

Metodologías para estimar biomasa y carbono en especies forestales de México.

Cesar Ruiz-Díaz¹, Gerardo Rodríguez-Ortiz^{*2}, José Cristóbal Leyva-Lopez² y José Raymundo Enríquez-del Valle²

¹Alumno de posgrado, División de Estudios Posgrado e Investigación (DEPI), Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca (ITVO).

²DEPI-ITVO, Domicilio conocido, Ex-hacienda Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca, C.P. 71230. Tel. 01(951)5170444.

*Contacto: grodriguez.itvo@yahoo.com

Resumen

La cobertura de los ecosistemas forestales es un sumidero de carbono (C) importante por las dimensiones y la longevidad que presentan sus individuos. Se han propuesto diferentes metodologías para estimar la cantidad de biomasa y C, pero solo se han realizado para algunas especies de interés.

Es necesario implementar metodologías para cada especie-ecosistema que reduzcan los costos y el tiempo. El objetivo del presente trabajo es analizar las diferentes metodologías existentes para determinar la biomasa-C de especies forestales de diversos ecosistemas. Se realizó una revisión documental actualizada a 2014 de los principales estudios realizados en México y otros países. Se identificaron las metodologías para la estimación de biomasa-C más utilizadas se clasifican en: método indirecto (estimación por ecuaciones alométricas, factores de expansión de biomasa-C y mediante imágenes satelitales) y método directo (pesando y obteniendo submuestras). Por la diversidad de especies y condiciones del sitio que presentan los ecosistemas forestales es recomendable utilizar el método directo, por su precisión y trabajo en campo, el cual se mejora al incluir los compartimientos del árbol (ramas, follaje, raíz, tronco) y del sitio (suelo, mantillo, necromasa, herbáceas y arbustos).

Palabras claves: Ecuación alométrica, factores de expansión de biomasa-carbono, muestreo destructivo.

Methodologies for estimating biomass and carbon in forest species from Mexico.

Cesar Ruiz-Díaz¹, Gerardo Rodríguez-Ortiz^{*2}, José Cristóbal Leyva-Lopez² y José Raymundo Enríquez-del Valle²

¹División de Estudios Posgrado e Investigación (DEPI), Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca (ITVO).

²DEPI-ITVO, Domicilio conocido, Ex-hacienda Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca, C.P. 71230. Tel. 01(951)5170444.

*Contact: grodriguez.itvo@yahoo.com

Abstract

The coverage of forest ecosystems is an important carbon (C) sink because of size and longevity of their individuals. Different methodologies have been proposed to estimate the amount of biomass and C, but only they have been conducted for some species of interest.

It is necessary to implement methodologies for each species/ecosystem in order to reduce costs and time. The aim of this paper is to analyze the different methodologies to determine biomass-C in forest species from diverse ecosystems. A bibliographical review updated to 2014 was conducted over main studies in Mexico and other countries. The methodologies for estimating biomass C are classified as: indirect method (estimated by allometric equations, biomass-C expansion factors and using satellite images) and direct method (weighing and obtaining subsamples). Given the species diversity and site conditions of the forest ecosystems is advisable to use the direct method, because of accuracy and field work, which is improved by including tree compartments (branches, foliage, roots, and stem) and site conditions (soil, mulch, necromass, forbs and shrubs).

Key words: allometric equation, biomass-carbon expansion factors, destructive sampling.

Introducción.

México por su ubicación geográfica, topografía y aspectos socioeconómicos, es especialmente vulnerable a los impactos de la variabilidad y el cambio climático (INE, 2006). Uno de los depósitos más importantes del carbono (C) en la biósfera se encuentra en los ecosistemas terrestres (en la materia orgánica vegetal viva, en la necromasa y en la materia orgánica del suelo), que en comparación con los demás depósitos en la Tierra es pequeño, pero temporalmente muy activo.

Entre tales ecosistemas, los forestales son particularmente importantes como reservorio de C, porque los árboles retienen altas cantidades de este elemento por unidad de área en comparación con otros tipos de vegetación (IPCC, 2001) al intercambiar C con la atmósfera a través de los procesos fotosintéticos y de respiración (Gasparri y Manghi, 2004). El proceso de fotosíntesis fija de forma natural el C, y a su vez mitiga el problema de cambio climático (Karjalainen, 1996). La capacidad de los ecosistemas forestales para almacenar C en forma de biomasa aérea varía en función de la composición florística, la edad y la densidad de población de cada estrato por comunidad vegetal (Binkley, 2004; Castilho *et al.*, 2006; Gargaglione *et al.*, 2010).

Los ecosistemas terrestres son importantes para el ciclo global del C, ya que almacenan en su biomasa 63.8×10^{12} tC (toneladas de carbono), poco menos que el C atmosférico (Brown, 1997a), cuyos flujos son de 120×10^{12} tC año⁻¹ durante el proceso de la fotosíntesis (Beedlow *et al.*, 2004). Sin embargo, de 2005 a 2010, en la biomasa forestal, el C ha disminuido 0.5 Gt C año⁻¹ (FAO, 2011) debido a la pérdida de bosques.

Gran parte de los estudios de biomasa se han realizado en las zonas tropicales (Brown *et al.*, 1989; Chave *et al.*, 2004) y templadas (Návar, 2009; Mendoza y Galicia, 2010).

Las zonas áridas de México representan más de 62 millones de hectáreas (Mäser *et al.*, 1997); no obstante, de manera independiente a la ubicación geográfica, son pocos los estudios sobre almacenes de C que se han realizado en ellas (Gaillard *et al.*, 2002; Méndez *et al.*, 2006; Iglesias y Barchuk, 2010). Aun así, se ha documentado que el reservorio más importante de C en el país se ubica en la vegetación semiárida: 5 Gt CO₂; es decir, 31% del C (Mäser *et al.*, 1997). La cuantificación de biomasa es de gran importancia, puesto que aproximadamente 50% de ella corresponde a este elemento (Brown, 1997a).

De acuerdo con Garzuglia y Saket (2003), la biomasa es la cantidad total de materia orgánica aérea presente en los árboles, incluyendo hojas, ramas, tronco principal y corteza. La determinación adecuada de la biomasa de un bosque es un elemento de gran importancia, debido a que ésta permite determinar los montos de C y otros elementos químicos existentes en cada uno de sus componentes. Representa la cantidad potencial de C que puede ser liberado a la atmósfera, o conservado y fijado en una determinada superficie cuando los bosques son manejados para alcanzar los compromisos de mitigación de gases de efecto invernadero (Brown, 1997b; Schlegel, 2001), tanto al nivel de la vegetación como de los suelos, jugando así un papel importante en el intercambio de CO₂ entre la biósfera y la atmósfera (Jaramillo, 2004; Rosa *et al.*, 2004).

La determinación de esta capacidad constituye un reto cuando se trata de evaluar el potencial de sistemas forestales, naturales, alterados o

inducidos por el hombre, ya que presentan muchas variables que hacen este rubro un tanto difícil de estimar; concretamente se refiere a la cantidad de C fijado en la biomasa de organismos vivos que se gana año con año (es decir, su crecimiento) y a las tasas de descomposición (pérdida de biomasa). La estimación de biomasa y carbono, objetivo de esta investigación fue determinar las metodologías actuales y potenciales para especies arbóreas de ecosistemas forestales.

Planteamiento y Metodología.

Se realizó un estudio detallado, selectivo y crítico de 97 fuentes bibliográficas con la finalidad de examinar los escritos publicados acerca de las metodologías para determinar biomasa-C en los ecosistemas forestales. Se analizó y discutió información reciente hasta 2014 relevante y necesaria sobre estudios realizados en especies arbóreas de ecosistemas forestales, con énfasis en México.

Desarrollo y características del diseño de muestreo utilizado.

Las etapas para calcular biomasa-C a nivel de ecosistema son tres fundamentales (Bastienne, 2001): a) elaboración del inventario forestal, b) determinación de volúmenes de árboles, biomasa y carbono a nivel especie, y c) estimación de biomasa y carbono a nivel poblacional.

Comprende la aplicación de técnicas de planeación, muestreo, registro, análisis e interpretación de datos de campo. Se inicia por la rodalización del ecosistema, la cual consiste en la división

del territorio objetivo espaciales relativamente homogéneas en relación a características fisiográficas como geoforma, altitud, exposición, pendiente, pero dando preferencia a la asociación vegetal, como la edad, estructura y condición sanitaria de la población dominante (IPCC, 2006).

El tamaño de la muestra depende de varios factores: dimensión del área, variabilidad de la muestra, el costo de aplicación, el tiempo para realizarse y la precisión requerida. Debido a que los compartimentos de biomasa-C en los ecosistemas forestales son de alta variabilidad, se recomienda utilizar diseños de muestreo donde del tamaño de muestra se determine en forma parcial (por compartimento). De esta manera, es recomendable utilizar diseños de estratos o conglomerados (Honorio, 2010).

Según Segura y Kanninen (2002), para obtener el tamaño de muestra en un inventario estratificado se puede utilizar la siguiente ecuación:

$$n = \frac{t^2 \times Pse\%^2}{E\%^2 \times \frac{t^2 \times Pse\%^2}{N}}$$

Donde: n = tamaño de muestra, t = valor de *t* student para un 95% de confiabilidad, Pse% = desviación estándar de la población estratificada en porcentaje, E% = error permisible en volumen, N = número de parcelas.

Para el diseño de muestreo, se sugiere seguir la metodología propuesta por la Comisión Nacional Forestal para el Inventario Nacional Forestal y de Suelos (CONAFOR, 2010), el cual consiste en un muestreo estratificado por conglomerados con la finalidad de disponer de elementos estadísticos que

permitan estimar la confiabilidad del inventario e intensificar el muestreo en las zonas con mayor dinámica de cambio y con las estructuras vegetativas más complejas.

Se sugiere utilizar el conglomerado como unidad de muestreo primario. El conglomerado corresponde a una “Y” invertida integrada por cuatro unidades de muestreo secundario o sitios de muestreo de forma rectangular para inventarios forestales en climas tropicales o circulares para inventario forestal de clima templado.

El área de cada sitio es de 400 m² por lo que cada conglomerado equivaldrá a 1600 m². En estos sitios de 400 m² se deben medir y registrar todos los árboles con diámetro normal ≥ 7.5 cm. Las variables a considerar deben ser: número de árbol, género, especie, nombre común y científico, distancia (m) y azimut del centro del sitio a cada uno de los árboles, condición, diámetro normal (cm), grosor de corteza (cm), diámetro de copa (m), altura total (m), altura de fuste limpio (m), altura comercial (m), vigor y daño, entre otras (CONAFOR, 2010).

Dentro de cada unidad muestral se tienen que delimitar sitios pequeños (subsitos), de 12.56 m² y de 1 m² para el registro de diferentes variables. En subsitos de 12.56 m² se deben registrar arbustos y el renuevo de elementos con DN < 7.5 cm y altura ≥ 25 cm, se anota número de individuos por género, frecuencia, vigor, tipo de daño y afectación (%), usos y cobertura (%) por los diferentes estratos; y en los subsitos de 1 m² se registra la presencia y cobertura de hierbas, helechos, musgos y líquenes.

Metodologías para la estimación de biomasa y carbono.

El cálculo de biomasa es el primer paso para evaluar la productividad de los ecosistemas, y la contribución de los bosques tropicales en el ciclo global del C (Parresol, 1999; Ketterings *et al.*, 2001). La biomasa es un parámetro que caracteriza la capacidad de los ecosistemas para acumular materia orgánica a lo largo del tiempo (Brown, 1997a; Eamus *et al.*, 2000); está compuesta por el peso de la materia orgánica aérea y subterránea que existe en un ecosistema forestal (Schlegel *et al.*, 2000). Químicamente, la madera de coníferas y latifoliadas está compuesta elementalmente por carbono (C, 50%), oxígeno (O, 43%), hidrógeno (H, 6%), nitrógeno (N, 0.8%) y de sustancias minerales (0.2%, cenizas) (CONAFOR-Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, 2011). Según el IPCC (2006), la biomasa es la masa total de organismos vivos presentes en un área o volumen dados; se suele considerar biomasa muerta el material vegetal muerto recientemente. La biomasa es importante para cuantificar la cantidad de nutrientes en diferentes partes de las plantas y estratos de la vegetación, permite comparar distintos tipos de especies o vegetación o comparar especies y tipo de vegetación similares en diferentes sitios. La cuantificación de la biomasa y el crecimiento de la vegetación en los ecosistemas son críticos para las estimaciones de fijación de C, un tema actualmente relevante por sus implicaciones en relación al cambio climático (Budowski, 1999; Malhi y Grace, 2000; Snowdon *et al.*, 2001).

Existen dos métodos comúnmente usados

Especie	Densidad básica (kg m ⁻³) [§]	Fuente
<i>Pinus arizonica</i> Engelm	420	Borja-de la Rosa y Tamarit (1997)
<i>Pinus cooperi</i> Blanco	430	Cruz y Borja (1995)
<i>Pinus ayacahuite</i> Ehren	420	Fuentes (1998)
<i>Pinus devoniana</i> Lindley	450	Fuentes (1998)
<i>Pinus patula</i> Schl. et Cham	500	Fuentes (1998)
<i>Juniperus thurifera</i> L.	650	Peraza (1964)
<i>Juniperus virginiana</i> L.	440	Miles y Smith (2009)
<i>Juniperus osteosperma</i>	690	Miles y Smith (2009)
<i>Alnus jorullensis</i> Humboldt, Bonpland & Kunth	400-600	Barrance (2004)
<i>Cedrela odorata</i> L.	440	Wishnie (2007)
<i>Cordia alliodora</i> (Ruiz & Pav.) Oken	460	Wishnie (2007)
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	440	Escobar y Rodríguez (1993)
<i>Eucalyptus camaldulensis</i> Dehnh.	815	Cinco y Mercado (2005)
<i>Eucalyptus globulus</i> Labill.	700	Escobar, y Rodríguez (1993)

Cuadro 1. Densidad básica de la madera de especies de coníferas y hojosas arbóreas.

[§]Peso seco por unidad de volumen verde.

para estimar volumen, biomasa y carbono en ecosistemas forestales: el método directo y el indirecto.

Método indirecto.

Es utilizado cuando existen árboles de grandes dimensiones y en casos en los que se requiere conocer el C de un bosque sin necesidad de derribar los árboles. En éste método se cubica y estima el volumen de las trozas con fórmulas dendrométricas; el volumen total del fuste o de las ramas gruesas se obtiene con

la suma de estos volúmenes parciales. Se toman muestras de madera del componente del árbol y se pesan en el campo, luego se calculan factores de conversión de volumen a peso seco, es decir, la gravedad específica w_r y la gravedad específica seca o densidad básica (Cuadro 1) (González, 2008).

Dentro de los indirectos se utilizan métodos de cubicación del árbol donde se suman los volúmenes de madera, se toman muestras de esta y se pesan en el laboratorio para calcular los factores de conversión de volumen a peso seco, es decir, la gravedad o densidad específica (Segura, 1997).

De acuerdo a lo investigado por Garcidueñas (1987) y Cruz (2007), una de las primeras formas de estimar la biomasa de un individuo (MS) es mediante el producto de la densidad (D_{madera}) y el volumen fresco (V) y por constantes del contenido de humedad.

$$D_{\text{madera}} = \frac{MS}{V_m}$$

Donde: D_{madera} = densidad básica-específica de la madera (g cm^{-3}), MS_m = masa seca de la submuestra de la madera (g), V_m = volumen fresco (verde) de las submuestras (cm^3). Así mismo, entre otras metodologías se encuentran: la técnica del árbol medio (utilizada en rodales coetáneos tomando en cuenta el árbol del área basal media mediante un inventario previo); técnica del árbol estratificado (para rodales incoetáneos se estratifica por clases diamétricas y se usa la técnica del árbol medio).

Método directo (pesando y obteniendo submuestras).

Es denominado también método destructivo y consiste en medir los parámetros básicos de un árbol, entre los más importantes, diámetro a la altura del pecho (DAP, cm), altura total (AT, m), diámetro de copa (DC, m) y longitud de copa (LC, m); derribarlo y calcular la biomasa pesando cada uno de los componentes (fuste, ramas, raíces y follaje) (González, 2008).

Consiste en la extracción física de los árboles proporcional a la frecuencia relativa de la

población, se realiza la disección de éstos en cada uno de sus componentes a evaluar: tronco, ramas, hojas y raíces. Se determina de forma directa la biomasa de cada componente del árbol, de este último se deben tomar submuestras, las cuales deben ser llevadas a laboratorio para obtener el peso seco e inferir el peso de cada componente mediante factores de conversión de biomasa (FCB), dado que en campo se obtuvo el peso fresco. La sumatoria de los componentes dará el peso total de cada individuo (Klinge y Herrera 1983; Araujo *et al.*, 1999; Cruz, 2007). Los FCB se obtienen mediante la relación del peso seco y fresco de la muestra.

El método directo es utilizado para la construcción de ecuaciones alométricas y factores de expansión de biomasa y carbono (Rügnitz *et al.*, 2009).

Estimación por ecuaciones alométricas.

Para entender el concepto de ecuaciones alométricas es necesario saber que la alometría estudia los patrones de crecimiento de los seres vivos y las proporciones de sus partes en relación a las dimensiones totales. Entonces, una ecuación alométrica de biomasa es una herramienta matemática que permite conocer de forma simple, la cantidad de biomasa de un árbol por medio de la medición de otras variables de fácil obtención. Las ecuaciones son generadas a partir de los análisis de regresión, donde se estudian las relaciones entre la masa de los árboles y sus datos dimensionales (Rügnitz *et al.*, 2009).

Para integrar las ecuaciones se requiere de muestreo destructivo de n número de árboles para relacionar alguna de las variables, tales como diámetro normal (DN), altura comercial (AC) y total (AT),

el crecimiento diamétrico, el área basal y la densidad específica de la madera (Brown, 1997a; Araujo *et al.*, 1999; Francis, 2000). Esta técnica es conocida como análisis dimensional o alometría, lo cual consiste en el estudio del cambio de proporción de varias partes de un organismo como resultado de su crecimiento (López, 1988) y es extrapolable a situaciones de crecimiento similares (Parresol, 1999).

Las ecuaciones de biomasa mejoran su predicción cuando se consideran al mismo tiempo las variables diámetro y altura, pero la medición de ésta última no se realiza en la práctica, debido a que toma mucho tiempo y en algunos bosques con coberturas cerradas no es fácil identificar la punta del árbol, sobre todo cuando las mediciones se hacen en forma indirecta. De cualquier manera, en la mayoría de los casos se logra una precisión satisfactoria cuando sólo se usa DN como variable dependiente (Grier y Logan, 1978; Brown, 2001 y Acosta-Mireles *et al.*, 2002).

La ecuación de Brown (1997a) es la más usada y recomendada para estimar biomasa, para estos casos:

$$B = VC \times D \times FE$$

Donde: B = biomasa seca (t ha^{-1}), VC = volumen comercial ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$), D = promedio de densidad de la madera ponderado en base al volumen verde y peso seco (t m^{-3}), FEB = factor de expansión de biomasa (relación entre la biomasa sobre el suelo secada en horno de los árboles y el volumen comercial de la biomasa secada en horno), sin dimensión.

Factores de expansión de biomasa y carbono.

Otra forma de determinar el contenido de C es mediante factores de expansión de biomasa (FEB) y carbono (FEC), donde Gracia *et al.* (2004) define estos factores como: parámetros que transforman el volumen fustal por árbol, en densidad de biomasa y carbono por árbol, para cada tipo de vegetación. Estos factores normalmente se aplican con el interés de reducir costos y tiempo, así como hacer aproximaciones (Husch *et al.*, 2003). Consiste en utilizar los volúmenes de madera calculados en los inventarios forestales con los denominados FEB. Estos FEB se obtienen a través de la densidad de la madera para cada especie: se estima la biomasa arbórea y posteriormente, con otro factor de conversión se transforma la densidad en C (Návar, 2009; Silva-Arredondo y Návar-Cháidez, 2009).

Estudios de biomasa-C mediante imágenes satelitales.

La medición de la biomasa en el terreno implica procedimientos de muestreo destructivo sumamente costosos y muchas veces impracticables, por lo cual comúnmente la misma se estima a partir de muestreos de inventarios forestales aplicando fórmulas de volumen. Además, la biomasa es variable en el espacio y muchas veces responde no sólo a factores climáticos y edáficos sino también a patrones de uso humano. Es por ello que la utilización de imágenes satelitales se presenta como una herramienta adecuada para mejorar las estimaciones de reservas de C y elaborar mapas de biomasa (Dong *et al.*, 2003).

La aplicación de imágenes satelitales para la estimación de biomasa ha presentado buenos resultados en bosques de zonas templadas (Lawrence y Ripple, 1998; Boyd *et al.*, 2002). Por el contrario, en bosques húmedos tropicales esta herramienta ha dado resultados limitados al relacionar datos satelitales con biomasa, índice de área foliar o edad de los bosques secundarios (Steininger, 2000; Foody *et al.*, 2001; Lu *et al.*, 2004). En los casos donde se establecieron buenas relaciones, éstas no han podido ser extrapoladas en el tiempo y el espacio (Foody *et al.*, 2003). Dado que las imágenes satelitales adquiridas en diferentes fechas permiten observar la respuesta espectral de la superficie terrestre a lo largo del tiempo, incluyendo diferentes estados fenológicos, los estudios multitemporales permiten mejorar la capacidad de monitorear variables biofísicas respecto al uso de una única fecha (Cohen *et al.*, 2003).

Estimación de biomasa y carbono (estudios de caso).

En muchos estudios se ha empleado la biomasa de los árboles para estimar su contenido de C, a través del producto de la cantidad disponible en una determinada superficie por un factor que va desde 0.40 hasta el 0.55, esto debido que varios autores han encontrado que es la proporción de C contenido en cualquier especie vegetal. Por otra parte, Figueroa-Navarro *et al.* (2010) determinó porcentajes de C de 47.26% en encino (*Quercus pedunculata* Née) hasta 51.3% en aile (*Alnus glabrata* Fernald), entre otras especies. Díaz *et al.* (2007) determinó la biomasa y C en *Pinus patula* Schl. et Cham, en el Ejido Mariano

Matamoros, Tlaxcala. Se seleccionaron 25 árboles de *P. patula*, sin deformidades ni enfermedades, los cuales ya estaban marcados para aprovechamiento; se trataron de incluir todas las categorías diamétricas que se encontraron en el predio. Antes de derribar cada árbol se midió su DN.

El fuste fue seccionado en trozas comerciales de 2.55 y 1.25 m de longitud, antes del troceo se obtuvieron muestras de rodajas de 5 cm de espesor de cada troza. La primera se obtuvo de la sección que corresponde a la parte baja de la primera troza, las demás rodajas se obtuvieron de la parte más gruesa de las demás trozas. La cubicación del tocón se realizó, como lo describe Avery y Burkhardt (1983), esto es: comparar el volumen del tocón con el de un cono truncado o neiloide, que es lo recomendado para coníferas. Las ramas fueron separadas del follaje y se pesaron de manera independiente, no sin antes haber obtenido de una a cuatro muestras de cada componente de acuerdo al tamaño del árbol. El peso fresco de cada componente, y su respectiva muestra se determinaron con una báscula.

La biomasa total de cada componente (fuste, ramas y follaje) del árbol, se empleó el factor resultante de la relación peso seco:peso fresco de la muestra tomada de cada componente y luego se multiplicó por el peso fresco correspondiente a todo el componente. La suma de la biomasa total del fuste (trozas) y de la copa (ramas, follaje), fue la biomasa aérea total de cada árbol (Acosta-Mireles *et al.*, 2002).

El DN (diámetro normal) de los árboles muestreados varió en un rango de 6.7 a 64.1 cm y su biomasa de 7.62 a 2741.76 kg (Figura 1). Al ajustar la ecuación para determinar la biomasa

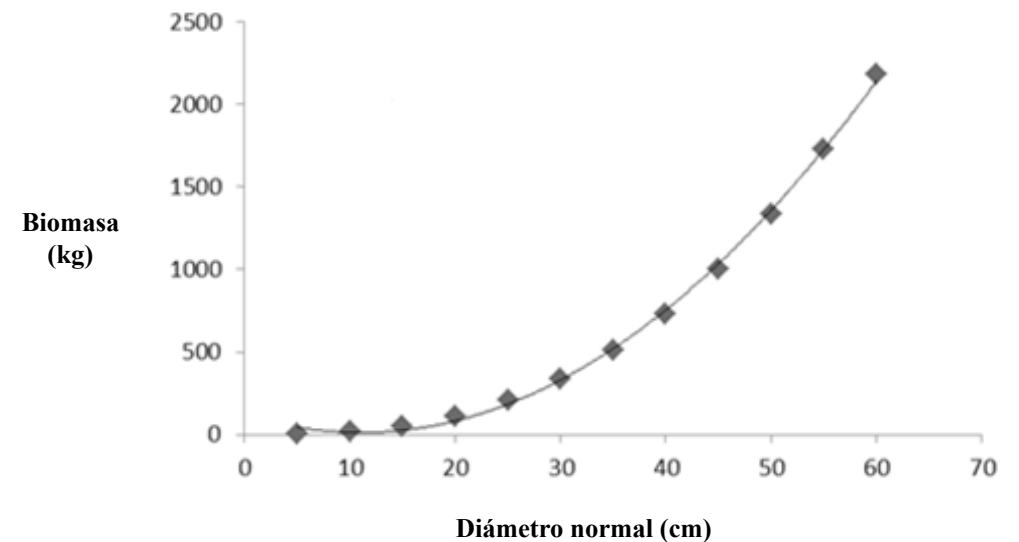


Figura 1. Dispersión de los valores observados de *Pinus patula* Schl. et Cham. y la línea de regresión generada con los datos de biomasa.

en función del diámetro normal presentó un pseudo- $R^2 = 0.98$. La ecuación determinada para estimar la biomasa de *Pinus patula* Schl. et Cham, quedó expresada como:

$$B=0.0357 \times DN^{2.6916}$$

Donde B = biomasa (kg) y DN = diámetro normal (cm). Para estimar el contenido de carbono en la biomasa de los componentes de cada árbol se empleó la siguiente expresión:

$$CCC=BTC \times \%C$$

Donde, CCC = contenido de carbono por componente (fuste, ramas y follaje; expresado en kg), BTC = biomasa total del componente (kg),

y %C = porcentaje de carbono del componente determinado directamente en el laboratorio. La ecuación para estimar el contenido de carbono quedó expresada como:

$$CC=0.021 \times DN^{2.6451}$$

Donde CC = contenido de carbono (kg) y DN = diámetro normal (cm). La dispersión de puntos de los valores observados se presenta en la Figura 2. Al ajustar la ecuación para determinar el contenido de carbono en función del diámetro normal presentó un $R^2 = 0.98$ (Figura 2).

Referente a la proporción de C por componente, el fuste almacena 82% del total, las ramas y el follaje, disponen del 10 y 8%, respectivamente.

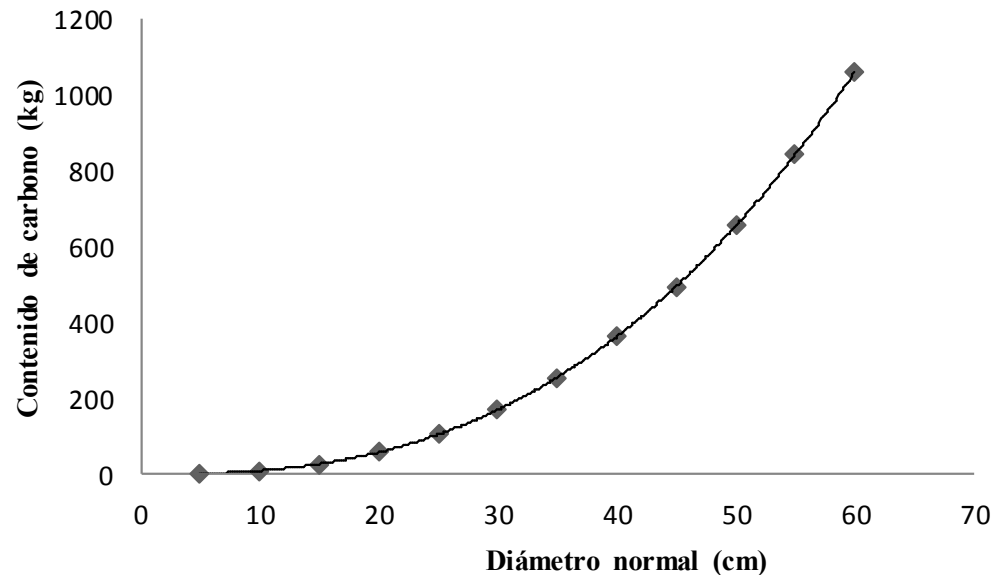


Figura 2. Dispersión y línea ajustada para los datos de contenido de carbono.

Especie	Biomasa (kg/árbol)	Fuente
<i>P. lambertiana</i> Douglas	87.0	Grier y Logan (1978)
<i>P. ponderosa</i> Douglas ex Lawson	79.0	Gholz <i>et al.</i> (1979)
<i>P. virginiana</i> Mill.	160.0	Saucier y Boyd (1982)
<i>P. montezumae</i> Lamb.	95.0	Garcidueñas (1987)
<i>P. patula</i> Schl. et Cham	113.0	Díaz <i>et al.</i> (2007)
<i>P. pseudostrobus</i> Lin.	140.72	Aguirre y Jiménez (2011)
<i>P. teocote</i> Schiede ex Schltl.	160.78	Aguirre y Jiménez (2011)

Cuadro 2. Biomasa de árboles de *Pinus* spp. con diámetro de 20 cm.

Algunos autores han determinado la biomasa de árboles de *Pinus* spp. donde se consideró calcular la biomasa de un árbol hipotético con un DN de 20 cm (Cuadro 2).

Jiménez *et al.* (2013) determinaron la concentración de C total en la biomasa aérea en las especies representativas del bosque, el promedio de C total estimado para *Pinus pseudostrobus* Lin. (50.35%) fue similar al de Gutiérrez y Lopera (2001), quienes para *Pinus patula* Schiede determinaron 51.2% en Colombia, *Pinus greggii* Englem. contiene (51% de C en Hidalgo (Pacheco *et al.*, 2007).

Por otra parte, la concentración de C total obtenida para las especies del género *Quercus* resultó de 47.98%, más baja que la citada por Silva (2006) y López (2006), quienes consignan un valor de 54%.

Galeana *et al.* (2013) estimaron el contenido de C de la biomasa aérea de seis tipos de cobertura vegetal en la cuenca del río Magdalena, ubicada en el suelo de conservación del Distrito Federal (Cuadro 3).

Los valores de incremento medio anual de biomasa para *Pinus pseudostrobus* y *P. teocote* Schiede ex Schltl. son diferentes a la edad base de 50 años, para igual índice de sitio, con valores de

Cobertura vegetal	Cantidad de		Fuente
	Carbono (tC ha ⁻¹)	Biomasa (tC ha ⁻¹)	
<i>Abies religiosa</i> Kunth Schltl. et Cham. – <i>Pinus hartwegii</i> Endl.	107		(Galeana <i>et al.</i> , 2013)
<i>Abies religiosa</i> Kunth Schltl. et Cham.	95		(Galeana <i>et al.</i> , 2013)
<i>Pinus</i> sp. y <i>Pinus hartwegii</i>	47		(Galeana <i>et al.</i> , 2013)
<i>Pinus hartwegii</i> Endl. – <i>Abies religiosa</i> Kunth Schltl. et Cham.	39		(Galeana <i>et al.</i> , 2013)
<i>Pinus hartwegii</i> Endl.	21		(Galeana <i>et al.</i> , 2013)
Bosque tropical subcaducifolio		136.9	(Rodríguez-Laguna <i>et al.</i> 2007)
Bosques mediterráneos del género <i>Quercus</i> (Tamaulipas)		64-121	(Rapp <i>et al.</i> , 1999)
Bosque de pino-encino (Durango)		99.84	(Silva-Arredondo y Nívar-Cháidez, 2010)

Cuadro 3. Contenidos de carbono y biomasa por vegetación.

4.35 tB (toneladas de biomasa) ha⁻¹ y 3.25 tB ha⁻¹, respectivamente. En comparación, *Pinus patula* muestra tasas de incremento de 6.7 tB ha⁻¹, en Hidalgo (Figueroa-Navarro *et al.*, 2010),

Conclusiones.

Entre los métodos directos e indirectos para estimar biomasa-carbono y debido a las condiciones de los ecosistemas forestales de México se recomienda el primero de ellos, pues involucra obtener los datos precisos de las variables involucradas en la estimación. Aunque la elección final de un método se tomará de acuerdo a los recursos existentes y a las condiciones de los ecosistemas mexicanos, es una buena estrategia explorar métodos mixtos de evaluación; por ejemplo el uso de imágenes satelitales y sistemas de información geográfica, que necesariamente deben acompañarse del muestreo en campo y de la validación de los modelos generados.

Literatura citada.

Acosta-Mireles, M., J. Vargas-Hernández, A. Velásquez-Martínez & J. D. Etchevers- Barra. 2002. Estimación de la biomasa aérea mediante el uso de relaciones alométricas en seis especies arbóreas en Oaxaca, México. *Agrociencia* 36(6), 725-736.

Aguirre C., O. A. & J. Jiménez P. 2011. Evaluación del contenido de carbono en bosque del sur de Nuevo León. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 2(6), 73-84.

Araujo T., M., N. Higuchi & J. A de Carvalho J. 1999. Comparison of formula for biomass content determination in a tropical rain forest site in the state of Paraná. Brazil. *Forest Ecology and Management* 117, 43-52.

Avery, T. E. & H. E. Burkhardt. 1983. *Forest measurement*. 3a. ed. McGraw-Hill Book Company, Nueva York.

Barrance, A., J. Beer, D. Boshier, J. Chamberlain, J. Cordero, G. Detlefsen, B. Finegan, G. Galloway, M. Gómez, J. Gordon, M. Hands, J. Hellin, C. Hughes, M. Ibrahim, R. Leakey, F. Mesén, M. Montero, C. Rivas, E. Somarriba & J. Stewart. 2004. *Árboles de Centroamérica*. CATIE, Costa Rica.

Bastienne S., J. Gayoso & J. Guerra. 2001. *Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques de Chile y promoción en el mercado mundial*. Universidad Austral de Chile. Valdivia.

Beedlow, P. A., D. T. Tingey, D. H. Phillips, W. E. Hogsett & D. M. Olszyk. 2004. Rising atmospheric CO₂ and carbon sequestration in forests. *Frontiers in Ecology and the Environment* 2(6), 315-322.

Begon M, J. Harper & C.R. Townsend. 1996. *Ecology: individuals, populations and communities*. Blackwell Scientific Publications. Oxford, UK.

Binkley, D. 2004. A hypothesis about the interaction of tree dominance and stand production through stand development. *Forest Ecology and Management* 190, 265-271.

Borja-de la Rosa A. & C. Tamarit J. 1997. Propiedades tecnológicas de la madera de *Pinus arizonica* Engelm, del estado de Durango, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 3(1), 103-108.

Boyd, D.S., G.M. Foody & W.J. Ripple. 2002. Evaluation of approaches for forest cover estimation in the Pacific Northwest, USA, using remote sensing. *Appl. Geography* 22, 375-392.

Brown S. 1996. Mitigation potential of carbon dioxide emission by management of forest in Asia. *Ambio* 25(4), 273-278.

Brown, S. 1997a. Los bosques y el cambio climático: el papel de los terrenos forestales como sumideros de carbono. *In: Congreso Forestal Mundial*. Antalya Turquía.

Brown, S. 1997b. Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a primer. FAO Forest Paper 143, FAO, Roma.

Brown, S. 2001. Measuring carbon in forests: current status and future challenges. *Environ. Poll.* 116, 363-372.

Brown, S., A. J. R. Gillespie & A. E. Lugo. 1989. Biomass estimation methods for tropical forest with applications to forest inventory data. *Forest Science* 35(4), 881-902.

Budowski B. 1999. Secuestro de carbono y gestión forestal en América Tropical. *Bosques y Desarrollo*. 20(21), 17-20.

Castillo, C. V. D., W. E. Magnusson, O.D. Araujo R. N., R.C.C. Luizao, F.J. Luizao, A.P. Lima & N. Higuchi. 2006. Variation in aboveground tree live biomass in a

central Amazonian forest: effects of soil and topography. *Forest Ecology and Management* 234, 85-96.

Chave, J., R. Condit, S. Aguilar, A. Hernández, S. Lao & R. Pérez. 2004. Error propagation and scaling for tropical forest biomass estimates. *Philosophical Transactions of the Royal Society London B. Biological Science* 359, 409-420.

Ciesla W.M. 1996. *Cambio climático, bosques y ordenación forestal. Una visión de conjunto*. FAO. Roma, Italia.

Cinco, Y. & O. Mercado. 2005. Determinación de las propiedades físicas y de trabajabilidad del *Eucalyptus camaldulensis*. *Copérnico: Revista arbitrada de divulgación científica* 1(2), 60-64.

Cohen, W., T. Maierperger, S. Gower & D.P. Turner. 2003. An improved strategy for regression of biophysical variables and Landsat ETM+ data. *Rem. Sens. Environ.* 84, 561-571.

CONAFOR. 2010. *Inventario Nacional Forestal y de Suelos. Manual y procedimientos para el muestreo de campo*. México.

CONAFOR-Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. 2011. *Consideraciones tecnológicas en la protección de la madera*. México.

Cruz D., J. & A. Borja de la R. A. 1995. Estudio tecnológico de la madera de *Pinus cooperi* Blanco del estado de Durango. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 1(1), 17-22.

Cruz M., Z. 2007. *Sistema de ecuaciones para estimación y participación de biomasa aérea en Atopixco, Zacualtipán, Hidalgo*. Tesis maestría. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México.

- Díaz F., R., M. Acosta M., F. Carrillo A., E. Buendía R., E. Flores A., & J. Etchevers B. 2007. Determinación de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Pinus patula* Schl. et Cham. *Madera y Bosques* 13, 25-34.
- Dong, J., R. Kaufmann, R.B. Myneni, C.J. Tucker, P.E. Kauppi, J. Liskid, W. Buermann, V. Alexeyev & M.K. Hughes. 2003. Remote sensing estimates of boreal and temperate forest woody biomass: carbon pools, sources, and links. *Rem. Sens. Environ.* 84, 393-410.
- Eamus, K., Mc Guinness & W. Burrows. 2000. *Review of allometric relationships for estimating woody biomass for Queensland, the northern territory and Western Australia*. National Carbon Accounting System. Australia.
- Escobar, Ó. & J. Rodríguez. 1993. *Las maderas en Colombia*. Universidad Nacional de Colombia – SENA. Medellín, Colombia.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2011. *Situación de los bosques del mundo*. Roma, Italia.
- Figuerola-Navarro, C. M., G. Ángeles-Pérez, A. Velázquez-Martínez & H. M. de los Santos-Posadas. 2010. Estimación de la biomasa en un bosque bajo manejo de *Pinus patula* Schtdl. et Cham. en Zacualtipán, Hidalgo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 1(1), 105-112.
- Foody, G., D. Boyd & M. Cutler. 2003. Predictive relations of tropical biomass from Landsat TM data and their transferability between regions. *Rem. Sens. Environ.* 85, 463-474.
- Foody, G., M. Cutler, J. McMorrow, D. Pelz, H. Tangki, D. Boyd & I. Douglas. 2001. Mapping the biomass of Bornean rain forest from remotely sensed data. *Global Ecol. Biogeogr.* 10, 379-387.
- Francis, J. K. 2000. Estimating biomass and carbon content of saplings in Puerto Rican secondary forests. *Caribbean Journal of Science* 36(3-4), 346-350.
- Fuentes S., M. 1998. Propiedades tecnológicas de las maderas mexicanas, de importancia en la construcción. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 4(1), 221-229.
- Gaillard de B., C., M. Pece, M. de Juárez, S. Vélez, A. Gómez & M. Zárate. 2002. Determinación de funciones para la estimación de biomasa aérea individual en jarilla (*Larrea divaricata*) de la provincia de Santiago del Estero, Argentina. *Foresta Veracruzana* 4(2), 23-28.
- Galeana P.J.M., J.A.B. Ordoñez D. & R.N. Corona. 2013. Estimación de contenido de carbono en la cuenca del río Magdalena, México. *Revista Mexicana de Ciencias. Fororestales* 2, 1-8.
- Garcidueñas M., A. R. 1987. *Producción de biomasa y acumulación de nutrientes en un rodal de Pinus montezumae Lamb.* Tesis maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillos, México.
- Gargaglione V., P.L. Peri & G. Rubio. 2010. Allometric relations for biomass partitioning of *Nothofagus antarctica* trees of different crown classes over a site quality gradient. *Forest Ecology and Management* 259, 1118-1126.
- Garzuglia, M. & M. Saket. 2003. *Wood volume and woody biomass*. Food and Agricultural Organization of the United Nations. Roma.
- Gasparri, I. y E. Manghi. 2004. *Estimación de volumen, biomasa y contenido de carbono de las regiones forestales argentinas*. Dirección de Bosques, Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. Unidad de Manejo del Sistema de Evaluación Forestal. Argentina.
- Gholz, H.L., C.C. Grier, A.C. Campbell & A.T. Brown. 1979. *Equations for estimating biomass and leaf area of plants in the Pacific Northwest*. Research Paper 41. Forest Research Laboratory, Oregon State University, Corvallis, OR.
- González Z., M. 2008. *Estimación de la biomasa aérea y la captura de carbono en regeneración natural de Pinus maximinoi H. E. Moore, Pinus oocarpa var. ochoterenai Mtz. y Quercus sp. en el norte del estado de Chiapas, México*. Tesis de Magister Scientiae en Manejo y Conservación de Bosques Naturales y Biodiversidad. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica.
- Gracia, C., J. Vayreda, S. Sabaté & J. Ibáñez. 2004. *Main components of the aboveground biomass expansion factors*. Departamento de Ecología, Universidad de Barcelona. CREAL, Centre de Recerca Ecológica i Aplicacions Forestals. Barcelona, Spain.
- Grier, C.C. & R.S. Logan, 1978. Oldgrowth Douglas-fir communities of a western Oregon watershed: biomass distribution and production budgets. *Ecol. Monogr.* 47(4), 373-400.
- Gutiérrez, V. & G. Lopera. 2001. *Metodología para la cuantificación de existencias y flujos de carbono en plantaciones forestales*. In: Gayoso, J. y R. Jandl. (eds.). Medición y monitoreo de la captura de carbono en ecosistemas forestales. IUFRO World Series. Viena, Austria. 13, 75-85.
- Honorio, C.E. N & T. R. Baker. 2010. *Manual para el monitoreo del ciclo del carbono en bosques amazónicos*. Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana. Universidad de Leeds. Lima.
- Husch, B., T. W. Beers & J. A. Kershaw. 2003. *Forest mensuration*. 4 ed. Hoboken, New Jersey, Wiley & Sons.
- Iglesias, M. R. & A. H. Barchuk. 2010. Estimación de la biomasa aérea de seis leguminosas leñosas del Chaco Árido (Argentina). *Ecología Austral* 20(1), 71-79.
- INE. 2006. *Tercera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. México.
- IPCC (The Intergovernmental Panel on Climate Change). 2006. *Glosario del IPCC para el Cambio Climático*. Consultado 3/mar/2014. Disponible en <http://www.greenfacts.org/es/cambio-imatico/toolboxes/glossary.htm>.
- IPCC. 2001. *Climate Change 2001: Synthesis Report*. In: R.T. Watson, & The Core Writing Team (Eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY.
- Jaramillo, V. 2004. *El ciclo global del carbono*. In: J. Martínez y A. Fernández (comp.). Cambio Climático: una visión desde México. INE-SEMARNAT. México.
- Jiménez, P. J., E.J. Treviño G. & J.I. Yerena Y. 2013. Concentración de carbono en especies del bosque de pino-encino en la Sierra Madre Oriental. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 4(2), 1-6.
- Johnson, D. W. & D.E. Todd. 1998. Harvesting effects on long term changes in the nutrient pools of mixed oak forest. *Soil Science Soc. Am. J.* 62, 1725-1735.
- Karjalainen, T. 1996. Dynamics and potentials of carbon sequestration in managed stands and wood products under changing climatic conditions. *Forest Ecology and Management* 80, 113-132.
- Ketterings, Q. M., R. Coe, M. Van Noordwijk, Y. Ambagau & C.A. Palm. 2001. Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forests. *For. Ecol. Manage.* 146, 199-209.

- Klinge H. & R. Herrera. 1983. Phytomass structure of natural plant communities on spodosols in Southern Venezuela: The tall Amazon Caatinga Forest. *Vegetation* 53, 65-64.
- Lawrence, R.L. & W.J. Ripple. 1998. Comparisons among vegetation indices and bandwise regression in a highly disturbed, heterogeneous landscape: Mount St. Helens, Washington. *Rem. Sens. Environ.* 64, 91-102.
- López R., C. 1988. *Modelos para estimación de biomasa de Pinus cembroides Zucc.* Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- López T., A. 2006. *Estimación de factores de expansión de volumen a biomasa y carbono en ecosistemas forestales en Chihuahua, México.* Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Forestales Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, N.L. México.
- Lu, D., P. Mausel, E. Brondízio & E. Moran. 2004. Relationships between forest stand parameters and Landsat TM spectral responses in the Brazilian Amazon basin. *For. Ecol. Manage.* 198, 149-167.
- Malhi & J. Grace. 2000. Tropical forests and atmospheric carbon dioxide. *Trends in Ecology and Evolution* 15(8), 332-336.
- Masera O., R., M. J. Ordoñez & R. Dirzo. 1997. Carbon emissions from Mexican forests: Current situation and longterm scenarios. *Climatic Change* 35(3), 265-295.
- Méndez G., J., A. Santos, J. A. Nájera & V. González. 2006. Modelos para estimar volumen y biomasa de árboles individuales de *Prosopis glandulosa*, var. *torreyana* en el Ejido Jesús González Ortega No 1, Mpio. de Mexicali, B.C. *Agrofaz.* 6(2), 226-235.
- Mendoza P., A. & L. Galicia. 2010. Aboveground and belowground biomass and carbon pools in highland temperate forest landscape in Central Mexico. *Forestry* 83(5), 497-506.
- Miles D. P. & W. B. Smith. 2009. *Specific gravity and other properties of wood and bark for 156 tree species found in North America.* Northern Research Station Research Note NRS-38 United States Department of Agriculture Forest Service.
- Návar, J. 2009. Biomass component equations for Latin American species and groups of species. *Annals Forest Science* 66(2), 208-216.
- Návar-Cháidez, J.J. 2009. Allometric equations and expansion factors for tropical dry trees of eastern Sinaloa, Mexico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 10, 45-52.
- Pacheco E., F. C., A. Aldrete, A. Gómez G., A. M. Fierros G., V. M. Cetina A. & H. Vaquera H. 2007. Almacenamiento de carbono en la biomasa aérea de una plantación joven de *Pinus greggii* Engelm. *Revista Fitotecnica Mexicana* 30(3), 251-254.
- Parresol, B. R. 1999. Assessing tree and stand biomass: a review with examples and critical comparisons. *Forest Science* 45(4), 573-593.
- Peraza O., C. 1964. *Estudio de las maderas de coníferas españolas y de la zona norte de Marruecos.* Edit. Ministerio de Agricultura, Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias, Madrid, España.
- Rapp, M. I., S. Regina, M. Rico & H. Gallego. 1999. Biomass, nutrient content, litterfall and nutrient return to the soil in Mediterranean oak forests. *Forest Ecology and Management* 119(1-3), 39-49.
- Rodríguez-Laguna, R., J. Jiménez-Pérez, O. Aguirre-Calderón & E. Jurado-Ybarra. 2007. Ecuaciones alométricas para estimar biomasa aérea en especies de encino y pino en Iturbide, N. L. *Ciencia Forestal en México* 32(101), 39-56.
- Rosa, H., S. Kandel & L. Dimas. 2004. *Compensación por servicios ambientales y comunidades rurales: Lecciones de las Américas y temas críticos para fortalecer estrategias comunitarias.* INE, SEMARNAT, PRISMA, CCMSS. México.
- Rügnitz T. M., M. C. León & R. Porro. 2009. *Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales.* Manual técnico 11, Centro Mundial Agroforestal (ICRAF)/ Consorcio Iniciativa Amazonica (IA). Lima, Perú.
- Saucier J.R. & J.A. Boyd. 1982. *Above ground biomass of Virginia pine in North Georgia.* U.S.D.A. Forest Service. Res. Pap. SE-232. U.S.A.
- Schlegel B., J. Gayoso & J. Guerra. 2000. *Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques de Chile y promoción en el mercado mundial: Manual de procedimientos: Muestras de biomasa forestal.* Valdivia, Chile. Universidad Austral de Chile.
- Schlegel, B. 2001. *Estimación de biomasa y carbono en bosques del tipo forestal siempre verde.* Universidad Austral de Chile. In: Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales. Valdivia, Chile.
- Segura M. & M. Kanninen. 2002. Allometric models for tree volume and total aboveground biomass in a tropical humid forest in Costa Rica. *Biotropica* 37(1), 2-8.
- Segura, M. 1997. *Almacenamiento y fijación de carbono en Quercus costarricensis, en un bosque de altura en la cordillera de Talamanca, Costa Rica.* Tesis de Licenciatura, Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica.
- Silva A., F. 2006. *Estimación de factores de expansión de biomasa y carbono en ecosistemas forestales del norte de México.* Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Forestales Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, N.L. México. .
- Silva-Arredondo, F. M. & J. J. Návar-Cháidez. 2009. Estimaciones de factores de expansión de carbón en comunidades forestales templadas del norte de Durango, México. *Revista Chapingo: Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 15(2), 155-160.
- Silva-Arredondo, F. M., & J. J. Návar-Cháidez. 2010. Factores de expansión en comunidades forestales templadas del norte de Durango, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 1(1), 55-62.
- Snowdon P., J. Raison, H. Keith, K. Montagu, H. Bi, P. Ritson, P. Grieson, M. Adams, W. Burrows & D. Eamus. 2001. *Protocol for sampling tree and stand biomass.* National Carbon Accounting System technical report, N° 31. Australia.
- Steininger, M.K. 2000. Satellite estimation of tropical secondary forest above-ground biomass: data from Brazil and Bolivia. *Int. J. Rem. Sens.* 21, 1139-1157.
- Wishnie, M., D. Dent, E. Mariscal, J. Deago, N. Cedeño, D. Ibarra, R. Condit & P. Ashton. 2007. Initial performance and reforestation potential of 24 tropical tree species planted across a precipitation gradient in the Republic of Panama. *Forest Ecol. and Manag.* 243, 39-49
-
- Cita sugerida:** C. Ruiz-Díaz, G. Rodríguez-Ortiz y J-R. Enríquez-del-Valle. Metodologías para estimar biomasa y carbono en especies forestales de México. *Naturaleza y Desarrollo* 12(1), 28-45.
-
- Recibido: 19/12/13 Aceptado: 19/05/14