate Change, the Scientific Basis: Summary for Policymakers*. A Report of Working Group I of the Intergovernmental Panel on Climate Change. https://www.ipcc.ch/ipccreports/tar/wg1/pdf/WGI_TAR_full_report.pdf. (Consultado 15 de sep. 2018).
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2007). *Cambio climático 2007: Informe de síntesis*. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_sp.pdf. (Consultado 10 de sep. 2018).
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2014). *Impactos, adaptación y vulnerabilidad*. Resumen para responsables de políticas. Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Consultado 10 de sep. 2017. https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/ar5_wgII_spm_es.pdf. (Consultado 10 de sep. 2017).
- Mares, A. O.; Cornejo, O. E. H.; Valencia, M. S. y Flores, L. C. (2004). Índice de sitio para *Pinus herrerae* Martínez en Cd. Hidalgo, Michoacán. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 27(1):77-80.
- Méndez-González, J.; Luckie-Navarrete, L.; Capó-Arteaga, M. A. y Nájera-Luna, A. (2011). Ecuaciones alométricas y estimación de incrementos en biomasa aérea y carbono en una plantación mixta de *Pinus devoniana* lindl. y *Pinus pseudostrobus* lindl., en Guanajuato, México. *Agrociencia*, 45(4): 479-491.
- Narave, F. H. y Taylor, K. (1997). *Flora de Veracruz. Pinaceae*. Instituto de Ecología, A. C. y University of California. <http://www1.incol.edu.mx/publicaciones/resumeness/FLOVER/98-Narave.pdf>. (Consultado 10 de sep. 2018).
- Ordóñez, D. J. A.; Galicia, N. A.; Venegas, M. N. T.; Hernández, T. T.; Ordoñez, D. M. J. y 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.
- Ordóñez, J. A. B. y Maser, O. (2001). Captura de carbono ante el cambio climático. *Madera y Bosques* 7(1): 3-12.
- Pacheco, E. F. C.; Aldrete, A.; Gómez, G. A.; Fierros, G. A. M.; Cetina, A. V. M. y Vaquera, H. H. (2007). Almacenamiento de carbono en la biomasa aérea de una plantación joven de *Pinus greggii* Engelm. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 30(3): 251-254.
- Rodríguez-Laguna, R.; Jiménez-Pérez, J.; Aguirre-Calderón, O. A.; Treviño-Garza, E. J. y Razo-Zárate, R. (2009). Estimación de carbono almacenado en el bosque de pino-encino en la Reserva de la Biósfera El Cielo, Tamaulipas, México. *Revista 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, S. 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.
- Roxburgh, S. H.; Wood, S. W.; Mackey, B. G.; Woldendorp, G., and Gibbons, P. (2006). Assessing the Carbon Sequestration Potential of Managed Forests: A Case Study from Temperate Australia. *Journal of Applied Ecology*, 43: 1149-1159.
- Salas, C.; Nieto, L. y Irisarri, A. (2005). Modelos de volumen para *Pinus pinaster* Ait. en la Comarca del Baixo Miño, Galicia España. *Quebracho*, 12: 11-22.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2013). *Cambio climático*. http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_resumen14/05_atmosfera/5_2_2.html. (Consultado 10 de sep. 2018).
- Solano, D.; Vega, C.; Eras, H. y Cueva, K. (2014). Generación de modelos alométricos para determinar biomasa aérea a nivel de especies, mediante el método destructivo de baja intensidad para el estrato de bosque seco pluviestacional del Ecuador. *Revista CEDEMAZ*, 4(1): 32-44.
- Sotomayor, C. J. R. (2005). Características mecánicas y clasificación de la madera de 150 especies mexicanas. Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología de la Madera. *Investigación e Ingeniería de la Madera*, 1(1): 3-20.
- Schlegel, B. (2001). *Estimación de biomasa y carbono en bosques del tipo forestal siempre verde*. Simposio internacional, medición y monitoreo de la captura de carbono en ecosistemas forestales. https://www.uach.cl/procarbono/pdf/simposio_carbono/45_schlegel.pdf. (Consultado 10 de sep. 2018).

Recepción: 20 de febrero de 2018

Envío arbitraje: 10 de junio de 2018

Dictamen: 4 de noviembre de 2019

Aceptado: 19 de noviembre de 2019