



DOI: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i60.726>

Artículo

Ecuaciones alométricas para estimar carbono en brinzales de *Pinus hartwegii* Lindl.

Allometric equations to estimate carbon in seedlings of *Pinus hartwegii* Lindl.

José Efraín Martínez Luna¹, Fernando Carrillo Anzures², Miguel Acosta Mireles^{2*},
Martin Enrique Romero Sánchez³ y Ramiro Pérez Miranda³

Abstract

High mountain forests provide essential ecosystem services, the most important of which is the storage of carbon dioxide (CO₂), one of the leading greenhouse gases (GHG) which cause global warming. Quantifying CO₂ in this kind of ecosystems would help to understand how they work and how they help to mitigate climate change. The aim of this study was to adjust the allometric equations for *Pinus hartwegii* in reforestation plantations in the *Izta-Popo* National Park using variables of easy measurement to relate them to biomass; these variables were base diameter, total height and height to the first live branch. For this, 90 seedlings were selected and the biomass of each one was calculated, as well as the biomass of each component: foliage, branches, stem and root. Carbon content was calculated to determine the amount of this element captured in the seedlings. The resulting equation for the diameter at the base was $B=0.0092*DB^{2.7226}$, with a coefficient of determination of $R^2=0.9521$. The equation for the total height was $B=0.7546*h_T^{2.5819}$, with a coefficient of determination of $R^2 = 0.8644$. The height variable at the first live branch obtained a low coefficient of determination, $R^2=0.3203$. The average accumulated carbon for the seedlings of this study was 50.81 %.

Key words: Total height, carbon, CO₂, base diameter, *Pinus hartwegii* Lindl., plantations.

Resumen

Los bosques de alta montaña ofrecen importantes servicios ecosistémicos de los cuales destaca el almacenamiento de bióxido de carbono (CO₂), uno de los principales gases de efecto invernadero causantes del calentamiento global. Cuantificar el CO₂ en este tipo de ecosistemas ayudaría a entender cómo funcionan y cómo contribuyen a la mitigación del cambio climático. El objetivo de este trabajo fue ajustar las ecuaciones alométricas para *Pinus hartwegii* en plantaciones de reforestación en el Parque Nacional Izta-Popo Zoquiapan. Las variables utilizadas fueron diámetro de la base, altura total y altura a la primera rama viva para relacionarlas con la biomasa. Se seleccionaron 90 brinzales y se calculó la biomasa de cada uno, así como la biomasa por componente: follaje, ramas, tallo y raíz. Se estimó el contenido de carbono para determinar la cantidad de este elemento capturado en los propios brinzales. Las ecuaciones resultantes para el diámetro a la base fue $B=0.0092*DB^{2.7226}$, con un coeficiente de determinación de $R^2= 0.9521$; y para la altura total fue de $B=0.7546*h_T^{2.5819}$, con un coeficiente de determinación de $R^2= 0.8644$. La variable de altura a la primera rama viva obtuvo un coeficiente de determinación bajo, $R^2= 0.3203$. El contenido de carbono promedio para los brinzales fue de 50.81 %.

Palabras clave: Altura total, carbono, CO₂, diámetro de la base, *Pinus hartwegii* Lindl., plantaciones.

Fecha de recepción/Reception date: 20 de febrero de 2020

Fecha de aceptación/Acceptance date: 9 de junio de 2020

¹División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. México.

²Campo Experimental Valle de México. INIFAP. México.

³Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales. INIFAP. México.

*Autor para correspondencia; correo-e: acosta.miguel@inifap.gob.mx

Introducción

Las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) hacia la atmósfera, principalmente CO₂, son una de las causas antrópicas más importantes para el cambio climático (Montes *et al.*, 2008). La mayor cantidad de este gas es liberado por el consumo de combustibles fósiles para la generación de energía, uso doméstico y para el transporte, entre otros (Cruz, 2016). Las repercusiones del cambio climático se traducen en desertificación, incremento de la temperatura, aparición de plagas y enfermedades, pérdida de diversidad y desaparición paulatina de glaciares. En México, en los parques nacionales Pico de Orizaba e Izta-Popo Zoquiapan se observa la presencia de enfermedades fitosanitarias en sus bosque (Semarnat, 2016).

Los impactos negativos del cambio climático se pueden aminorar, mediante la conservación y el manejo de los ecosistemas forestales y sus servicios ambientales, entre otras acciones. La vegetación absorbe, asimila y retiene el CO₂, y lo convierte en tejido estructural por medio de la fotosíntesis (Ordóñez y Masera, 2001; Zamora-Martínez, 2015; Romero, 2016). Evaluar el carbono capturado en los bosques permite calificar y cuantificar su contribución para mitigar los efectos de la modificación del clima, y con ello orientar y ejecutar prácticas de gestión que incrementen el carbono capturado en su biomasa (Barrionuevo *et al.*, 2013).

En este sentido, las ecuaciones alométricas son una herramienta fundamental para la cuantificación de biomasa y carbono dentro de los ecosistemas. Las estimaciones se obtienen con variables de fácil medición, como el diámetro o la altura para relacionarlas con la biomasa o carbono acumulados en rodales y comunidades de vegetación más amplias (Schlegel, 2001; Acosta, 2003; Flores *et al.*, 2011; Díaz *et al.*, 2016).

En el Parque Nacional Iztaccíhuatl Popocatepetl (PN Izta-Popo) se lleva a cabo el Programa "Restauración, Protección y Conservación de los Recursos Naturales del Parque Nacional Iztaccíhuatl Popocatepetl". Este proyecto de atención integral es una iniciativa conjunta de los sectores social, público y privado orientada a la

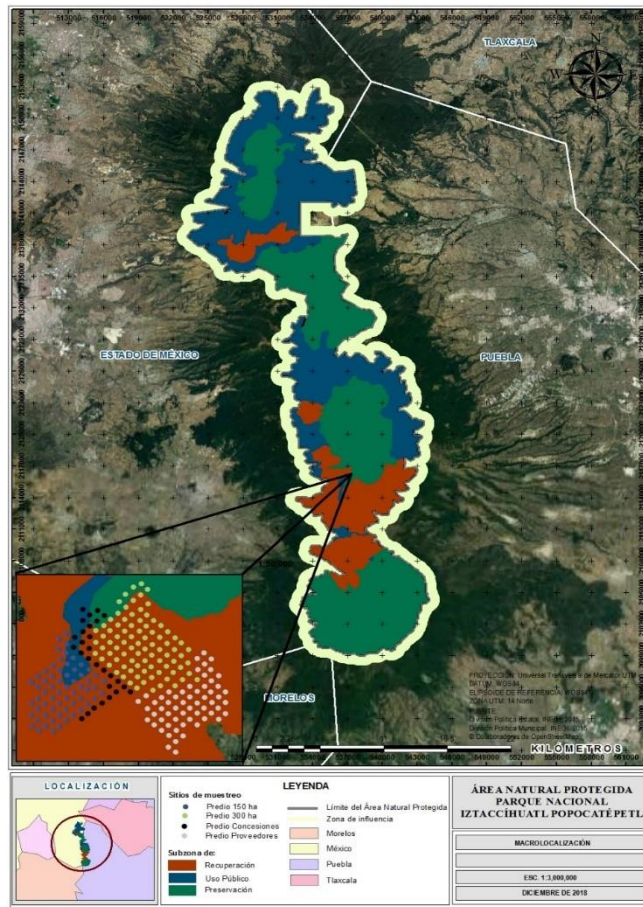
conservación del patrimonio natural del lugar, de los recursos naturales del desarrollo sostenible del PN y su área de influencia, en el corto, mediano y largo plazo (Semarnat, 2013).

La empresa automotriz Volkswagen de México S. A. de C. V. ha patrocinado trabajos de reforestación en el PN Izta-Popo en 750 ha con *Pinus hartwegii* Lindl. Desde 2008, el año de inicio, dicho esfuerzo se enfocó en el mantenimiento de 300 ha bajo un esquema de "adopción"; posteriormente, en 2010, con apoyo de más colaboradores se anexaron 200 ha; en 2012, 100 ha; y recientemente, 150 ha. Uno de los propósitos del programa es evaluar la captura de carbono en las 750 ha en donde se han realizado los trabajos de restauración y reforestación. Por el interés de conocer el valor de las reforestaciones sobre la captura de carbono en sus diferentes etapas de crecimiento, el objetivo del presente estudio consistió en generar una ecuación alométrica ajustada para estimar la biomasa y el carbono acumulado en plantaciones en etapa de brinzales de *Pinus hartwegii* en el Parque Nacional Izta-Popo Zoquiapan.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El estudio se realizó en el Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl, ubicado en el Eje Neovolcánico Transversal, entre los 21°11'58" norte y los 53°60'14.83" oeste, cuya altitud promedio es de 3 770 m en un intervalo entre los 3 000 y los 5 480 m (Semarnat, 2013). Abarca 39 mil 819.086 ha divididas entre el Estado de México, con 28 307.48 ha (71.09 %); Puebla con 11 072.91 ha (27.81 %) y Morelos con 438.68 ha (1.10 %) (Figura 1).



Fuente: Semarnat, 2013.

Figura 1. Localización del Área Natural Protegida del Parque Nacional Iztaccíhuatl Popocatepetl.

Sus geoformas (sierras, conos volcánicos y laderas) son de origen volcánico, en las que predominan las rocas basálticas y andesitas. De acuerdo con la clasificación de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2015), las unidades de suelo presentes son: litosoles, regosoles, andosoles, cambisoles y fluvisoles.

La temperatura media anual fluctúa de 3 a 5 °C, con variación anual menor de 3 °C, pero con una oscilación diurna suficiente para que se presenten heladas todo el año. La precipitación en promedio anual se distribuye entre los 600 y los 800 mm, y

aunque un considerable porcentaje cae en forma de nieve, no permanece por largos periodos en el suelo. La insolación y el viento son intensos, por lo que la evaporación es alta (Rzedowski, 2006).

El Programa de Manejo PN Izta-Popo (Semarnat, 2013) está dividido en tres subzonas: Recuperación, Uso público y Preservación; en donde se estableció el área de estudio, en su mayor parte en la subzona de Recuperación (Figura 1).

Obtención de la biomasa

La metodología empleada fue similar a la propuesta por diversos investigadores (Acosta, 2003; Avendaño *et al.*, 2009; Carrillo *et al.*, 2014; Carrillo *et al.*, 2016), con la diferencia de que, en lugar de usar el diámetro normal (*DN*) como variable independiente, se trabajó con el diámetro a la base, la altura a la primera rama viva y la altura total, debido a que la mayoría de los brinzales aún no han desarrollado un *DN* plenamente.

Para obtener una ecuación alométrica de biomasa y carbono se usó un tamaño de muestra de 90 brinzales, a partir del costo de su extracción. El criterio de selección fue que los ejemplares hubiesen sido plantados mediante los proyectos de reforestación desde 2008, y contar con una edad máxima de 10 años, a fin de incluir la mayoría de las categorías disponibles; y con ello, aumentar el intervalo de variabilidad.

Antes de la extracción de los brinzales desde la raíz, a cada uno se les midió el diámetro a la base, la altura total y la altura a la primera rama viva. Se guardaron en costales con su respectivo número de identificación y fueron trasladados al invernadero del Campo Experimental Valle de México del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en Coatlinchán, Texcoco de Mora, Estado de México. Ahí, se les mantuvo dentro de los costales durante cinco semanas para que perdieran la mayor cantidad de humedad posible, antes de introducirlos a una estufa de secado *Blue M 0v-490A2*.

Se separaron los componentes: follaje, ramas, tallo y raíz y se pesaron en una báscula digital *Tecnocor* 20-CHIS con precisión mínima de 200 g y máxima de 30 kg para determinar el peso seco. Las muestras con peso inferior a 200 g, se pesaron en una balanza de precisión *Scout®Pro*. Posteriormente, se obtuvieron alícuotas para introducirlas a la estufa de secado por 48 h a 70 °C y contar con el peso seco de cuatro componentes por los 90 brinzales, lo que significó un total de 360 muestras. Al porcentaje de humedad registrado después de pasar por la estufa de secado, se le agregó al peso fresco de cada componente, con lo que se calculó la biomasa total y por sección.

Con los datos de biomasa, se ajustaron los modelos predictivos para cada una de las variables de interés: el diámetro de la base, la altura total y la altura a la primera rama viva. La ecuación en su forma potencial se utilizó para las variables de diámetro de la base y altura total:

$$B = \beta_0 * X^{\beta_1}$$

Para fines prácticos, se abrevió el diámetro de la base como DB y altura total como h_T .

La ecuación en su forma lineal polinómica de segundo grado se usó para la altura a la primera rama viva:

$$B = \beta_0 * X^{\beta_1} - \beta_2 * X + \beta_3$$

Donde:

B = Biomasa (kg)

X 's = Variables independientes

β 's = Coeficientes de ajuste

Todos los análisis estadísticos se realizaron con el *software* libre R (The R Team, 2013).

Categorías de las variables de interés

Se definieron cuatro categorías diamétricas para el diámetro de la base y 10 para la altura total; ambas se utilizaron para construir una tabla de biomasa que permita predecir dicha variable por medio de esas dos medidas.

Determinación del carbono

Para el cálculo del carbono contenido en los brinzales se seleccionaron 13 ejemplares, a fin de incluir la mayor amplitud de intervalos de tamaño, con sus respectivos componentes; y se obtuvieron submuestras, las cuales se llevaron al Laboratorio de Fertilidad de Suelos y Química Ambiental del Colegio de Postgraduados, campus Montecillo. Se les aplicó el método de combustión seca en el analizador de carbono *Shimadzu* TOC 5050A.

A los resultados del análisis, se les aplicó el coeficiente de contenido de carbono por componente, a los 90 brinzales.

Resultados y Discusión

Peso fresco y peso seco

Dado que los brinzales eran de porte pequeño, no fue necesario determinar el peso fresco de forma directa en campo, como lo sugieren varios autores (Acosta, 2003; Avendaño *et al.*, 2009; Bonilla, 2009; Carrillo *et al.*, 2016). Los promedios de pérdida de humedad para cada componente fueron de 8.3 % para follaje, 11.1 % para ramas, 16.2 % para tallo; y 15.6 % para raíz.

Distribución de la biomasa

La distribución de la biomasa en los brinzales fue de 30 % en el follaje, 8 % en ramas, 24 % en tallo y 37 % en la raíz. Diferentes autores, (Díaz *et al.*, 2007; Avendaño *et al.*, 2009; Carrillo *et al.*, 2014; Carrillo *et al.*, 2016) sugieren diferentes distribuciones, aunque no consideran la raíz. Castañeda *et al.* (2012) propone un porcentaje de raíz para arbolado adulto de entre 15 y 20 %, que también está alejado de los resultados que aquí se presentan.

Chávez *et al.* (2016) mencionan que la edad afecta directamente a la distribución de la biomasa en los árboles. En las primeras etapas de un rodal, esta distribución está condicionada por las funciones fisiológicas de las especies. Las primeras etapas del género *Pinus* se enfocan en la alta demanda de carbohidratos destinados al fuste que dará soporte y se puede mantener con una proporción constante durante su crecimiento. La raíz debe abastecer, constantemente, de agua al follaje, que a su vez, necesita una gran capacidad fisiológica al incrementar el área foliar para capturar y usar la energía solar, que aumentará las tasas fotosintéticas y la producción de biomasa. Vose y Ryan (1994); Van y Franklin (2000); Wang *et al.* (2007) y Pretzsch (2014) indican que la biomasa foliar y la estructura de la copa de diferentes especies forestales son determinantes en el crecimiento y desarrollo de los árboles.

Ajuste de las ecuaciones

Para el DB se estimó un coeficiente de determinación de $R^2=0.9521$ y una ecuación potencial $B=0.0092*DB^{2.7226}$. Para h_T , $R^2=0.8644$ y la ecuación $B=0.7546*h_T^{2.5819}$. Para la altura la primera rama viva, $R^2=0.3203$, por lo que no fue necesario presentar la ecuación debido a que dicho coeficiente estuvo por debajo de lo que se consideró como un buen ajuste. La gráfica para el DB se muestra en la Figura 2 y para h_T en la Figura 3.

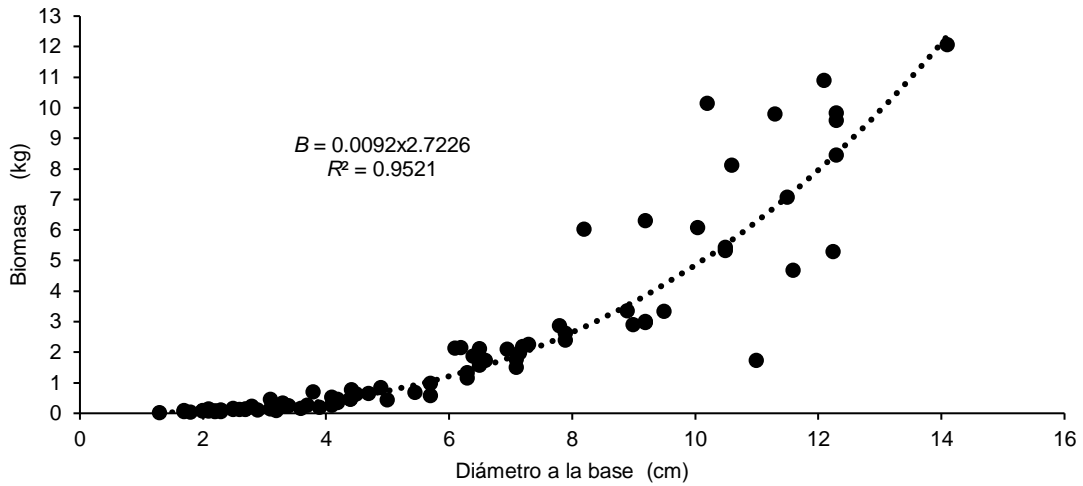


Figura 2. Línea de tendencia de los valores de biomasa relacionando el diámetro de la base.

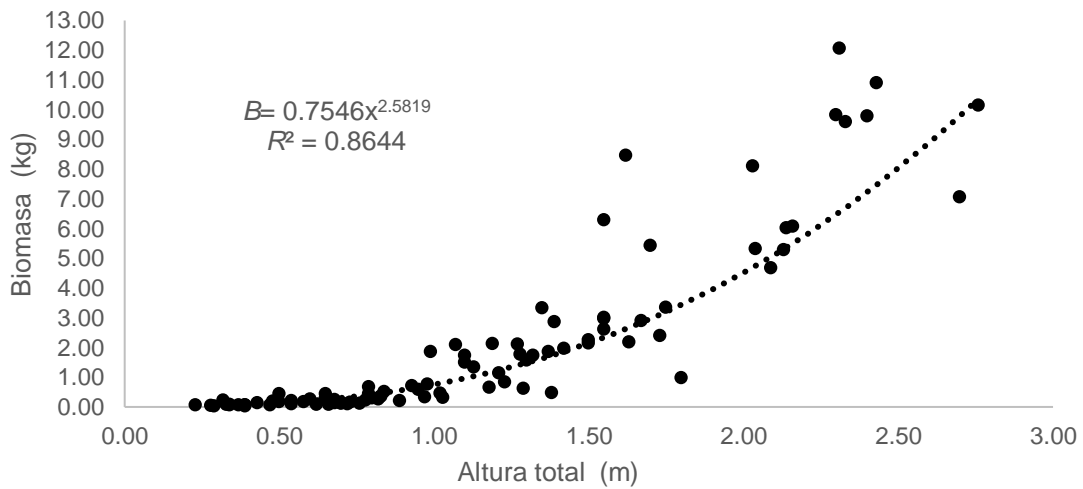


Figura 3. Dispersión de los datos y línea de tendencia de los valores de biomasa relacionando la altura total.

Brown *et al.* (1989) opinan que es mejor no incluir siempre la altura total del arbolado en los procedimientos de estimación de biomasa, debido a la complejidad de medir la altura por la presencia de las copas cerradas y porque los inventarios ecológicos no incluyen esos datos, en el caso de bosques tropicales.

Con los resultados anteriores se observa que la altura sí es una variable significativa para estimar la biomasa en los brinzales, ya que este tipo de vegetación no forma copas cerradas, aunado a que las distancias entre los árboles de *Pinus hartwegii* son muy extensas (en algunos casos hasta de 15 o 20 m de distancia entre árbol y árbol), probablemente por una característica inherente a la especie.

Tablas de biomasa

En el Cuadro 1 se muestran, las tablas de biomasa generadas a partir de las ecuaciones de DB y h_T (con mayor coeficiente de determinación), con las categorías definidas para dichas variables.



Cuadro 1. Tablas de biomasa generadas a través de las ecuaciones obtenidas y las categorías de las variables DB y h_T .

Categoría diámetro basal (DB) centímetros	Biomasa (kg) $B=0.0092(DB)^{2.7226}$ $R^2=0.9521$	Categoría altura total (h_T) metros	Biomasa (kg) $B=0.7546(h_T)^{2.5819}$ $R^2=0.8644$
1	0.009	0.01	0.000
5	0.736	0.25	0.021
10	4.857	0.50	0.126
15	14.649	0.75	0.359
20	32.061	1.00	0.755
-	-	1.25	1.343
-	-	1.50	2.150
-	-	1.75	3.200
-	-	2.00	4.518
-	-	2.25	6.124
-	-	2.50	8.038
-	-	2.75	10.281
-	-	3.00	12.871

La tabla anterior representa una herramienta que facilita en campo el cálculo de la biomasa para un árbol específico o un conjunto de árboles, como un rodal, a través de las categorías de diámetro basal o altura total.

Obtención del contenido de carbono

Los resultados de carbono se presentan en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Promedio y desviación estándar del contenido de carbono en los componentes follaje, ramas, tallo y raíz.

	Follaje	Ramas	Tallo	Raíz
Promedio	50.57	50.79	51.67	50.21
Desviación Estándar	0.67	1.09	2.62	1.36
Promedio Total	50.81			

El porcentaje de carbono en el presente estudio fue similar (50 %) al propuesto por el *International Panel for Climate Change* (IPCC, 1996). Algunos autores calcularon porcentajes semejantes para especies de clima templado-frío. Por ejemplo, Carrillo *et al.* (2016) estimaron 48.5 % para *Pinus hartwegii*; Avendaño *et al.* (2009), 46.48 % para *Abies religiosa* (Kunth) Schlttdl. et Cham.; y Carrillo *et al.* (2013), 48 % para *Quercus*. En el caso de *Pinus patula* Schiede ex Schlttdl. & Cham., Carrillo *et al.* (2016) determinaron 48.55 % y Díaz *et al.* (2007), 50.31 % para la misma especie.

Con el coeficiente obtenido, se calculó el contenido de carbono aplicando el valor de 0.5081 a la biomasa total o por componente de cada brinzal.



Conclusiones

Las ecuaciones para estimar la biomasa total son confiables cuando se emplea el diámetro basal DB y la altura total h_T , porque los coeficientes de determinación son de $R^2=0.9521$ y 0.8644 , respectivamente. En cambio, cuando se emplea la altura a la primera rama viva, el coeficiente de determinación es bajo: $R^2=0.3203$, por lo que su uso no es confiable.

Si se aplica un coeficiente de 50.81 % a la biomasa calculada con las ecuaciones alométricas para el diámetro basal o la altura total, es suficiente para conocer el contenido de carbono en un árbol, un rodal o una plantación de brinzales de *Pinus hartwegii*; por lo tanto su uso es confiable.

Agradecimientos

A la empresa automotriz Volkswagen de México, S. A. de C. V. por financiar a través de La Fundación Produce Puebla A. C. este proyecto y a los responsables del Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl por todas las facilidades y comodidades brindadas, además a la brigada de restauración de ecosistemas, que sin ellas y ellos no hubiese sido posible tan arduo trabajo.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses

Contribución por autor

José Efraín Martínez Luna: planeación y desarrollo de trabajo en campo, estructura y revisión del documento; Fernando Carrillo Anzures y Miguel Acosta Mireles: planeación de la investigación, desarrollo, análisis, procesamiento de información,

estructura y redacción del documento; Martín Enrique Romero Sánchez y Ramiro Pérez Miranda: estructura y revisión del documento.

Referencias

- Acosta M., M. 2003. Diseño y aplicación de una metodología para medir los almacenes de carbono en sistemas con vegetación natural y agrícolas de ladera en México. Tesis Doctoral. Programa Forestal Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. de Méx., México. 135 p.
- Avendaño H., D. M., M. Acosta M., F. Carrillo A. y J. D. Etchevers B. 2009. Estimación de biomasa y carbono en un bosque de *Abies religiosa*. Fitotecnia Mexicana 32 (3):233-238.
- Barrionuevo, S. A., E. Pan, J. C. Medina, R. Taboada y R. Ledesma. 2013. La contribución ambiental de rodales de *Aspidosperma quebracho-blanco* Schltdl. en la fijación de CO₂: bases para una gestión sustentable. Foresta Veracruzana 15(1): 31–36.
- Brown, S., A. Gillespie and A. E. Lugo 1989. Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. Forest Science 35(4):881–902. Doi:10.1093/forestscience/35.4.881.
- Carrillo A., F; M. Acosta M. y C.E. TOMÁS M. 2013. Generación de dos modelos para determinar el carbono de dos especies de Encino. *In*: Paz P., F., J. Wong G., M. Bazán y V. Saynes (Eds.). Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2013. Programa Mexicano del Carbono. Colegio de Postgraduados, Universidad Autónoma Chapingo, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. Texcoco, Edo. de Méx., México. pp. 126-131.

Carrillo A., F.; M. Acosta M., E. Flores A., J. E. Juárez B. y E. Bonilla P. 2014. Estimación de biomasa y carbono en dos especies arbóreas en la Sierra Nevada, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 5(5):679-693. Doi: : 10.29312/remexca.v5i5.901.

Carrillo A., F., M. Acosta M., C. del R. Jiménez C., L. González M. y J. D. Etchevers. 2016. Ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en la parte aérea de *Pinus hartwegii* en el Parque Nacional Izta-Popo, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 7(3): 681–691. Doi:10.29312/remexca.v7i3.327.

Carrillo A., F., M. Acosta M., E. Flores A., J. E. Juárez B. y E. Bonilla P. 2014. Estimación de biomasa y carbono en dos especies arbóreas en la Sierra Nevada, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 5(5):679-693. Doi: 10.29312/remexca.v5i5.901.

Castañeda G., J. C., A. Gallegos R., M. Sánchez D. y P. A. Domínguez C. 2012. Biomasa aérea y posibles emisiones de CO₂ después de un incendio; caso del bosque "La Primavera", Jalisco, México. *Ra Ximhai* 8(3):1–15. Doi: 10.35197/rx.08.03.e1.2012.01.jc.

Chávez A., G., G. Ángeles P., M. Pérez S., M. Á. López L., E. García M. y C. Wayson. 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. Doi: 10.21829/myb.2016.2231454.

Cruz I., I. C. 2016. Emisiones del CO₂ en hogares urbanos. El caso del Distrito Federal. *Estudios Demográficos y Urbanos* 31(91): 115–142.

Díaz, F. R., M. Acosta M., F. Carrillo A., E. Buendía R., E. Flores A. y J. D. Etchevers B. 2007. Determinación de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Pinus patula* Schl. et Cham. *Madera y Bosques* 13(1):17-28. Doi: 10.21829/myb.2007.1311233.

Flores N. P., M. A. López L., G. Ángeles P., M. de L. De la Isla S. y G. Calva V. 2011. Modelos para estimación y distribución de biomasa de *Abies religiosa* (Kunth) Schltl. et Cham. en proceso de declinación. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 2(4): 9–20. Doi: 10.29298/rmcf.v2i8.543.

International Panel for Climate Change (IPCC). 1996. Land Use Change and Forestry. Edited by *In: Penman, J., M. Gytarsky, T. Hiraishi, T. Krug, D. Kruger, R. Pipatti, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, K. Tanabe and F. Wagner (Eds.)*. Cap. 5 Vol. 57. Greenhouse Gas Inventory Reference Manual. Bracknell, UK. 590 p.

Montes de O,-C., E., P. García R. y J. A. Nájera L., J. Méndez G. y J. J. Graciano L. 2008. Flujos y asimilación de CO₂ de *Pinus durangensis* (Martínez M.) en la Región De El Salto, Durango, México. InterSedes: Revista de Las Sedes Regionales, 9(17):181–192.

Food and Agriculture Organization of the United Nation (FAO). 2015. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015: International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. IUSS Working Group WRB. World Soil Resources Reports No. 106. FAO. Rome, Italy. 203 p.

Ordóñez, J. A. y O. Maser, 2001. Captura de carbono ante el cambio climático. Madera y Bosques. 7(1):3–12.

Pretzsch H. 2014. Canopy space filling and tree crown morphology in mixed-species stands compared with monocultures. Forest Ecology and Management. 327: 251-26.
Doi:10.1016/j.foreco.2014.04.027

Romero S., M. E. 2016. Escenarios de cambio climático en el sector forestal. Revista Mexicana de Ciencias Forestales. 7(37): 4–6. Doi:10.29298/rmcf.v7i37.47

Rzedowski, J. 2006. Bosque de coníferas. *In: Vegetación de México*. 1ª edición electrónica. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D.F., México. pp. 295–327.

Schlegel, B. 2001. Estimación de la biomasa y carbono en bosques del tipo forestal siempreverde. *In*: Simposio Internacional Medición y Monitoreo de La Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales. Fecha del evento. Valdivia, Chile. pp. 1–13.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). 2013. Programa de Manejo del Parque Nacional Iztaccíhuatl Popocatepetl. Comisión Nacional de Áreas Naturales protegidas. México, D.F., México. 185 p.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). 2016. Cómo afecta el cambio climático a México. <http://www.gob.mx> (25 de noviembre de 2019).

The R Team. 2013. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.r-project.org> (16 de noviembre de 2019)

Van P., R. and F. J. Franklin 2000. Influence of canopy structure on the understory environment in tall, old-growth, conifer forests. *Canadian Journal of Forest Research* 30(8):1231-1245. Doi: 10.1139/x00-050.

Vose, J. M. and M. G. Ryan. 1994. Dark respiration of pines. *Copenhagen Ecological Bulletins* 43: 50-63.

Wang, Y., S. Solberg, P. Yu, T. Myking, R. D. Vogt and S. Du 2007. Assessments of tree crown condition of two Masson pine forests in the acid rain region in south China. *Forest Ecology and Management*. 242:530–540. Doi: 10.1016/j.foreco.2007.01.065

Zamora-Martínez, M. C. 2015. Cambio climático. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 6(31):1-7.



Todos los textos publicados por la **Revista Mexicana de Ciencias Forestales** –sin excepción– se distribuyen amparados bajo la licencia *Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional)*, que permite a terceros utilizar lo publicado siempre que mencionen la autoría del trabajo y a la primera publicación en esta revista.