

# BIOMASA AÉREA Y FACTORES DE EXPANSIÓN DE ESPECIES ARBÓREAS EN BOSQUES DEL SUR DE NUEVO LEÓN

G. Domínguez-Cabrera<sup>1</sup>; O. A. Aguirre-Calderón<sup>2</sup>;  
J. Jiménez-Pérez<sup>2</sup>; R. Rodríguez-Laguna<sup>3</sup>;  
J. A. Díaz-Balderas<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Bosque Sustentable A. C. Avenida la Presa s/n, Col. El Panteón,  
C. P. 76340, Jalpan de Serra, Qro. MÉXICO.

<sup>2</sup>Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León.  
Carretera Nacional km. 145, C. P. 67700, Linares, N. L. MÉXICO.

<sup>3</sup>Instituto de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.  
Ex Hacienda Aquetzalpa. C. P. 43600, Tulancingo, Hgo. MÉXICO.

## RESUMEN

El objetivo de este estudio fue la estimación de biomasa y el cálculo de factores de expansión de *Pinus pseudostrobus*, *Pinus teocote*, y *Quercus* spp., en bosques del Sur de Nuevo León, México. Se derribaron de 8 a 16 árboles por especie, se determinó el peso húmedo en campo, se extrajeron muestras para determinar la relación Peso seco-Peso húmedo (Ps/Ph), con la que se calculó el peso seco total de cada árbol. Se ajustaron modelos de biomasa. La ecuación que mejor se ajustó presentó la forma  $y = a(E^{b/D}) + 1.3$ , donde  $y$  es la biomasa aérea,  $E$  exponencial,  $D$  diámetro normal,  $a$ ,  $b$  parámetros y 1.3 constante. En todos los casos el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) fue mayor a 0.89 y el error estándar porcentual ( $S_x\%$ ) menor a 30.9. Se estimó la biomasa por tipo de bosque de acuerdo a los datos de 1,053 árboles obtenidos en las parcelas de muestreo de 400 m<sup>2</sup>, obteniéndose para el bosque de pino 125.333 toneladas de biomasa por hectárea (tB·ha<sup>-1</sup>), el de encino-pino 112.593 tB·ha<sup>-1</sup> y el de pino-encino 96.688 tB·ha<sup>-1</sup>. Se calcularon factores de expansión de biomasa ( $F_{exp}$ ), los valores promedio obtenidos fueron 1,373 para *Pinus pseudostrobus*, 1,394 para *P. teocote* y 1,511 para *Quercus* spp.

**PALABRAS CLAVES:** biomasa, factor de expansión, modelos de biomasa.

## AERIAL BIOMASS AND EXPANSION FACTORS OF TREE SPECIES IN SOUTHERN FORESTS OF NUEVO LEÓN, MEXICO

### SUMMARY

The objective of this work was to estimate the biomass and calculate the expansion factors of *Pinus pseudostrobus*, *Pinus teocote*, and *Quercus* spp. in the Southern forests of Nuevo Leon, Mexico. 8 to 16 trees of each species were cut down and its humid weight was determined, in field samples were taken to determine the relation dry weight/ humid weight (Ps/Ph), with which the total dry weight was calculated for each tree. Biomass models were adjusted. The equation that best adjusts was, where  $y$  is the aerial biomass,  $E$  exponential,  $D$  dbh,  $a$ ,  $b$  parameters and 1.3 constant. In all the cases the  $R^2$  was greater than 0.89 and the standard error ( $S_x \%$ ) smaller than 30.9. The biomass was estimated by forest type according to the data of 1,053 trees obtained from the 400m<sup>2</sup> sampling plots, being for the pine forest 125,333 t of biomass per hectare (tB·ha<sup>-1</sup>), in oak-pine 112.593 tB·ha<sup>-1</sup> and in pine-oak 96.688 tB·ha<sup>-1</sup>. Biomass expansion factors were determined ( $F_{exp}$ ), the mean values were 1,373 for *Pinus pseudostrobus*, 1,394 for *P. teocote* and 1,511 for *Quercus* spp.

**KEY WORDS:** biomass, expansion factors, biomass models.

## INTRODUCCIÓN

El incremento en la atmósfera de los llamados gases de efecto invernadero (GEI) y el consecuente cambio climático global presenta ya efectos importantes en este Siglo XXI. Si bien los escenarios exactos todavía son inciertos, es de esperar severos efectos negativos, por lo que es esencial que sean tomadas en cuenta medidas y metodologías para reducir las emisiones de estos gases, partiendo de las bases establecidas en el Protocolo de Kyoto (IPCC, 2000).

El principal gas de efecto invernadero es el bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y las fuentes principales de liberación de este gas a la atmósfera son el uso de combustibles fósiles, los procesos de combustión en la producción de cemento en los países industrializados, así como la deforestación y el cambio de uso de suelo en países tropicales (Brown y Lugo, 1992). En México, las principales actividades que inciden en la emisión de carbono son: el sector de energía, por el uso de combustibles fósiles, con 83.8 MtC, el cambio de uso de suelo de áreas forestales con 30.2 MtC y los procesos de la industria del cemento con 3.1 MtC (Gay y Martínez, 1995).

Este proceso de liberación de carbono a la atmósfera se puede revertir al proteger y conservar los ecosistemas arbóreos y arbustivos, así como la reforestación y restauración de ecosistemas degradados (White *et al.*, 2000).

De esta manera los bosques tienen un papel importante no sólo como factor de desarrollo de un país y de sus modelos de sostenibilidad, sino que adquieren importancia mundial por su reconocimiento como productores de biomasa y almacenes en los sistemas contables de los ciclos de carbono (Dauber *et al.*, 2003).

Con objeto de estimar con precisión la capacidad de captura de carbono de una determinada especie, es necesario que se realicen determinaciones de biomasa. Sin embargo, estimar biomasa implica métodos destructivos, lo que presupone dificultades operativas con costos elevados. Una alternativa es realizar determinaciones directas en menor escala y emplear modelos de regresión (ecuaciones alométricas) que puedan proporcionar estimaciones confiables a partir de mediciones de árboles en pie (Deans *et al.*, 1996; Sanquetta *et al.*, 2002; Rodríguez *et al.*, 2007).

De acuerdo con Brown *et al.* (1989), las estimaciones de biomasa a nivel regional, nacional o mundial utilizan la información de inventarios forestales, logrando así una gran cobertura para representar la población de interés. Con base en los datos de inventario se emplean dos métodos de estimación de biomasa: el primero, utilizando ecuaciones matemáticas y el segundo, basado en factores de expansión.

Husch *et al.* (2003), señalan que la mayoría de las ecuaciones para determinar volumen sólo utilizan el diámetro normal y la altura total del árbol por lo que no incluyen otros componentes como raíces, hojas y ramas. Los factores de expansión son utilizados para obtener una estimación de biomasa de los árboles incluyendo todos sus componentes y por lo general se utiliza la multiplicación de la densidad básica promedio por el volumen de cada árbol.

Si bien en México existen trabajos relacionados con la determinación de biomasa en diferentes ecosistemas (Ordóñez *et al.*, 2001; Návar *et al.*, 2004; Díaz-Franco *et al.*, 2007; Pacheco *et al.*, 2007; Pimienta de la Torre *et al.*, 2007; Aguirre-Salado *et al.*, 2009), en el estado de Nuevo León, la información relativa a este tópico es limitada (Rodríguez *et al.*, 2007), por lo que se hace necesario desarrollar trabajos tendientes a establecer bases metodológicas para la estimación de biomasa y evaluación del carbono capturado.

Los objetivos de este trabajo fueron la estimación de biomasa aérea a partir de modelos de predicción y la obtención de factores de expansión de biomasa para las especies, *Pinus pseudostrobus* Lindl., *Pinus teocote* Schl. et Cham. y tres especies de encino (*Quercus laceyi* Small., *Quercus canbyi* Trel. y *Quercus rysophylla* Weath), agrupadas bajo la denominación *Quercus* spp., representativas de los bosques del sur de Nuevo León.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Descripción del área de estudio

El área de estudio se localiza en el Ejido Corona del Rosal, municipio de Galeana en la región sureste del estado de Nuevo León, México, que tiene una superficie de 6,646.42 ha. Geográficamente se ubica entre los 24°27'23" y 24°32'51" de latitud norte y entre los 99° 53'54" y 100°01'34" de longitud oeste. La temperatura media anual es de 17.9 °C. Con una precipitación media anual de 430.3 mm. El clima se define como seco, del tipo semiseco, subtipo semiseco templado en verano ( $\text{BS}_1(x')$ ). En el área predominan suelos feozem calcáricos y litosoles de textura media. Las pendientes varían desde 5 hasta 60 %. La altitud promedio del área de estudio es de 2000 m. Los diferentes tipos de bosque abarcan 8.94 % de la superficie del estado de Nuevo León, las especies más comunes en el área de trabajo son: *Pinus pseudostrobus*, *P. teocote*, *Quercus laceyi*, *Q. canbyi* y *Q. rysophylla* (INEGI, 2004).

### Obtención de datos de campo

Para la selección de los árboles derribados no se utilizó un diseño de muestreo determinado, ya que los árboles-muestra se obtuvieron de aquellos que están siendo aprovechados para aserrío, de acuerdo con el programa de manejo vigente para el predio.

Se derribaron ocho árboles de pino blanco (*Pinus pseudostrobus*), ocho de pino chino (*Pinus teocote*) y 16 de encino (*Quercus* spp.).

Antes del derribo, a los árboles seleccionados se les midió el diámetro normal (D), altura fuste limpio a la primera rama viva, longitud de copa, diámetro de copa N-S y E-O. Después del derribo, cada árbol se separó por componentes, hojas con ramas finas menores de 1 cm de diámetro, ramas, y fuste; posteriormente se determinó el peso húmedo de hojas y ramas. El fuste se seccionó en partes con un peso de hasta de 100 kg correspondiente a la capacidad máxima de la báscula para obtener el peso húmedo total del mismo.

De los componentes ramas y hojas se extrajeron tres submuestras. Del fuste se extrajeron de cuatro a ocho rodajas según el diámetro normal y la altura de cada árbol, a cada submuestra se le determinó el peso húmedo y posteriormente se llevaron al laboratorio, donde se secaron a una temperatura de 105 °C hasta tener un peso seco constante.

### Ajuste de modelos de biomasa

Los datos obtenidos se utilizaron para calcular la relación peso seco-peso húmedo (Ps/Ph) promedio para cada componente. Se multiplicó el peso húmedo total de cada componente (fuste, ramas, hojas) por su relación correspondiente para establecer su peso seco total. La relación de cada rodaja se utilizó para obtener el peso seco de cada sección del fuste del árbol a partir del peso fresco obteniendo así el peso seco del fuste. La suma del peso seco de cada componente constituyó la biomasa total del árbol. Los datos fueron organizados para realizar el ajuste de ecuaciones.

De acuerdo con Husch *et al.* (2003), para hacer estimaciones de biomasa se pueden usar los modelos de crecimiento y los generados para calcular volumen. En el presente estudio se utilizaron sólo algunos de los modelos descritos por Prodan *et al.*, 1997, así como Kiviste *et al.*, 2002, seleccionando los que han aportado un mejor ajuste en trabajos previos.

Se seleccionaron 15 modelos para la estimación de biomasa a partir del diámetro normal como variable independiente y el peso seco total del árbol (PST) como variable dependiente (Cuadro 1).

Los criterios de decisión para seleccionar el modelo con mejor ajuste, fueron el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) y el error estándar porcentual (Sx%).

La biomasa se estimó con el modelo que mejor ajuste presentó con respecto al peso seco para cada especie.

**CUADRO 1. Modelos seleccionados para estimación de biomasa.**

Modelo	Expresión matemática
Berkour	$y = a(D^b)$
Bertalanffy	$y = a(1 - E^{b-cD})^d$
Chapman-Richards	$y = a(1 - E^{bD})^c$
Gompertz	$y = aE^{-b-cD}$
Hossfeldl	$y = t^c / (b + D^c / a)$
Korf	$y = aE^{-bD^{-c}}$
Logarítmica	$y = a + b(\log D)$
Logística	$y = a / (1 + e^{-bD})$
Michailoff	$y = a(E^{b/D}) + 1.3$
Petterson	$y = 1.3 + (D/a + b^{Dc} d)$
Polinomio 2° grado	$y = a + bD + cD^2$
Prodan	$y = 1.3 + D/a + bD + cD^2$
Schumacher	$y = aE^{dD^c}$
Van Laar	$y = E^{(a+b/D+c/D^2)}$
Yoschida	$y = aD^d / (b + Dd) + c$

Donde:  $y$  = biomasa,  $D$  = diámetro normal,  $a, b, c, d$  = parámetros.

### Estimación de la biomasa

Con objeto de estimar la biomasa por unidad de superficie en diferentes tipos de bosque, se implementó un diseño de muestreo completamente al azar. Para la ubicación de los sitios de muestreo se utilizó cartografía (CETENAL, 1977) correspondiente al área de estudio, en ésta también se delimitó la superficie por tipo de bosque y mediante de una malla de puntos se calculó el área en hectáreas para cada tipo de bosque.

Se establecieron 74 parcelas de muestreo similares a las descritas por Schlegel, *et al.*, (2000). Los números de sitios de muestreo por tipo de ecosistema forestal fueron: 24 para el bosque de pino-encino, 23 para el bosque encino-pino y 24 para el bosque de pino. Las actividades se iniciaron con la ubicación de las parcelas circulares de 400 m<sup>2</sup>, éstas se instalaron utilizando cintas a 11.28 m de radio desde el centro de cada parcela a los cuatro puntos cardinales. Se corrigió la distancia con la ayuda de un clinómetro cuando la pendiente era mayor al 10 %.

Se obtuvo la información correspondiente de los árboles: diámetro normal, altura total, longitud de copa (Lc), diámetro de copa (N-S y E-O), comenzando por el radio norte de la parcela y midiendo la totalidad de árboles del Cuadrante I. Los árboles con diámetros mayores a 10 centímetros de diámetro normal fueron medidos además en los Cuadrantes II, III y IV.

Con los datos obtenidos del inventario de árboles en las parcelas de 400 m<sup>2</sup> y el modelo para peso seco que presentó mejor ajuste para cada especie se obtuvieron los datos de biomasa en cada parcela. Los resultados se expresaron en toneladas de biomasa por hectárea (tB·ha<sup>-1</sup>).

### Factores de expansión

Para la estimación de los factores de expansión en biomasa área ( $F_{exp}$ ) se utilizó el peso seco de ramas, peso seco de hojas y peso seco del fuste, el cálculo de los factores se realizó con la fórmula;  $F_{exp} = (B_f + B_r + B_h) / B_f$ , donde:  $B_f$  = Biomasa del fuste,  $B_r$  = Biomasa de ramas,  $B_h$  = Biomasa de hojas.

## RESULTADOS

De los 15 modelos seleccionados para la estimación de biomasa a partir del diámetro normal en *Pinus pseudostrobus*, *P. teocote* y *Quercus* spp., el de mejor ajuste fue el de Michailoff con un coeficiente de determinación de 0.92, 0.89 y 0.93 para las tres especies, respectivamente. Los valores de error estándar correspondientes fueron 25.51, 30.90 y 23.56 (Cuadro 2).

El modelo seleccionado se utilizó para la estimación de la biomasa con los datos del inventario. Los valores de biomasa por especie oscilaron entre 5.548 y 119 tB·ha<sup>-1</sup> en el bosque de pino, entre 13.348 y 99.245 tB·ha<sup>-1</sup> en el bosque encino-pino, mientras que el de pino-encino presentó un mínimo de 7.782 y un máximo de 79.113 tB·ha<sup>-1</sup> (Cuadros 3, 4 y 5).

Los factores de expansión por categoría diamétrica obtenidos para *Pinus pseudostrobus* variaron de 1.242 a 1.461; para *P. teocote* el valor mínimo fue de 1.265 y el máximo de 1.574 y para *Quercus* spp se obtuvieron valores de 1.185 a 1.912 (Cuadro 6).

**CUADRO 2. Variables de ajuste del modelo de biomasa.**

Especie	Modelo	a	b	Sx%	R <sup>2</sup>
<i>Pinus pseudostrobus</i>	Michailoff	2354.144	-57.453	25.51	0.92
<i>P. teocote</i>	Michailoff	2543.055	-56.209	23.56	0.93
<i>Quercus</i> spp.	Michailoff	4371.395	-70.972	30.90	0.89

**CUADRO 3. Especies, número de individuos y toneladas de biomasa por hectárea para el bosque de pino.**

Especie	Bosque de pino	
<i>Pinus teocote</i>	Ind·ha <sup>-1</sup>	13
	tB·ha <sup>-1</sup>	5.548
<i>P. pseudostrobus</i>	Ind·ha <sup>-1</sup>	370
	tB·ha <sup>-1</sup>	119.785

**CUADRO 4. Especies, número de individuos y toneladas de biomasa por hectárea para el bosque de encino-pino.**

Especie	Bosque de encino-pino	
<i>Quercus</i> spp.	Ind·ha <sup>-1</sup>	341
	tB·ha <sup>-1</sup>	99.245
<i>Pinus teocote</i>	Ind·ha <sup>-1</sup>	54
	tB·ha <sup>-1</sup>	13.348

**CUADRO 5. Especies, número de individuos y toneladas de biomasa por hectárea para el bosque de pino-encino.**

Especie	Bosque de pino-encino	
<i>Pinus teocote</i>	Ind·ha <sup>-1</sup>	178
	tB·ha <sup>-1</sup>	79.113
<i>P. pseudostrobus</i>	Ind·ha <sup>-1</sup>	41
	tB·ha <sup>-1</sup>	9.793
<i>Quercus</i> spp.	Ind·ha <sup>-1</sup>	56
	tB·ha <sup>-1</sup>	7.782

Ind·ha<sup>-1</sup> = Números de árboles por hectárea.

En el cuadro anterior se observa que para los datos obtenidos en campo, los factores de expansión varían para cada árbol de acuerdo al diámetro normal. Para las dos especies de *Pinus* se observa que los valores tienen una dispersión similar, más no así para *Quercus* sp., que presenta datos mayores para las categorías diamétricas > 35 cm, en las categorías de 5 a 20 cm se encuentran los valores menores; las categorías de 20 a 35 cm presentan valores de factor de expansión intermedios (Figura 1).



CUADRO 6. Factores de expansión por especie y categoría diamétrica (CD).

Especie	CD	5	10	15	20	25	30	35	40	Promedio
<i>Pinus pseudostrobus</i>	$F_{ex}$	1.461	1.434	1.259	1.448	1.420	1.242	1.288	1.433	1.373
<i>P. teocote</i>	$F_{ex}$	1.438	1.576	1.280	1.445	1.409	1.265	1.304	1.438	1.394
<i>Quercus spp.</i>	$F_{ex}$	1.533	1.488	1.265	1.185	1.508	1.740	1.912	1.464	1.511

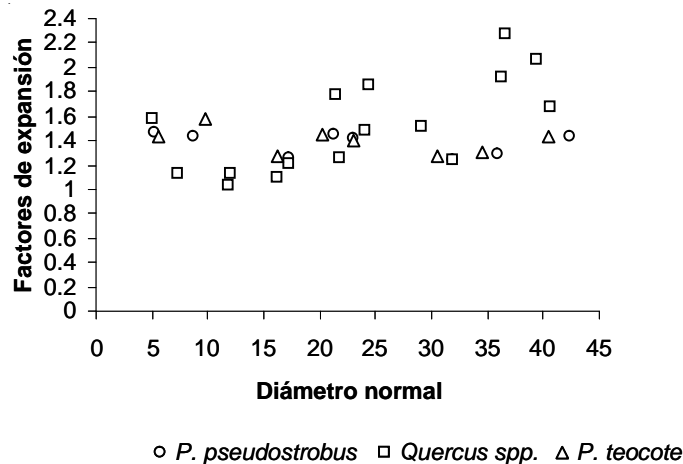


FIGURA 1. Factores de expansión en relación con el diámetro normal.

### DISCUSIÓN

El modelo de biomasa ajustado para las especies *Pinus pseudostrobus*, *Pinus teocote* y *Quercus spp.* presentaron una alta correlación entre el diámetro normal y el peso seco total. Esto concuerda con lo expuesto por Sanquetta *et al.* (2002), quienes empleando este modelo obtuvieron una  $R^2$  de 0.89 utilizando diámetro normal como variable predictora de biomasa aérea en *Pinus taeda*. Para el caso de *Quercus sp.*, Deans *et al.* (1996), reportan una  $R^2$  con más del 0.97 con el diámetro normal en relación a la biomasa.

Los resultados obtenidos en esta investigación revelan que los diferentes tipos de bosques en el sur de Nuevo León pueden tener altos contenidos de biomasa, el bosque de pino, por ejemplo, presenta más de  $125 \text{ tB}\cdot\text{ha}^{-1}$ , valor cercano a las  $134 \text{ tB}\cdot\text{ha}^{-1}$  que Bautista y Torres (2003), reportan para el bosque tropical en Quintana Roo.

Los valores promedio de factor de expansión de biomasa generados en este trabajo fueron de 1,373 para *Pinus pseudostrobus* y 1,394 para *P. teocote*, cercanos al valor promedio (1.3) reportado para pinos por Husch *et al.* (2003).

El mayor factor de expansión de biomasa obtenido en esta investigación es de 1.511 para *Quercus spp.*, ligeramente superior al promedio para especies de hoja ancha en bosques templados obtenido de Husch *et al.* (2003),

equivalente a 1.4. Es importante calcular factores de expansión de biomasa a nivel de especie, ya que, por ejemplo, el determinado por Bautista y Torres (2003) para la especie *Manilkara zapota* fue de 3.739, mientras que en otras especies tropicales como *Caesalpinia platyloba*, el factor de expansión obtenido fue de 21.306.

En general, los factores de expansión oscilaron de 1.185 a 1.912. Determinar el valor de factores de expansión por especie y por categoría diamétrica, posibilita una perspectiva más detallada de la variación de dichos valores para las especies objeto de investigación.

### CONCLUSIONES

Las funciones de biomasa y los factores de expansión obtenidos permiten el desarrollo de proyectos encaminados a la determinación de contenido de biomasa y carbono en las especies estudiadas, sin necesidad de emplear métodos destructivos que impliquen el derribo de árboles con métodos exhaustivos, lentos y costosos.

Los resultados obtenidos constituyen herramientas para la estimación de biomasa en bosques del sur de Nuevo León, realizando en campo mediciones de diámetro normal de los árboles. A partir de este parámetro dasométrico se pueden derivar de manera sencilla datos de biomasa por componente y biomasa total de árboles y rodales.

### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el financiamiento de esta investigación al Fondo Sectorial para la Investigación, el Desarrollo y la Innovación Tecnológica Forestal, proyecto clave CONAFOR-2002-C01-6054, así como a la Fundación Alexander von Humboldt.

### LITERATURA CITADA

- AGUIRRE-SALADO, C. A.; VALDEZ-LAZALDE, J. R.; ÁNGELES-PÉREZ, G.; DE LOS SANTOS-POSADAS, H. M.; HAAPANEN, R.; AGUIRRE-SALADO, A. I. 2009. Mapeo de carbono arbóreo en bosques manejados de pino *Patula* en Hidalgo, México. *Agrociencia* 43(2): 209-220.
- BAUTISTA-HERNÁNDEZ, J.; TORRES-PÉREZ, J. A. 2003. Valoración económica del almacenamiento de carbono del bosque tropical del ejido Noh Bec, Quintana Roo, México. *Revista*

- Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 9(1): 69-75.
- BROWN, S.; GILLESPIE, A. J. R. 1989. Biomass Estimation Methods for Tropical Forests with Applications to Forest Inventory Data. *Forest Science* 35(4): 881-902
- BROWN, S.; LUGO, A. 1992. Aboveground biomass estimates for tropical moist forests of the Brazilian Amazon. *Revista Interciencia* No. 17.
- CETENAL. 1977. Carta de cambio de uso de suelo. G14:C67. Camarones. Escala, 1:50,000, México, D. F.
- DAUBER, E.; TERAN, J.; GUZMÁN, R. 2003. Estimaciones de biomasa y carbono en bosques naturales de Bolivia. *Revista Forestal Iberoamericana* 1(1): 1-10.
- DEANS, J.; MORA, J.; GRACE, J. 1996. Biomass relationships for tree species in regenerating semi-deciduous tropical moist forest in Cameroon. *Forest Ecology and Management* 88(3): 215-225.
- DÍAZ-FRANCO, R.; ACOSTA-MIRELES, M.; CARRILLO-ANZURES, F.; BUENDÍA-RODRÍGUEZ, E.; FLORES-AYALA, E.; ETCHEVERS-BARRA, J. D. 2007. Determinación de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Pinus patula* Sch. et Cham. *Madera y Bosques* 13(1): 25-34.
- GAY, C.; MARTÍNEZ, J. 1995. Mitigación de Emisiones y Graduación de Gases en México. *Interciencia* 20(6): 336-342
- HUSCH, B.; BEERS, T. W.; KERSHAW, J. A. 2003. *Forest Mensuration*, 4<sup>th</sup> Ed. John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, New Jersey. 443 p.
- INEGI, 2004. Anuario Estadístico del Estado de Nuevo León. Instituto Nacional de Estadística Geografía e informática. Gobierno del Estado de Nuevo León. 594 p.
- IPCC. 2000. Land use, Land-use Change, and Forestry Special Report. Cambridge University Pres. 377 p.
- KIVISTE, A.; ÁLVAREZ G., J. G.; ROJO A., A.; RUIZ G., A. D. 2002. Funciones de crecimiento de aplicación en el ámbito forestal. Monografías INIA: Forestal Núm. 4. Ministerio de Ciencia y Tecnología. Madrid. 190 p.
- NÁVAR CH., J. J.; GONZÁLEZ B, N.; GRACIANO L., J. J.; DALE, V.; PARRESOL, B. 2004. Additive biomass equations for pine species of forest plantations of Durango, Mexico. *Madera y Bosques* 10(2): 17-28.
- ORDÓÑEZ, B.; DE JONG, H. J.; MASERA, O. 2001. Almacenamiento de carbono en un bosque de *Pinus pseudostrabus*, Michoacán. *Madera y Bosques* 7(2): 27-47.
- PACHECO E., F.C.; ALDRETE, A.; GÓMEZ G., A.; FIERROS G., A. M.; CETINA-ALCALÁ, V. M.; VAQUERA H., H. 2007. Almacenamiento de carbono en la biomasa aérea de una plantación oven de *Pinus greggii* Engelm. *Revista Fitotecnia Mexicana* 30(3): 251-254.
- PIMIENTA de la T., D. J.; DOMÍNGUEZ C., G.; AGUIRRE C., O.; HERNÁNDEZ, F. J.; JIMÉNEZ P., J. 2007. Estimación de biomasa y contenido de carbono de *Pinus cooperi* Blanco, en Pueblo Nuevo, Durango. *Madera y Bosques* 13(1): 35-46.
- PRODAN, M.; PETERS, R.; COX, F.; REAL, P. 1997. *Mensura Forestal. Serie de investigación y educación en desarrollo sostenible / IICA*. San José, Costa Rica. 561 p.
- RODRÍGUEZ-LAGUNA, R.; JIMÉNEZ-PÉREZ, J.; AGUIRRE-CALDERÓN, O.; JURADO-YBARRA, E. 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.
- SANQUETTA R., C.; FARINHA W., L.; ARCE E., D. 2002. Ecuaciones de biomasa aérea y subterránea de *Pinus tadea* en el sur del estado de Paraná, Brasil. *Patagonia Forestal* (8)1: 1-9.
- SCHLEGEL, B; GAYOSO, J.; GUERRA, J. 2000. Manual de procedimientos de muestreo de biomasa forestal. Medición de capacidad de captura de carbono en bosques de Chile y promoción en el mercado mundial. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 24 p.
- WHITE, A.; CANNEL, M. G. R; FRIEND, A. D. 2000. CO<sub>2</sub> stabilization, climate change and terrestrial carbon sink. *Global Change Biology* 6(7): 817-833.