

VOLUMEN Y BIOMASA AÉREA DE *Pinus pseudostrabus* y *P. teocote* DEL SUR DE OAXACA¹

[VOLUME AND ABOVEGROUND BIOMASS OF *Pinus pseudostrabus* AND *P. teocote* FROM SOUTHERN OAXACA]

Samuel Antonio Vásquez-Fabián¹, Gerardo Rodríguez-Ortiz², José Raymundo Enríquez-del Valle², Gisela Virginia Campos-Angeles², Abraham Santana-Flores³

¹Egresado, Ingeniería Forestal, ²División de Estudios de Posgrado e Investigación, ³Lic. Informática, Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca. Ex hacienda de Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca. C.P. 71233. Tel. 01(951)5170444

§Autor para correspondencia: (vasfabsam@gmail.com).

RESUMEN

En la actualidad, el CO₂ que se encuentra en la atmosfera genera una preocupación mundial por el calentamiento global, que se incrementa considerablemente por las actividades humanas. El objetivo de esta investigación fue generar modelos alométricos de volumen y biomasa aérea en *Pinus pseudostrabus* y *P. teocote* del sur de Oaxaca, México. Los parámetros estadísticos fueron ajustados con regresión no lineal. Los indicadores de bondad de ajuste mejores los presentó el modelo de Schumacher-Hall en el modelo de volumen y biomasa para ambas especies. La variabilidad que explican los modelos (R^2_{adj}) de volumen para *P. pseudostrabus* y *P. teocote* se estima en 97 y 98%, respectivamente, con errores bajos (cuadrado medio del error, CME < 0.06). El diámetro normal y la altura de los árboles estiman el 89 y 97% de la variabilidad existente en la biomasa aérea de ambas especies, respectivamente. La zona estudiada posee en promedio 42.943 t B ha⁻¹ para *P. pseudostrabus* y 42.38 t B ha⁻¹ para *P. teocote*. Los modelos alométricos generados son confiables para realizar estimaciones individuales e inferencias a nivel de superficie para la especie y lugar de estudio; en caso de realizar inferencias para otros sitios es recomendable utilizar los factores de expansión de biomasa.

Palabras clave: Factor de expansión de biomasa, modelo alométrico, modelo de Schumacher-Hall.

ABSTRACT

Actually the CO₂ in the atmosphere generates a global preoccupation by the global warming that is increased considerably by the human activities. The objective was to generate allometric volume and aboveground biomass models in *Pinus pseudostrabus* and *P. teocote* in southern Oaxaca, Mexico. The statistical parameters were adjusted with non-linear regression. The Schumacher-Hall model presented the best goodness of fit for the volume and biomass of both species. The variability explained for volume models of *P. pseudostrabus* and *P. teocote* was estimated (R^2_{adj}) at 97 and 98%, respectively, with low errors (mean square of error, MSE < 0.06). The diameter at breast height and height explain 89 and 97% of the variability in the aboveground biomass of both species, respectively). The studied area has on average 42.943 t B ha⁻¹ for *P. pseudostrabus* and 42.38 t B ha⁻¹ for *P. teocote*. The allometric models generated are reliable for making individual estimates

¹ Recibido: 25 de febrero de 2017.

Aceptado: 14 de diciembre de 2017.

and inferences at the stand level for the species and location of study; in case of making inferences for other sites it is advisable to use biomass expansion factors.

Index words: Biomass expansion factor, allometric model, Schumacher-Hall model.

INTRODUCCIÓN

Cerca de 30% de la emisión de los gases de efecto invernadero (GEI) en México son producto de la destrucción de los bosques y selvas, como consecuencia del cambio de uso de suelo (Ordoñez y Maser, 2001); continúa incrementándose a una tasa anual mayor a 1 ppm (partes por millón) (Castro *et al.*, 2002). Este problema se agrava debido a que la deforestación oscila entre 370 y 670 mil ha año⁻¹ (Maser *et al.*, 1997). La captura y almacenamiento de dióxido de carbono (CAC) es una de las técnicas que podrían utilizarse para reducir las emisiones de CO₂ provocadas por las actividades humanas (Santibañez-González, 2014).

En el secuestro de C, los árboles a través de la fotosíntesis capturan el CO₂ de la atmósfera y liberan oxígeno (Rodríguez-Laguna *et al.*, 2009; Seeberg-Elverfeldt, 2010). Los bosques permiten aminorar los impactos del cambio climático, porque a nivel global fijan y almacenan cantidades grandes de C y pueden llegar a controlar hasta el 90% del flujo anual de este elemento (Schulze *et al.*, 2000; Ordoñez y Maser, 2001).

El conocimiento de las existencias maderables es un aspecto básico en la planeación del manejo forestal sostenible. El volumen maderable se puede estimar con el uso de modelos matemáticos, en los cuales el volumen es una función del diámetro normal y la altura, que mediante técnicas de regresión (lineal y no lineal) son ajustados para obtener los parámetros, con la ecuación que se genera es posible realizar las estimaciones (García, 1995; Diéguez-Aranda *et al.*, 2003; Romahn-de la Vega *et al.*, 2006).

La biomasa forestal se ha convertido en un elemento importante en los estudios sobre los cambios que ocurren a escala mundial debido al posible efecto atenuador (sumidero) que los bosques y sistemas afines pueden tener, al secuestrar los excedentes de los GEI, de un modo temporal (biomasa) y permanentemente (suelo) y a las consecuencias que se derivan de la modificación de las condiciones climáticas sobre la salud, estructura y biodiversidad de un sistema forestal, incidiendo lógicamente en el primer aspecto (Martínez-de Saavedra y Sánchez, 2000).

Los modelos de crecimiento y rendimiento forestal representan abstracciones de la dinámica natural de los bosques. Estos modelos se refieren a un sistema de ecuaciones matemáticas que permiten predecir el crecimiento y el rendimiento de un rodal bajo una amplia variedad de condiciones (Vanclay, 1994). La información generada a partir de los modelos biométricos resulta de gran importancia en el manejo forestal; sin embargo, su validación, aunque compleja, es de vital importancia para obtener estimaciones confiables (Salas-Eljatib y Real-Hermosilla, 2013). Para la estimación de la biomasa de un rodal, el procedimiento más común es el método de estimación por regresión (Garzuglia y Saket, 2003).

Las metodologías más precisas y recomendables para analizar la biomasa aérea de un árbol están basadas en muestreos destructivos, para generar ecuaciones alométricas de precisión mayor (Acosta-Mireles *et al.*, 2002; Monroy y Nívar, 2004; Vallejo *et al.*, 2007;). El estado del arte en

los modelos biométricos permite dimensionar el impacto que han tenido y la distribución de su uso; describe el grado de avance de su conocimiento y cuáles son sus tendencias (Londoño *et al.*, 2014).

El factor de expansión de biomasa es un coeficiente que expande el volumen comercial o total del fuste para obtener la biomasa total del árbol. Es decir, es la proporción directa entre la biomasa aérea total y la biomasa del fuste (Somogyi *et al.*, 2006).

Una forma de resaltar la importancia de los bosques en la mitigación del cambio climático, es proporcionando información del potencial de secuestro de C en la biomasa aérea. El objetivo de este trabajo fue estimar el contenido de biomasa aérea de *P. pseudostrabus* Lindl y *P. teocote* Schl. *et Cham.* en la comunidad de Villa Sola de Vega, Oaxaca.

MATERIALES Y MÉTODOS

Inventario forestal y muestreo destructivo

El área se localiza en la comunidad de Villa Sola de Vega, Oaxaca, México entre 16°16' - 16°52' LN; 96°51' - 97°17' LO y altitud entre 1500 y 2400 m. La superficie con vegetación es de aproximadamente 240 ha con topo formas y pendientes variadas.

El diseño de muestreo utilizado fue sistemático con una intensidad del 1% (n = 60 sitios circulares de 400 m²). Las unidades muestrales fueron divididas en cuatro cuadrantes tomando datos de altura total (AT, m) con pistola Haga® y diámetro normal (DN, cm) con cinta diamétrica® (Haglöf) e identificando la especie. Un muestreo destructivo de 20 árboles se realizó durante 2016 para cada especie de las áreas de corta de la anualidad 2014 del programa de manejo forestal maderable (COFOSA, 2005). La muestra fue distribuida de manera aleatoria y proporcional a la frecuencia relativa de las categorías diamétricas y de altura (Cuadro 1).

El derribo de árboles se realizó con motosierra Husqvarna® Modelo 365 para derribar lo más bajo posible para aprovechar al máximo el volumen del arbolado; se determinaron las variables siguientes: NA (número de árbol), DN (diámetro normal), DP (diámetro al pie, cm), DT (diámetro de tocón, cm), AT (altura total, m con la ayuda de la pistola Haga® Germany y posición (GPS e Trex), grosor de corteza (GC, mm), longitud de fuste limpio (LF, m), longitud de copa (LC, m) y diámetro de copa viva (DCV, m). De cada árbol se obtuvo una muestra (viruta), con el taladro de Pressler Haglöf®, (Cáceres, España) a una altura de 1.30 cm para determinar gravedad específica y estimar biomasa en madera y corteza mediante la transformación del volumen con corteza determinado por el método de Newton (Romahn *et al.*, 2006). Las acículas, ramas y conos se separaron y se obtuvo peso verde total (PV, kg) de los componentes por árbol con una báscula electrónica Toro Rey®, serie EQB/EQM, (Houston, TX, USA), con capacidad de 200±0.1 kg.

Una sub-muestra de 100 a 300 g se obtuvo de cada componente (rama, acícula, cono) por individuo; las sub-muestras se analizaron en el laboratorio de Agro-ecosistemas del Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca, donde se obtuvo peso fresco (PF, g) y peso seco (PV, g).

Cuadro 1. Distribución proporcional de árboles derribados para *Pinus pseudostrobus* Lindl y *P. teocote* Schl. et Cham.

Categoría diamétrica (cm)	Altura (m)					Árboles derribados
	5	15	25	35	45	
10	1	3	-	-	-	4
15	1	5	-	-	-	6
20	-	4	-	-	-	4
25	-	3	1	-	-	4
30	-	1	4	-	-	5
35	-	-	3	-	-	3
40	-	-	2	-	-	2
45	-	-	3	-	-	3
55	-	-	3	1	-	4
60	-	-	-	1	1	2
65	-	-	-	1	-	1
75	-	-	-	2	-	2
Total	2	16	16	5	1	40

Manejo y análisis de datos

El cálculo de biomasa en componentes cubicados (fuste y ramas) se determinó mediante la gravedad específica (GE, g cm⁻³) de las virutas; el producto GE y volumen generó la biomasa de este componente. La relación PS/PF de las muestras generó un factor de conversión a biomasa por componente, mismo que se utilizó para estimar la biomasa total.

Para determinar el volumen total con corteza y la biomasa aérea de cada árbol, se ajustaron con regresión, modelos que ayudaron a predecir ambas variables en función de variables de inventario (DN y AT) de fácil medición en campo. Estos modelos fueron procesados por técnicas de regresión no lineal mediante el procedimiento NLIN del paquete estadístico SAS® (SAS Institute Inc, 2004); su evaluación fue a través de estadísticos de bondad de ajuste como el coeficiente de determinación ajustado (R^2_{adj}), coeficiente de variación y error estándar e intervalos de confianza de los parámetros.

RESULTADOS

Modelos de volumen y biomasa total aérea

Se obtuvieron modelos de regresión para estimar componentes de biomasa (hoja, rama, madera con corteza y total aérea) y modelos para estimar volumen total maderable por árbol. El modelo Schumacher-Hall fue el de mayor ajuste para *Pinus pseudostrobus* Lindl y *Pinus teocote* Schl. et Cham. Este presentó buen ajuste en sus diferentes parámetros de predicción de volumen: $R^2_{adj} = 0.97$ para *Pinus pseudostrobus* Lindl y de 0.98 para *P. teocote* (Cuadro 2).

Cuadro 2. Calidad de los parámetros de regresión del modelo de Schumacher-Hall para estimar volumen en *Pinus pseudostrobus* Lindl y *P. teocote* Schl. et Cham.

Parámetro	Estimación	Aprox. error estándar	límites de confianza	
			Inferior	Superior
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl. $VT_{Acc}: 0.000264 \times DN^{2.0603} \times AT^{0.3521}$				
β_0	0.000264	0.000152	-0.00006	0.000586
β_1	2.0603	0.1314	1.7831	2.3376
β_2	0.3521	0.1644	0.00519	0.699
<i>Pinus teocote</i> Schl. et Cham. $VT_{Acc}: 0.000064 \times DN^{2.145567} \times AT^{0.668856}$				
β_0	0.000064	0.000021	0.00002	0.000107
β_1	2.145567	0.1564	1.8156	2.4755
β_2	0.668856	0.1788	0.2916	1.0461

VT_{Acc} = volumen total árbol con corteza (m^3), DN = diámetro normal (cm), AT = altura total (m).

Para los modelos de biomasa total aérea se tomaron como variables independientes las mismas utilizadas para el volumen (DN y AT). Se encontró la bondad de ajuste mayor con el modelo de Schumacher-Hall, que mostró los parámetros estadísticos mejores para las dos especies. Se obtuvo un R^2 ajustada de 0.89 para *P. pseudostrobus* Lindl y 0.97 en *P. teocote* Schl. et Cham (Cuadro 3).

Cuadro 3. Calidad de los parámetros de regresión del modelo de Schumacher Hall para estimar biomasa para *Pinus pseudostrobus* Lindl y *P. teocote* Schl. et Cham.

Parámetros	Estimación	Aprox. error estándar	límites de confianza	
			Inferior	Superior
<i>P. pseudostrobus</i> Lindl. $B: 2.0639 \times DN^{1.6915} \times AT^{0.1153}$				
β_0	2.0639	0.20657	-2.2945	6.4222
β_1	1.6915	0.299	1.0608	2.3223
β_2	0.1153	0.3805	-0.6875	0.9181
<i>P. teocote</i> Schl. et Cham. $B = 0.1056 \times DN^{2.8955} \times AT^{-0.454}$				
β_0	0.1056	0.0568	-0.0142	0.2254
β_1	2.8955	0.243	-0.3828	3.4083
β_2	-0.454	0.2461	-0.9733	0.0653

B = biomasa total aérea (kg), DN = diámetro normal (cm), AT = altura total (m).

Factores de expansión de biomasa (FEB)

Los FEB se obtuvieron mediante la división algebraica del modelo de biomasa total aérea (MB) y del modelo de volumen total maderable (MV) correspondiente a cada especie. Obteniendo así la relación siguiente para *Pinus pseudostrobus* Lindl y *Pinus teocote* Schl. et Cham., respectivamente.

$$FEB = \frac{MB}{MV} = \frac{2.0639 \times DN^{1.6915} \times AT^{0.1153}}{0.000264 \times DN^{2.0603} \times AT^{0.3521}} = 7818.8 \times DN^{-0.3618} AT^{-0.2368} \dots \quad \text{Ec. 1}$$

$$FEB = \frac{MB}{MV} = \frac{0.1056 \times DN^{2.8955} \times AT^{-0.454}}{0.000064 \times DN^{2.145567} \times AT^{0.668856}} = 1650 \times DN^{0.749933} AT^{-1.122856} \dots \quad \text{Ec. 2}$$

Con el modelo resultante puede elaborarse una tabla de factores de expansión de biomasa para ambas especies, ecuaciones (1 y 2) que indican la expansión del volumen a biomasa total aérea.

DISCUSIÓN

El factor de expansión de biomasa (FEB) obtenido en el inventario, proporcionó una estimación de biomasa total aérea de 492.45 kg/árbol, promedio obtenido en un árbol con diámetro de 21 cm y altura total de 16.7 m en *P. pseudostrobus* Lindl.; estos valores concuerdan con Chávez-Pascual *et al.* (2013) quienes determinaron 444.14 kg/árbol promedio con dimensiones de diámetro normal de 27.7 cm y altura total de 23.3 m en *P. chiapensis* (Martínez) Andresen. Datos inferiores encontrados por Aguirre-Calderón y Jiménez-Pérez (2011), quienes determinaron una biomasa de 219.87 kg/árbol para *P. pseudostrobus* Lindl y 251.23 kg/árbol para *P. teocote*.

Los resultados obtenidos en los FEB son dependientes del tamaño del árbol, al involucrar diámetro y altura del mismo; estos disminuyen conforme aumentan las variables descritas. Esta información es compatible con los resultados citados por Fang *et al.* (2001), Loguercio y Defossé (2001), Gracia *et al.* (2004) y Návar-Cháidez (2009).

El ajuste estadístico del modelo de volumen de fuste total para *P. pseudostrobus* Lindl mostró un valor de R^2_{adj} de 0.97 y coeficiente de variación (CV) de 124.3%; éstos valores para *P. teocote* fueron respectivamente 0.98 y 116.2%. Ramírez-Martínez *et al.* (2016) determinaron mejor ajuste ($R^2_{adj} = 0.99$) para *P. ayacahuite* Ehren en la comunidad de Ixtlán de Juárez, Oax. Tapia y Navar (2011) obtuvieron datos similares a los obtenidos en este estudio con $R^2_{adj} = 0.96$ para *Pinus pseudostrobus* Lindl en bosques de pino de la Sierra Madre Oriental de Nuevo León.

La predicción de biomasa aérea total se ajustó mediante un sistema de ecuaciones que utilizan el diámetro normal y altura de árboles en una estructura no lineal, con R^2_{adj} de 0.89 para *Pinus pseudostrobus* Lindl y 0.97 para *P. teocote* Schl. et Cham. Este resultado es cercano al encontrado por Domínguez-Cabrera *et al.* (2008) para la estimación de *Pinus pseudostrobus* y *P. teocote* con coeficientes de determinación de 0.92, 0.89, respectivamente. Asimismo, similar a los R^2_{adj} obtenidos por Pimienta-de la Torre *et al.* (2007), Vidal *et al.* (2004), Avendaño-Hernández *et al.* (2009) y Flores-Nieves *et al.* (2011), quienes realizaron la estimación para una sola especie, con valores de ajuste entre 0.90 y 0.99. Mientras que Flores-Nieves *et al.* (2011), obtuvieron un coeficiente de determinación R^2_{adj} de 0.90 para *Abies religiosa* Kunth Schldl. et Cham. en proceso de declinación.

Los valores de biomasa total para un árbol de 20 cm de diámetro normal y una altura de 15 m, en *P. teocote* Schl. et Cham fue de 176.51 kg; con estas mismas dimensiones, *P. pseudostrobus* Lindl obtuvo una biomasa de 126.03 kg. Yerena-Yamallel *et al.* (2011) obtuvieron resultados similares para *P. pseudostrobus* Lindl y *P. teocote* Schl. et Cham con 20 cm de diámetro alcanzando biomasa de 140.72 kg y 160.78 kg, respectivamente. Lo anterior denota la importancia de realizar

determinaciones de biomasa a nivel de especie. La biomasa contenida en *P. pseudostrobus* Lindl fue de 42.943 t ha⁻¹ con una variabilidad de 35.150 a 85.337 t ha⁻¹; la biomasa de *P. teocote* Schl. et Cham fue de 42.38 t ha⁻¹ con una variabilidad de 27.133 a 73.88 t ha⁻¹.

Pimienta-de la Torre *et al.* (2007) obtuvieron un valor promedio para fuste limpio de *P. cooperi* Blanco de 51.12 t ha⁻¹; Domínguez-Cabrera *et al.* (2008) estimaron biomasa para *P. pseudostrobus* Lindl. de 119.785 t ha⁻¹ y 5.548 t ha⁻¹ para *P. teocote* Schl. et Cham en bosque de pino; valores inferiores a los obtenidos en este estudio para *P. pseudostrobus* Lindl (42.943 t ha⁻¹) y *P. teocote* Schl. et Cham, (43.866 t ha⁻¹). Silva-Arredondo y Návar-Cháidez (2008) obtuvieron que el promedio de la biomasa total encontrada en *Pinus* spp. fue de 73.73 t ha⁻¹ con valores mínimos y máximos de 39.5 a 170.7 t ha⁻¹, respectivamente. En tanto que Villegas-Jiménez *et al.* (2013), obtuvieron una acumulación de 25.6 t ha⁻¹ para *Pinus greggi* Englem.

CONCLUSIONES

Los modelos de volumen tipo Schumacher-Hall para *Pinus pseudostrobus* Lindl y *P. teocote* Schl. et Cham presentaron un ajuste alto ($R^2_{adj} = 0.97$ y 0.98 , respectivamente), al utilizar como variables predictoras al diámetro normal y altura de árbol. Con la misma expresión y variables independientes es posible explicar el 89 y 97% de la variabilidad existente en la biomasa de ambas especies. Los factores de expansión de biomasa variables, determinados para ambas especies en este estudio, pueden ser utilizados para estimar la biomasa y carbono total aéreo por árbol al emplear datos de un inventario (altura total y diámetro normal) convencional.

LITERATURA CITADA

- Acosta-Mireles, M., J. Vargas-Hernández, A. Velázquez-Martínez y J. D. Etchevers-Barra. 2002. Estimación de la biomasa aérea mediante el uso de relaciones alométricas en seis especies arbóreas en Oaxaca, México. *Agrociencia* 6(36): 725-736.
- Aguirre-Calderón, O.A. y J. Jiménez-Pérez. 2011. Evaluación del contenido de carbono en bosques del sur de Nuevo León. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 2(6):73:83.
- Avendaño-Hernández, 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*. *Revista Fitotecnia Mexicana* 32(3): 233-238.
- Castro, Z. R., R. Arteaga R., M. Vázquez P. y J. L. Jiménez R. 2002. Introducción a la meteorología. Universidad Autónoma Chapingo. México. 247 p.
- Chávez-Pascual, E. Y., G. Rodríguez-Ortiz., J. C. Carrillo-Rodríguez., J. R. Enríquez-del Valle., J. L. Chávez-Servia y G. V. Campos-Angeles. 2013. Factores de expansión de biomasa aérea para *Pinus chiapensis* (Mart.) Andresen. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 6: 1273- 1284.
- Consultoría Forestal y Servicios Agropecuarios S.A. de C.V. (COFOSA). 2005. Programa de manejo forestal persistente de los bienes comunales de Villa Sola de Vega, Oax. México. 250 p.
- Diéguez-Aranda, U., M. Barrio-Anta, F. Castedo-Dorado, A. D. Ruiz-González, M. F. Álvarez-Taboada, J. G. Álvarez-González, y A. Rojo-Alboreca. 2003. *Dendrometría*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 327 p.
- Domínguez-Cabrera, G., O. A. Aguirre-Calderón., J. Jiménez-Pérez., R. Rodríguez-Laguna y J. A. Díaz-Balderas. 2008. 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.

- Fang, J., A. Chen, C. Penq, S. Zhao and L. Ci. 2001. Calculating forest biomass changes in China. *Science* 292: 2320-2330.
- Flores-Nieves, P., M. A. López-López, G. Ángeles-Pérez, M. de L. de la Isla-Serrano y G. Calva-Vásquez. 2011. Modelos para estimación y distribución de biomasa de *Abies religiosa* (Kunth) Schltdl. et Cham. en proceso de declinación. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 2(8): 9-20.
- García, O. 1995. Apuntes de mensura forestal I. Estática. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. Chile 65 p.
- Garzuglia, M. and M. Saket. 2003. Wood volume and woody biomass. Food and Agricultural Organization of the United Nations. Roma. 30 p.
- Gracia, C., J. Vayreda, S. Sabaté and J. Ibáñez. 2004. Main components of the aboveground biomass expansion factors. Departamento de Ecología, Universidad de Barcelona. CREAM, Centro de Reserva Ecológica y Aplicaciones Forestales. Barcelona, Spain. 24 p.
- Loguercio, A. y G. Defossé. 2001. Ecuaciones de biomasa aérea, factores de expansión y de reducción de la Lengua *Nothofagus pumilla* (OPEP. Et Ende.) Krasser, en el SO del Chubut, Argentina. *In: Memorias del Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la captura de Carbono en Ecosistemas Forestales*. Valdivia, Chile. 12 p.
- Londoño, P. O. L., M. G. Luis-Facundo y C. V. Liccy-Catalina. C. 2014. Guía para construir estados del arte. Bogotá, Colombia: International Corporation of Network of Knowledge. 39 p.
- Martínez-de Saavedra, J. y G. Sánchez. 2000. El proceso de cuantificación nacional de los sumideros de carbono en los sistemas forestales españoles. SPCAN-DGCN, Ministerio de Medio Ambiente. Madrid, España. 8 p.
- Masera, O. R., M. J. Ordóñez and R. Dirzo. 1997. Carbon emissions from Mexican forests: current situation and long-term scenarios. *Climatic Change* 35: 265-295.
- Monroy R., C. y J. de J. Nívar C. 2004. Ecuaciones de aditividad para estimar componentes de biomasa de *Hevea brasiliensis* Muell. Arg. en Veracruz, México. *Madera y Bosques* 10(2): 29-43.
- Nívar-Chávez, J. J. 2009. Allometric equations and expansion factors for tropical dry trees of eastern Sinaloa, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 10: 45-52.
- Ordóñez, B. J. A. y O. Masera. 2001. Captura de carbono ante el cambio climático. *Madera y Bosques* 7(1): 3-12.
- Pimienta-de la Torre, D. de J., G. Domínguez-Cabrera, O. Aguirre-Calderón, F. Javier-Hernández y J. Jiménez-Pérez. 2007. Estimación de biomasa y contenido de carbono en *Pinus cooperi* Blanco, en Pueblo Nuevo, Durango. *Madera y Bosques* 13(1): 35-46.
- Ramírez-Martínez, A., W. Santiago-García, G. Quiñonez-Barraza, F. Ruiz-Aquino y P. Martínez-Antúnez. 2016. Modelos de volumen fustal para *Pinus ayacahuite* Ehren. *Revista Mexicana de Agroecosistemas* 3(2): 61-74.
- Rodríguez-Laguna, R., J. Jiménez-Pérez, O. A. Aguirre-Calderón, E. J. Treviño- Garza y R. Razo Z. 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.
- Romahn-de la Vega, C. F., H. Ramírez-Maldonado, y J. L. Treviño G. 2006. Dendrometría. Universidad Autónoma Chapingo. México. 354 p.
- Salas-Eljatib, C. y P. Real-Hermosilla. 2013. Biometría de los bosques naturales de Chile: Estado del arte. *Silvicultura en los bosques nativos: Avances en la investigación en Chile, Argentina y Nueva Zelanda*. Editorial Marisa Cuneo. 365 p.

- Santibañez-González, E. 2014. Captura y almacenamiento de carbono para mitigar el cambio climático: Modelo de optimización aplicado a Brasil. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 30(3): 235-245.
- SAS Institute Inc. 2004. SAS/STAT 9.1 User's guide. SAS Institute, Cary, NC. USA. 4979 p.
- Schulze, E. D., Ch. Wirt and M. Heimann. 2000. Managing forest after Kyoto. *Science* 289(5487):2058-2059.
- Seeberg-Elverfeldt, C. 2010. Las posibilidades de financiación del carbono para la agricultura, la actividad forestal y otros proyectos de uso de la tierra en el contexto del pequeño agricultor. FAO. Roma, Italia. 39 p.
- Silva-Arredondo, F. M. y J. J. Návar-Cháidez. 2008. Factores de expansión de biomasa en comunidades forestales templadas del norte de Durango, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 1(1): 55-62.
- Somogyi, Z., E. Ciencia, P. Muukkonen., A. Lehtonen and P. Weiss. 2006. Indirect methods of large scale forest biomass estimation. *European J. Forest Res.* 3:11-13.
- Tapia, J. y J. Navar. 2011. Ajuste de modelos de volumen y funciones de ahusamiento para *Pinus pseudostrobus* Lindl. en bosques de pino de la Sierra Madre Oriental de Nuevo León, México. *Foresta Veracruzana* 13(2): 19-28.
- Vallejo, A., P. Rodríguez, C. Martínez, P. Hernández y B. de Jong. 2007. Guía para el diseño de proyectos MDL forestal y de bioenergía. CATIE, Turrialba, CR. 253 p.
- Vanclay, J. K. 1994. Modelling forest growth and yield: applications to mixed tropical forests. Southern Cross University. CAB International Wallingford, UK. 312 p.
- Vidal, A., J. Y. Benítez, J. Rodríguez, R. Carlos y H. Gra. 2004. Estimación de la biomasa de copa para árboles en pie de *Pinus caribaea* var. *caribaea* en la E.F.I La Palma de la provincia de Pinar del Río, Cuba. *Revista de Ciencias Forestales* 11:60-66.
- Villegas-Jiménez, D. E., G. Rodríguez-Ortiz, V. A. Velasco V., J. Ruiz L., J. C. Carrillo R y S. E. Ramírez S. 2013. Partición de biomasa aérea en procedencias de *Pinus greggii* plantadas en el sur de México. *Revista Fitotecnia México* 36 (4): 421-427.
- Yerena-Yamallel, J. I., J. Jiménez-Pérez., O. A. Aguirre-Calderón y E. J. Treviño-Garza. 2011. Concentración de carbono en la biomasa aérea del matorral espinoso Tamaulipeco. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 17(2): 283-291.