

# FACTORES DE EXPANSIÓN DE BIOMASA EN COMUNIDADES FORESTALES TEMPLADAS DEL NORTE DE DURANGO, MÉXICO

## BIOMASS EXPANSION FACTORS IN TEMPERATE FOREST COMMUNITIES OF NORTH DURANGO

Flor María Silva-Arredondo <sup>1</sup> y José de Jesús Návar-Cháidez <sup>2</sup>

### RESUMEN

La biomasa forestal, por lo general, es cuantificada en kilogramos por árbol o en toneladas por hectárea de peso verde o de peso seco. En un bosque es un elemento ambiental clave para calcular los montos de carbono que puedan liberarse a la atmósfera o bien fijarse, cuando estos ecosistemas son manejados para mitigar los gases de efecto invernadero. El presente trabajo se llevó a cabo en el norte del estado de Durango, México, con el objetivo de estimar la biomasa arbórea aérea ( $M$ ) y los factores de expansión de biomasa (FEB) mediante ecuaciones alométricas para los diferentes componentes que provienen de inventarios forestales. Los datos de campo y de laboratorio que se registraron fueron peso verde y peso seco de las ramas y del fuste. La estimación de  $M$  se realizó mediante dos procedimientos: 1) con ecuaciones alométricas utilizando el diámetro normal como variable independiente y 2) con la ecuación clásica de física que considera el volumen y la densidad básica de la madera. Habiendo calculado  $M$  y los volúmenes por hectárea (ERH) de los inventarios forestales convencionales, se obtuvieron los valores de FEB. Los resultados mostraron diferencias en los métodos para conocer  $M$  y, por consiguiente los FEB; el primero parece más sensible y ofrece una mejor representación del fenómeno que el segundo. Los FEB son dependientes de la altura promedio del rodal y de la densidad de la madera; los derivados de los datos de inventario, se distribuyen de forma normal.

Palabras clave: Densidad de la madera, ecuaciones de volumen y biomasa, nivel del rodal, *Pinus*, *Quercus*, servicios ambientales.

### ABSTRACT

Forest biomass is generally quantified in kilograms of green or dry weight per tree or in tons per area. It is an environmental key element to assess the carbon amounts that can go to the atmosphere or be fixed when these ecosystems are managed to mitigate the greenhouse-effect gases. This research was conducted in northern Mexico in order to assess the biomass components and biomass expansion factors, with the use of allometric component equations and the classical physics equation that uses wood specific gravity applied to forest inventory data. Field and laboratory recorded data consisted on fresh and oven dried weight of stem and branch components. Biomass estimations were conducted following two procedures: 1) using an allometric equation that feeds with normal diameter and 2) employing the wood specific gravity times volume. Once biomass was estimated at the stand level it was divided by stand volume derived from inventory data to calculate the biomass expansion factors. The results showed differences in methods of estimating biomass and therefore in expansion factors as well. Biomass expansion factors are dependent on the mean top height of trees and wood specific gravity. These parameters are normally distributed for the inventory data utilized.

Key words: Basic wood density, volume and biomass equation, stand scale, *Pinus*, *Quercus*, environmental services.

Fecha de recepción: 12 de marzo de 2008.

Fecha de aceptación: 14 de abril de 2010.

### INTRODUCCIÓN

La biomasa forestal se define como la cantidad de materia seca que existe en un árbol, componente del árbol, población, comunidad o bosque por encima y por debajo del suelo. Normalmente es cuantificada en kilogramos por árbol o en toneladas por hectáreas de peso seco o verde (Brown, 1997). Es frecuente separarla por componentes ramas, hojas, corteza, raíces, hojarasca, madera muerta y materia orgánica del suelo (Schlegel *et al.*, 2000; Návar *et al.*, 2005).

El cálculo de la biomasa de un bosque es un elemento ambiental clave porque permite estimar los montos de carbono y, representa la cantidad potencial de este biogeoquímico que puede ser liberado a la atmósfera, o conservado y fijado en una superficie cuando los bosques son manejados para alcanzar los compromisos de mitigar gases de efecto invernadero (Brown, 1997; Schlegel, 2001).

Una forma indirecta de estimar  $M$  es a través de ecuaciones y modelos matemáticos calculados por medio de análisis de regresión entre las variables de los árboles y la biomasa. Las ecuaciones alométricas convencionales utilizan generalmente el diámetro normal o basal (Brown, 1997; Návar *et al.*, 2004a, 2004b), aunque se recomienda considerar la altura (Husch, 2001; Návar *et al.*, 2004a; 2004b). También se puede estimar mediante del volumen del fuste, a partir de la densidad básica para determinar el peso seco total del árbol o del rodal.

Cuando se requiere evaluar la biomasa y el carbono con información de inventarios forestales, se puede recurrir a los FEB; con ellos se puede cuantificar la biomasa total aérea de un bosque mediante los volúmenes comerciales estimados al conocer la proporción de biomasa total aérea

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León.

<sup>2</sup> Manejo de Recursos Naturales, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR) - Instituto Politécnico Nacional - Unidad Durango. Correo-e: jnavar@ipn.mx

por unidad de volumen comercial, estos valores se transforman a biomasa y luego se estima la masa o densidad de carbono en el estrato arbóreo (Návar-Cháidez, 2009).

Los factores de expansión de biomasa difieren en función de un sinnúmero de variables como la diversidad de especies, la edad, la estructura dimensional del rodal y la estación, y son aplicables variables diferentes a las ERH, el crecimiento y la extracción. La existencia de un conjunto centralizado de los mismos de fácil acceso, con parámetros afines sobre los árboles, los rodales y las estaciones, podría favorecer el cálculo de los almacenes de carbono (Gracia *et al.*, 2004; Lehtonen *et al.*, 2004) y los flujos de este elemento biogeoquímico (De los Ríos-Carrasco *et al.*, 2009) a través del tiempo.

En México las investigaciones de biomasa son escasas, a pesar de su especial importancia ambiental. Con base en lo anterior, los objetivos de este estudio fueron: a) estimar la biomasa y los factores de expansión de biomasa de las principales especies de *Pinus* spp. y *Quercus* spp. del norte de Durango, México, con el propósito de incorporar los resultados a proyectos de captura de carbono; b) modelar la dependencia de los factores de expansión de biomasa en función de las características dasométricas de los árboles y c) modelar la distribución de los factores de expansión de biomasa aplicados a datos de inventarios de un conjunto de rodales.

con una amplia distribución; destacan, por su mayor frecuencia el *P. arizonica* Engelm, *P. teocote* Schlecht *et* Cham. y *P. durangensis* Martínez, siendo posible encontrar manchones puros de encino cuyas especies son *Quercus sideroxylla* Humb. & Bonpl. y *Q. rugosa* Née. El clima que prevalece es templado frío húmedo,  $C(w_0)$ ,  $C(w_2)$ , con una temperatura media anual de 10.5°C y una precipitación media anual de 932 mm, con lluvias en verano. Los tipos de suelos son en general los litosoles y regosoles.

#### Muestreo

La evaluación de los componentes de biomasa aérea es un procedimiento que implica derribo; por tal motivo se diseñó un muestreo dirigido, basado en la presencia de arbolado dentro de las clases dasométricas de los predios. Las mediciones se hicieron en ejemplares procedentes de los aprovechamientos autorizados en los programas de manejo forestal vigentes, lo que permitió obtener la información necesaria sin provocar impactos adicionales a los ecosistemas del área. Se eligieron los árboles que reunían características diamétricas representativas de los sitios, encontrando las siguientes especies: *P. durangensis*, *P. arizonica*, *P. leiophylla* Schiede & Deppe, *P. teocote*, *Pinus engelmannii* Carrière, *P. cooperi* Blanco, *Quercus sideroxylla* y *Quercus rugosa*. El número de árboles seleccionados del inventario de los tres ejidos y sus características dasométricas se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Características dasométricas promedio y número de los árboles analizados en los géneros *Pinus* spp. y *Quercus* spp. del norte de Durango, México.

Género	Número de árboles	Estadístico	Diámetro promedio (cm)	Altura Total (m)	Volúmen (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )
<i>Pinus</i>	13 708	Media	29.18	13.91	101.28
		Desviación	4.28	2.72	39.81
		Intervalo	1.07	0.68	9.99
<i>Quercus</i>	5 666	Media	25.95	7.76	25.59
		Desviación	4.97	2.12	18.62
		Intervalo	1.25	0.53	4.67

Desviación = Desviación estándar; Intervalo = Intervalo de confianza

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

Este trabajo de investigación se realizó en la comunidad de El Tarahumar y los ejidos El Tule y La Soledad que se ubican en los municipios de Tepehuanes y Guanaceví, en la Sierra Madre Occidental. Dentro de las coordenadas de 25° 33' 48" a 25° 49' 07" latitud norte y de 106° 11' 04" a 106° 37' 22" de longitud oeste con respecto al meridiano de Greenwich. La región se ubica en la provincia fisiográfica denominada Sierra Madre Occidental en la subprovincia Sierra y Cañones Duranguenses. Los tipos de vegetación presentes en la zona corresponden a bosque de pino, bosque de pino-encino, bosque de encino y otras asociaciones de pino-otras coníferas y pino-otras hojosas. Los bosques más importantes en el área son del género *Pinus*

Se localizaron 88 árboles en el sitio de corta. Se derribaron, se identificó la especie, se les asignó un número y se les hicieron las siguientes mediciones: altura total, diámetro a 1.3 m (DAP), diámetro y altura del tocón, diámetro con corteza del fuste a partir del tocón a diferentes alturas (desde la base, a 0.5, 1.0, 1.3, 1.5, 2.0 m y a cada metro adicional hasta la punta del fuste principal. Todos los árboles fueron divididos en los siguientes componentes: fuste hasta un diámetro límite de 5 cm y ramas gruesas mayores de 1 cm de diámetro.

Para estimar el peso de la biomasa del fuste, se le cortó en secciones comerciales (cada 2.5 m) y se pesaron en campo; además se tomaron muestras (rodajas) de distintas partes del fuste a partir del tocón hasta la base de la copa y también fueron pesados en el sitio donde se registró la especie, el número de árbol y la altura a la cual se cortó. La submuestra de las rodajas y ramas fue secada en laboratorio a una temperatura constante de 105°C hasta obtener un peso seco constante. Se volvieron

a pesar después de haber eliminado su contenido de humedad. Para cada submuestra se calculó la relación peso seco/peso húmedo (Ps/Ph), misma que se multiplicó por el peso húmedo total de cada componente correspondiente para obtener su peso seco total; estos datos se sumaron para el peso seco del árbol, expresado en kg.

#### Análisis de datos

La estimación de M y de FEB se realizó por medio de dos procedimientos: El primero consiste en la aplicación de las ecuaciones alométricas de biomasa descritas en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Ecuaciones empleadas en la estimación de biomasa de fuste y ramas en los géneros *Pinus* y *Quercus*.

Género	Biomasa del fuste	Biomasa de las ramas	Biomasa Aérea total
<i>Pinus</i> spp.	$0.1192D^{2.3231}$	$0.0173D^{2.3824}$	B fuste + B ramas
<i>Quercus</i> spp.	$0.0706D^{2.4077}$	$0.004D^{3.0799}$	B fuste + B ramas

Fuente: Nívar, 2009a; 2009b

La biomasa total del árbol resultó de la suma del fuste y de las ramas y hojas utilizando el diámetro normal de los árboles. Se sumó la masa de cada individuo para estimar M al nivel del rodal. Una vez conocida M, el FEB se calculó de la siguiente manera:

Donde:

$$FEB = \frac{M}{ERTf} = \frac{Mg\ ha^{-1}}{m^3\ ha^{-1}} = \frac{Mg}{m^3}$$

FEB = Factor de expansión de biomasa (expresado en Mg m<sup>-3</sup>)

M = Biomasa total (expresada en Mg ha<sup>-1</sup>)

ERTf = Volumen o existencias reales por hectárea (expresado en m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>).

El segundo procedimiento se realizó por medio del empleo de la ecuación clásica de física que utiliza la densidad básica de la madera:

$$M = V * \rho$$

Donde:

M = Biomasa (Mg ha<sup>-1</sup>)

V = Volumen (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>)

$\rho$  = Densidad básica de la madera (g cm<sup>-3</sup>, Mg m<sup>-3</sup>).

Para calcular la densidad básica se utilizaron las ecuaciones descritas en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Ecuaciones utilizadas para determinar la densidad básica de los géneros *Pinus* spp. y *Quercus* spp. en función de la altura relativa del árbol

Género	Densidad básica
<i>Pinus</i> spp.	$\rho = [(0.5 - 0.075(h/H)) + (0.47 - 0.06(h/H))]/2$
<i>Quercus</i> spp.	$\rho = 0.77 + 0.026(h/H)$

$\rho$  = densidad; h/H = altura relativa del árbol.

Para estimar el volumen de ramas y fuste se aplicaron las ecuaciones descritas en el Cuadro 4.

Una vez calculados los valores de densidad básica y volumen fustal y de ramas, la biomasa fue estimada, sustituyendo los valores en la fórmula descrita al inicio de la explicación de este segundo procedimiento. Conocida M, el FEB se estimó de igual manera que en el procedimiento 1.

Los valores de los FEB se determinaron para 98 rodales en los dos ejidos y la comunidad forestal mencionados anteriormente.

Estos se relacionaron con los datos dasométricos al nivel del rodal de la siguiente forma: FE = f (H, D, densidad). Utilizando el programa estadístico SAS se ajustaron las ecuaciones correspondientes. Los factores de expansión se modelaron por distribuciones probabilísticas de la forma Normal, Log normal y Weibull para definir la distribución madre.

## RESULTADOS

### Procedimiento de ecuaciones de biomasa

El valor promedio encontrado de la biomasa fustal, de ramas y total en los géneros *Pinus* spp. y *Quercus* spp. del norte de Durango, México, con el uso de las ecuaciones alométricas se presenta en el Cuadro 5.

El promedio de la biomasa total encontrada en *Pinus* spp. fue de 73.73 Mg ha<sup>-1</sup> con valores mínimo y máximo de 39.5 a 170.7 Mg ha<sup>-1</sup>, y el promedio de la biomasa total en *Quercus* spp. fue de 26.11 con valores mínimo y máximo de 3.02 y 83.2 Mg ha<sup>-1</sup> mediante el primer método desarrollado.

Los valores de FEB estimados con las ecuaciones alométricas para *Pinus* spp. y *Quercus* spp. del norte de Durango, México se reúnen en el Cuadro 6.

El FEB promedio para *Pinus* spp. es de 0.75, con valores mínimo y máximo de 0.55 y 0.98 Mg m<sup>-3</sup>, mientras que el correspondiente a *Quercus* es de 1.07, con un mínimo y máximo de 0.60 y 1.85 Mg m<sup>-3</sup>.

Cuadro 4. Ecuaciones utilizadas para estimar el volumen fustal y de ramas en los géneros *Pinus* spp. y *Quercus* spp. del norte de Durango, México.

Género	Ecuación de volumen	V total
<i>Pinus</i>	$V_f = \exp(-9.777 + 1.993 \ln(D) + 0.902 \ln(H)) * 1.0104$	Fuste
	$V_r = \exp(-10.347 + 3.5118 \ln(D) - 1.388 \ln(H)) * 1.555$	Ramas
<i>Quercus</i>	$V_f = \exp(-9.296 + 1.873 \ln(D) + 0.807 \ln(H)) * 1.0081$	Fuste
	$V_r = \exp(-13.525 + 4.832 \ln(D) - 1.688 \ln(H)) * 1.416$	Ramas

V<sub>f</sub> = volumen del fuste; V<sub>r</sub> = volumen de ramas; V<sub>total</sub> = volumen total; D = diámetro normal; H = altura total.  
Fuente: Nívar, 2009b

Cuadro 5. Biomasa promedio del fuste, ramas y total de los géneros de *Pinus* spp. *Quercus* spp. del norte de Durango, México.

Género	Número de árboles	Estadístico	Biomasa total (Mg ha <sup>-1</sup> )	Biomasa de las ramas (Mg ha <sup>-1</sup> )	Biomasa total aérea (Mg ha <sup>-1</sup> )
<i>Pinus</i>	13 708	Media	62.63	11.10	73.73
		Desviación	22.16	3.92	26.08
		Intervalo	5.56	0.98	6.55
<i>Quercus</i>	5 666	Media	17.09	9.02	26.11
		Desviación	9.95	6.05	15.96
		Intervalo	2.50	1.52	4.01

Desviación = Desviación estándar; Intervalo = Intervalo de confianza; FEB = Factor de extensión de biomasa.

Cuadro 6. Biomasa total y factores de expansión de biomasa promedio de los géneros de *Pinus* spp. y *Quercus* spp. del norte de Durango, México.

Género	Número de árboles	Estadístico	Biomasa total (Mg ha <sup>-1</sup> )	FEB (Mg m <sup>-3</sup> )
<i>Pinus</i>	13 708	Media	73.73	0.75
		Desviación	26.08	0.09
		Intervalo	6.55	0.02
<i>Quercus</i>	5 666	Media	26.11	1.07
		Desviación	15.96	0.21
		Intervalo	4.01	0.05

Desviación = Desviación estándar; Intervalo = Intervalo de confianza; FEB = Factor de expansión de biomasa.

Procedimiento de la ecuación de la densidad de la madera

Los valores medios de la densidad a la altura del árbol, el volumen y la biomasa total en ambos géneros estudiados fueron estimados mediante la ecuación física que se indica en el Cuadro 7.

El promedio de la biomasa total para *Pinus* spp. fue de 64.02 con valores mínimo y máximo de 31.0 a 123.9 Mg ha<sup>-1</sup>, y el del *Quercus* spp. fue de 43.75 con valores mínimo y máximo de 5.6 y 100.6 Mg ha<sup>-1</sup> mediante el segundo procedimiento desarrollado (volumen por la densidad).

Cuadro 7. Densidad, volumen y biomasa total promedio en los géneros *Pinus* spp. y *Quercus* spp. del norte de Durango, México.

Género	Número de árboles	Estadístico	Mg a H	Volumen (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	Biomasa total (Mg ha <sup>-1</sup> )
<i>Pinus</i>	13 708	Media	0.48	133.79	64.02
		Desviación	0.00141	47.47	22.75
		Intervalo	0.00035	11.91	5.71
<i>Quercus</i>	5 666	Media	0.78	74.02	43.75
		Desviación	0.00431	59.58	24.58
		Intervalo	0.00108	14.95	6.17

Desviación = Desviación estándar; Intervalo = Intervalo de confianza.

Los resultados así obtenidos de biomasa se consideran menos consistentes de acuerdo a la literatura y a los estimados con el uso de las ecuaciones alométricas, por lo que estos resultados deben tomarse como una medida aproximada, ya que  $M$  calculada por este conducto sobreestima su cantidad en *Quercus* spp., con  $17.64 \text{ Mg ha}^{-1}$  (67.6%) y la subestima en el *Pinus* spp. con  $9.71 \text{ Mg ha}^{-1}$  (13.2%).

El factor de expansión promedio de biomasa estimado mediante este procedimiento se presenta en el Cuadro 8.

Cuadro 8. Biomasa total y factores de expansión de biomasa promedio de los géneros de *Pinus* spp. y *Quercus* spp. del norte de Durango, México.

Genero	Número de árboles	Estadístico	Biomasa total ( $\text{Mg ha}^{-1}$ )	FEB ( $\text{Mg m}^{-3}$ )
<i>Pinus</i>	13 708	Media	64.02	0.65
		Desviación	22.75	0.07
		Intervalo	5.71	0.02
<i>Quercus</i>	5 666	Media	43.75	1.83
		Desviación	24.58	0.36
		Intervalo	6.17	0.09

Desviación = Desviación estándar; Intervalo = Intervalo de confianza, FEB = Factor de expansión de biomasa.

El FEB para el *Pinus* spp. es de 0.65, registrando valores mínimo y máximo de 0.51 y 0.86 y para *Quercus* spp. el promedio de los factores de expansión es de 1.83, con valores mínimo y máximo de 1.03 y 2.74.

Factores de expansión en función de las características dasométricas

A partir de las estimaciones de biomasa realizadas mediante los dos procedimientos se concluyó que es más recomendable utilizar las ecuaciones alométricas de biomasa por ser más consistentes con los resultados reportados en otros estudios (Gracia *et al.*, 2004; Lehtonen *et al.*, 2004). Los FEB calculados con este método se relacionaron con las características dasométricas de los árboles que componen el rodal, para los 98 sitios estudiados.

La relación de los FEB con la altura promedio de los árboles en las especies estudiadas del pino (*P. durangensis*, *P. arizonica*, *P. leiophylla*, *P. teocote*, *P. engelmannii* y *P. cooperi*) y de encinos (*Q. sideroxylla* y *Q. rugosa*) del norte de Durango, México se muestra en la Figura 1. Los FEB cambian con la altura del árbol en las especies de pino y encino estudiadas, con relaciones estadísticamente significativas ( $P > F = 0.0429$ ;  $P > F = 0.0025$ ) y la tendencia se ajusta a una línea recta con pendiente negativa ( $r^2 = 0.22$  y  $S_x = 0.10$ ;  $r^2 = 0.001$  y  $S_x = 0.22$ ). Esto significa que por cada unidad de altura del árbol el FEB en el género *Pinus* spp. cambia por  $-0.0145792$  unidades y en el género *Quercus* spp., por  $-0.0047$  unidades.

Estos resultados muestran que, conforme aumenta la altura del árbol, el FEB disminuye, comportándose un poco más estables los valores en los encinos.

Esta información es compatible con los resultados citados por Gracia *et al.* (2004), quienes indican la misma variación de los FEB con respecto a la altura y mencionan que los FEB son

dependientes del tamaño de los árboles. Esto se corrobora en otros estudios en los que los factores de expansión de biomasa están en función de la altura, del diámetro, de la edad, del área basal, de la productividad, de la calidad del bosque y de la composición de especies (Brown *et al.*, 1989; Fang *et al.*, 2001; Snaudon *et al.*, 2000; Loguercio y Defossé, 2001; Nívar-Chaidez, 2009).

La relación de los FEB con la densidad básica del árbol en las especies estudiadas del pino y de encino se presenta en la Figura 2.

Los FEB cambian con la densidad del árbol en las especies estudiadas ( $P > F = 0.0054$ ;  $P > F = 0.0119$ ) y se ajusta la tendencia a una línea recta aunque con pendientes encontradas ( $r^2 = 0.19$  y  $S_x = 0.10$ ;  $r^2 = 0.24$  y  $S_x = 0.16$ ). Esto sugiere que los FEB disminuyen conforme aumenta la densidad y por cada unidad de densidad de la madera del árbol el factor de expansión de biomasa en el género *Pinus* spp. cambia por  $-25$  unidades, lo que contradice la lógica de la ecuación de biomasa (biomasa = volumen \* densidad). Sin embargo, los resultados concuerdan con los hallazgos de Snaudon *et al.* (2000) en el sentido de que se obtienen valores más altos de factores de expansión de biomasa en bosques más jóvenes, los cuales se asocian con menor densidad, ya que el rápido crecimiento del árbol se relaciona con una baja densidad de la madera. Lo anterior también se puede atribuir al mayor peso relativo de ramas en relación al fuste de árboles jóvenes; en las especies de pino, éste y el follaje son dependientes de la edad (Lehtonen *et al.*, 2004). Además, para *Pinus* spp., la variación en la densidad es en ocasiones muy acentuada al punto de sugerir diferentes clases de calidad de la madera sólo en función de la posición del origen de las trozas en el fuste (López y Valencia, 2001). Para *Quercus* spp., los FEB son mayores con densidades altas y su valor disminuye a medida que ésta se reduce. Los resultados van de acuerdo con la lógica matemática de la ecuación de la biomasa (biomasa = volumen \* densidad), ya que entre mayor sea la densidad mayor será la cantidad de biomasa y, en consecuencia, el factor de expansión de biomasa será superior, lo que coincide con lo citado por Gracia *et al.* (2004), donde los factores de expansión de biomasa aumentan conforme lo hace el número de individuos por área.

Distribución probabilística de los factores de expansión

Los FEB de las especies estudiadas de pino y encino se distribuyen de forma normal ( $P \geq X^2 = 0.58$  y  $P \geq X^2 = 0.097$ ) (Figura 3).

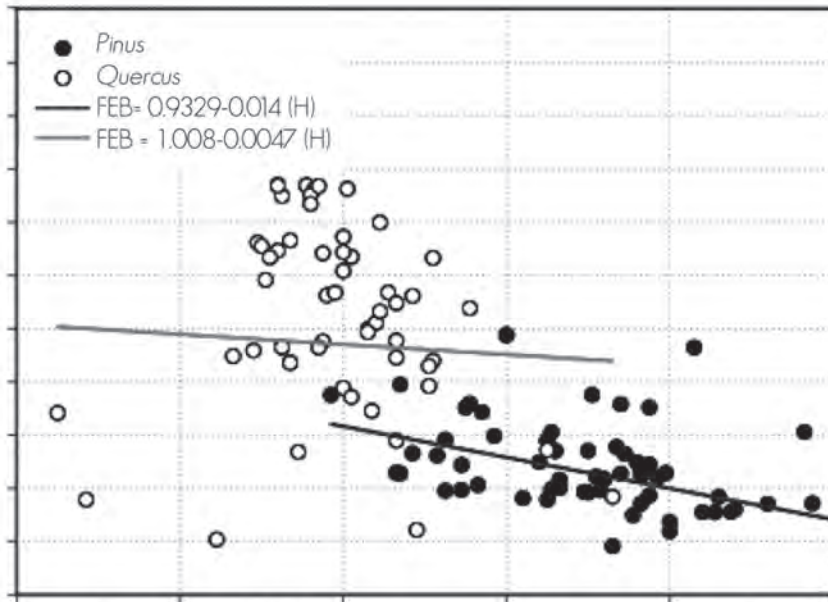


Figura 1. La relación de los factores de expansión de biomasa con la altura del árbol en *Pinus* spp. y *Quercus* spp.

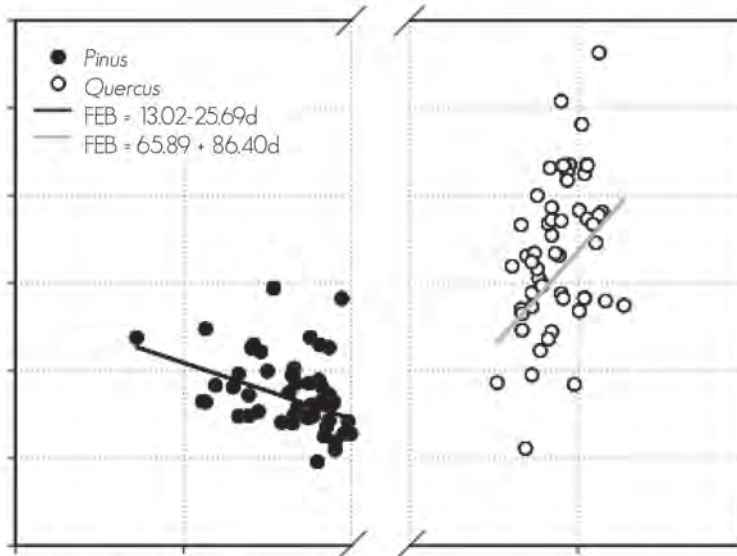


Figura 2. La relación de los factores de expansión con la densidad del árbol en el género *Pinus* spp. y *Quercus* spp. del norte de Durango, México

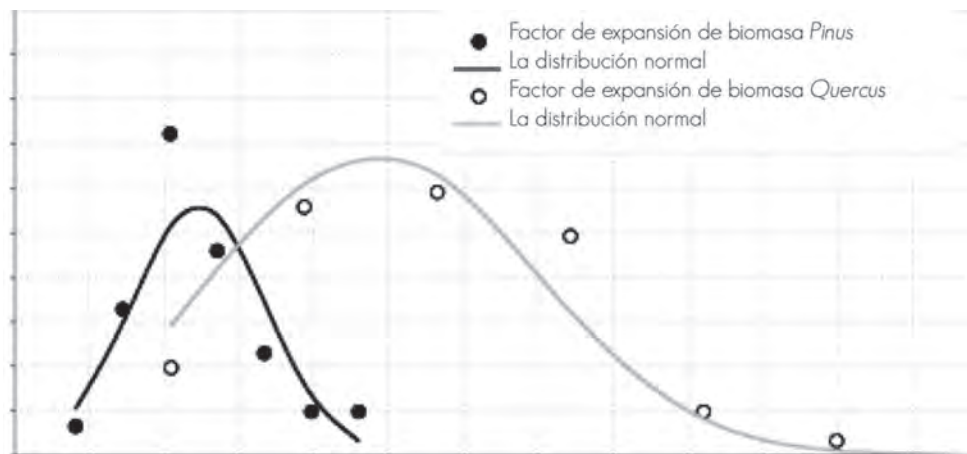


Figura 3. Distribución de los factores de expansión de biomasa en los géneros estudiados del norte de Durango, México.



## DISCUSIÓN

Los resultados de este trabajo de investigación indican que la estimación de los factores de expansión con el uso de ecuaciones alométricas es confiable y sencilla. Su utilidad radica en estimar la biomasa para los géneros *Pinus* spp. y *Quercus* spp. al nivel de rodal. Este método es recomendado por diferentes autores para la estimación de biomasa (Monroy y Návar, 2004; Návar *et al.*, 2004a; Ramírez *et al.*, 2005). Los números de los FEB promedio estimados con el uso de ecuaciones alométricas se encuentran dentro del rango de valores registrados por Gracia *et al.* (2004) los cuales varían de 0.40 a 0.90 en pinos y de 0.72 a 1.45 Mg m<sup>-3</sup> en encinos, y de 0.69 a 0.71 Mg m<sup>3</sup> para *Pinus* por Lehtonen *et al.* (2004). Debido a esta concordancia, se sugiere usar las ecuaciones de biomasa en vez del factor de densidad de la madera para la estimación de FEB. La diferencia entre los FEB de *Pinus* y *Quercus* se atribuye a la densidad de la madera específica de los árboles (Brown y Lugo, 1992).

Con la ecuación clásica de física ( $M = V \cdot \rho$ ), los FEB son parcialmente consistentes porque están dentro del intervalo de valores que destacan Gracia *et al.* (2004) y por Lehtonen *et al.* (2004). Sin embargo los valores registrados en este estudio para *Quercus* spp. no coinciden con los de estos investigadores. Los FEB para *Quercus* spp. deben ser considerados como una medida aproximada ya que la estimación de los factores de expansión de carbono por este procedimiento se ven influenciados por la gran variación que presenta la densidad de la madera dentro de un árbol (Zobel y Talbert, 1988; Silva-Arredondo *et al.*, 2010), sobreestima su cantidad en este género con 0.76 Mg m<sup>-3</sup> (71.03%) y la subestima en *Pinus*, con 0.1 Mg m<sup>-3</sup> (13.3%).


Los valores de los factores de expansión de biomasa pueden tomarse como promedio de la densidad de los árboles que componen la masa forestal, ya que dimensionalmente son similares al dividir la masa total de fustes entre su volumen. Este dato debe de resultar igual a un estimador medio ponderado de la densidad de la madera del duramen, la albura y la corteza. Las proporciones de estos componentes cambian en función de las dimensiones de los árboles y como consecuencia, los factores de expansión de volumen fustal a componentes de biomasa cambian en función de las dimensiones de los árboles (Gracia *et al.*, 2004; Lehtonen *et al.*, 2004), lo que es consistente con las observaciones de este trabajo. Es importante recalcar, entonces, que las distribuciones de los FEB se modifican con las estructuras dimensionales y de especies, las cuales están en función de la edad promedio de la masa. Investigaciones posteriores podrían centrarse en observar si el tipo y las características de las densidades probabilísticas de los FEB se transforman también con el tiempo.

## CONCLUSIONES

Se obtuvieron diferencias en la biomasa y los factores de expansión de volumen a biomasa con los dos procedimientos establecidos. Se considera que el mejor método en la estimación de  $M$  y FEB es el que utiliza las ecuaciones alométricas de biomasa debido a que aporta valores consistentes con los registrados en la literatura

científica. Además, un solo valor de densidad de la madera es demasiado simple para lo complejo que es este parámetro en un árbol. Los FEB promedio de biomasa estimados en los ecosistemas templados en las localidades estudiadas del norte de Durango, México para *Pinus* spp. fue de 0.75 y para *Quercus* spp. de 1.07. Los factores de expansión de biomasa en ambos cambian con la altura del árbol, lo que indica que estos son dependientes del tamaño de los árboles y, como consecuencia, de la densidad básica promedio. Los valores de los 98 rodales para los géneros estudiados se distribuyen de forma normal. La utilidad de estos parámetros es que facilitan la estimación de la biomasa aérea total acumulada en determinados tipos de bosque, a partir de información de volúmenes rollo total árbol, de la altura y la densidad promedio.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece a varios editores y revisores anónimos por su paciencia en la revisión y la mejora en la redacción y contenido técnico de este manuscrito. 

## REFERENCIAS

- Brown, S. 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forests. A primer. FAO. Forestry Paper, No. 134. Rome, Italy. 55 p.
- Brown, S. A. Gillespie and A. Lugo. 1989. Biomass estimation methods for Tropical Forests with Applications to Forest Inventory Data. *Forest Science* 35: 881-902.
- Brown, S. and A. E. Lugo. 1992. Aboveground biomass estimates for tropical moist forests of the Brazilian Amazon. *Interciencia* 17(1): 25-37.
- De los Ríos-Carrasco, E. R. De Hoogh and J. Návar. 2009. Projections of carbon stocks in sites reforested with pinyon pine species in northeastern Mexico. *Arid Land Research and Management* 23: 1-17.
- Fang, J., A. Chen, C. Peng, S. Zhao and L. Ci. 2001. Calculating forest biomass changes in China. *Science* 292: 2320-2330.
- Gracia, C., J. Vayreda, S. Sabaté and J. Ibáñez. 2004. Main components of the aboveground biomass expansion factors. Departamento de Ecología, Universidad de Barcelona. CREAF, Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals. Barcelona, Spain. 24 p.
- Husch, B. 2001. Estimación del contenido de carbono de los bosques. In: *Memorias del Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la captura de Carbono en Ecosistemas Forestales*. Valdivia, Chile. 9 p.
- Lehtonen, A., R. Mäkipää, J. Heikkinnen, R. Sievänen and J. Liski. 2004. Biomass expansion factors (BEFs) for Scots pine, Norway spruce and birch according to stand age for boreal forests. *Forest Ecology and Management* 188: 211-224.
- 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.
- López, L. M. y S. M. Valencia. 2001. Variación de la densidad relativa de la madera de *Pinus greggii* Engelm. del norte de México. *Madera y Bosques* 7(1):37-46.
- Monroy, C. y J. Návar. 2004. Ecuaciones de aditividad para estimar componentes de biomasa de *Hevea brasiliensis* Muell. Arg., en Veracruz, México. *Madera y Bosques* 10: 29-43.
- Návar, J., N. González, D. Maldonado, J. Graciano, V. Dale and B. Parresol. 2004a. Biomass equations for pine species of forest plantations of Durango, México. *Madera y Bosques* 10: 17-28.
- Návar, J., E. Méndez, J. Graciano, V. Dale and B. Parresol. 2004b. Biomass equations for shrub species of Tamaulipan thornscrub of northeastern Mexico. *Journal of Arid Environments* 59: 657-674.

- Návar, J., N. González and J. Graciano. 2005. Carbon sequestration by forest plantations of Durango Mexico. *Madera y Bosques* 11: 15-34.
- 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.
- Ramírez, P. E., Montes de Oca, J., Méndez, A., Nájera, J., Graciano y J. Návar. 2005. Ecuaciones para estimar biomasa en regeneración natural de *Pinus durangensis* en la región de el Salto, Durango. VII Congreso Mexicano de Recursos Forestales. 26-28 de Octubre 2005, Chihuahua, Chihuahua.
- Schlegel, B., J. Gayoso y J. Guerra. 2000. Manual de procedimientos de muestreos de biomasa forestal. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 23 p.
- Schlegel, B. 2001. Estimación de la biomasa en bosques de tipo forestal siempreverde. In: *Memorias del Simposio Internacional/Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales*. Valdivia, Chile. 12 p.
- Snowdon, P. D., Eamus, P., Gibbons, P., K. Khanna, H. Keith, R. J. Raison and M.U.F. Kirschbaum. 2000. Synthesis of allometrics. Review of root biomass and design of future woody biomass sampling strategies. National Carbon Accounting System Technical Report 17. Australian Greenhouse Office. Canberra. Australia. 113 p.
- Zobel, B. J. y J. T. Talbert. 1988. Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales. LIMUSA. México, D. F. México. 545 p.