



Madera y Bosques

ISSN: 1405-0471

publicaciones@ecologia.edu.mx

Instituto de Ecología, A.C.

México

Ruiz-Aquino, Faustino; Valdez Hernández, Juan Ignacio; Manzano-Méndez, Filemón; Rodríguez-Ortiz, Gerardo; Romero Manzanares, Angélica; Fuentes-López, Martha Elena
Ecuaciones de biomasa aérea para *Quercus laurina* y *Q. crassifolia* en Oaxaca

Madera y Bosques, vol. 20, núm. 2, 2014, pp. 33-48

Instituto de Ecología, A.C.

Xalapa, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61732072003>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto



Ecuaciones de biomasa aérea

para *Quercus laurina* y *Q. crassifolia* en Oaxaca

Aerial biomass equations for *Quercus laurina* and *Q. crassifolia* in Oaxaca

Faustino Ruiz-Aquino^{1,2*}, Juan Ignacio Valdez-Hernández², Filemón Manzano-Méndez¹, Gerardo Rodríguez-Ortiz³, Angélica Romero-Manzanares² y Martha Elena Fuentes-López⁴

1 Universidad de la Sierra Juárez, Instituto de Estudios Ambientales, Oaxaca, México

2 Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo. Edo. de México, México

3 División de Estudios de Posgrado e Investigación. Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca. Oaxaca, México

4 Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Campo experimental San Martinito. México

* Autor para correspondencia: ruiz.faustino@colpos.mx

RESUMEN

La estimación de la biomasa arbórea es un medio para determinar los montos existentes de carbono orgánico en cada uno de los componentes del árbol. Los estudios sobre biomasa aérea para especies del género *Quercus* son escasos en México, aun cuando el país es considerado un centro de distribución. El objetivo del presente trabajo fue generar ecuaciones alométricas para estimar la biomasa aérea de áboles de *Quercus laurina* Humb. & Bonpl. y *Q. crassifolia* Humb. & Bonpl., en un bosque de la comunidad de Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México. Se muestrearon 16 árboles por cada especie, distribuidos en seis categorías diamétricas y se determinó la biomasa en fuste con corteza, ramas y follaje. Se evaluaron diferentes modelos de regresión con base en la bondad de ajuste y validez de sus indicadores estadísticos. Se eligió la ecuación exponencial de la forma $Biomasa = e^{[-\beta_0 + \beta_1 \ln(DN^2 \times AT)]}$, para calcular la biomasa (kg) en función al diámetro normal (DN, cm) y altura total (AT, m) de los árboles. La biomasa aérea total se estimó en 100,15 Mg ha⁻¹ para *Q. laurina* y 129,97 Mg ha⁻¹ para *Q. crassifolia*. La distribución proporcional de biomasa por compartimento de *Q. laurina* fue 82,9%; 14,9% y 2,2% para fustes, ramas y follaje, respectivamente, mientras que para *Q. crassifolia* la distribución fue 82,3%; 16,0% y 1,7%; en el mismo orden.

PALABRAS CLAVE: categorías diamétricas, diámetro normal, follaje, fuste, ramas.

ABSTRACT

Estimating tree biomass is a means to determine the existing amounts of organic carbon in each of the tree components. Studies of biomass for *Quercus* species are scarce in Mexico, even though the country is considered a distribution center. The aim of this study was to generate allometric equations for estimating aboveground biomass of trees *Quercus laurina* Humb. & Bonpl. and *Q. crassifolia* Humb. & Bonpl., in a forest community of Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México. Sixteen trees were sampled per species, distributed in six diameter categories and biomass was determined in stem bark, branches and foliage. Different regression models were evaluated based on fitness and validity of their statistical indicators. An exponential equation was chosen in the form of $Biomasa = e^{[-\beta_0 + \beta_1 \ln(DN^2 \times AT)]}$, to calculate the biomass (kg) within a normal diameter (DN, cm) and total height (AT, m) of the trees. The total aboveground biomass was estimated at 100,15 Mg ha⁻¹ for *Q. laurina* and 129,97 Mg ha⁻¹ for *Q. crassifolia*. The proportional distribution of biomass per component of *Q. laurina* was 82,9%; 14,9% and 2,2% for stems, branches and foliage, respectively, while for *Q. crassifolia* the distribution was 82,3%; 16,0% and 1,7% in the same order.

KEY WORDS: diametric categories, normal diameter, foliage, stem, branches.

INTRODUCCIÓN

La estimación de la biomasa es un medio para cuantificar la cantidad de CO₂ que puede ser liberado a la atmósfera, o extraído y fijado en los bosques (Clark y Clark, 2000; Návar, 2009). Sirve como parámetro para la planificación del aprovechamiento maderable al determinar la productividad de los bosques (Kauffman et al., 2009). Además, es la base para el estudio de elementos biogeoquímicos como el nitrógeno (Basuki et al., 2009; Návar-Cháidez, 2010), y también es un indicador de la cantidad de materia prima disponible para combustible, como una fuente renovable de energía (Gómez-García et al., 2013).

La cantidad total de materia orgánica aérea presente en los árboles, incluye hojas, ramas, tronco y corteza, y su conjunto se define como biomasa aérea (Garzuglia y Saket, 2003); su valoración en cualquier componente del ecosistema requiere la aplicación de métodos directos o indirectos (Brown et al., 1989; Vásquez y Arellano, 2012). La estimación de biomasa por el método directo es el más comúnmente usado (Díaz-Franco, 2007); el procedimiento consiste en cortar el árbol y pesar directamente cada componente; sin embargo, su utilización en ecosistemas forestales está condicionada por los altos costos que representa.

Para estimar la acumulación de la biomasa se requiere de modelos matemáticos simples basados en un número reducido de parámetros obtenidos de los árboles, que permitan estimar con precisión y confiabilidad la biomasa de las especies arbóreas (Acosta-Mireles et al., 2002; Averdaño-Hernández et al., 2009). En particular, las ecuaciones alométricas son importantes para cuantificar el almacenamiento de biomasa y carbono en ecosistemas terrestres (Litton y Kauffman, 2008).

En México, los estudios para la estimación de biomasa del género *Quercus* generalmente han agrupado a las especies. Por ejemplo, cinco especies de la meseta central de Chiapas (Ayala-López et al. 2001), dos especies de la Sierra Madre Oriental en Nuevo León (Rodríguez-Laguna et al., 2007), tres especies del sureste de Nuevo León (Domínguez-Cabrera et al., 2009) y dos especies de la Sierra Madre Occidental en Durango (Silva-Arredondo y Návar-Cháidez, 2010); también se han generado ecua-

ciones específicas para algunas especies de encinos como *Q. peduncularis* Née. de Oaxaca (Acosta-Mireles et al., 2002), *Q. sideroxyla* Humb. & Bonpl. de Durango (Merlin-Bermúdez y Návar-Cháidez, 2005), *Q. rysophylla* Weath., *Q. xalapensis* Humb. & Bonpl. y *Q. germana* Schidl. & Cham. de Tamaulipas (Rodríguez-Laguna et al., 2009), y *Q. magnoliaefolia* Née de la Sierra de Huautla, Morelos (Gómez-Díaz et al., 2011).

Návar-Cháidez (2010) al evaluar la importancia de las ecuaciones alométricas a nivel de especie para cada sitio específico, encontró una mejoría de 5% en el coeficiente de determinación y de 20% en el error estándar. En el mismo sentido, Cairns et al. (2000) y Ferry et al. (2008) indican que la acumulación de biomasa aérea depende de variables como el clima, el suelo y las especies arbóreas, entre otras. También, Acosta-Mireles et al. (2002) al comparar las ecuaciones alométricas de seis especies arbóreas de Oaxaca, determinaron que a pesar de que las especies presentaban similitud en el patrón de crecimiento y arquitectura de copa, no fue posible ajustarlas a la misma ecuación alométrica. Lo anterior confirma el señalamiento de Wang (2006) y Rodríguez et al. (2012), que la estimación precisa de biomasa requiere, por lo general, ecuaciones particulares para cada especie.

Las especies *Q. laurina* y *Q. crassifolia* (encinos rojos) pertenecen a la sección Lobatae (Pérez-Olvera y Dávalos-Sotelo, 2008) y tienen amplia distribución, ocurre en 15 estados de México (Valencia, 2004). *Quercus crassifolia* es una especie que tiene grandes posibilidades de ser utilizada industrialmente debido a la calidad de su madera en términos de su respuesta en operaciones de torneado, taladrado, moldurado y lijado (Flores-Velázquez et al., 2013), además del potencial ornamental y su utilidad en la recuperación de suelos degradados (Rubio-Licona et al., 2011). Por otro lado, *Q. laurina* presenta fustes bien conformados y madera con excelentes características tecnológicas (Flores-Velázquez et al., 2007; Flores Velázquez et al., 2013). Además de la importancia mencionada, el presente estudio serviría como parámetro para estimar la productividad del bosque de encinos de Ixtlán de Juárez, Oaxaca; permitiría cuantificar la biomasa aérea que acu-



mulan *Q. laurina* y *Q. crassifolia*, como una alternativa para el pago por servicios ambientales al ingresarlas al mercado del carbono; y también, sería útil para determinar el potencial de estas especies como una fuente de energía limpia al fijar el CO₂ durante los procesos fotosintéticos y utilizarlas en la producción de combustibles renovables.

OBJETIVO

Generar ecuaciones alométricas que permitan estimar la biomasa aérea total y su distribución en tres principales componentes (fuste, ramas, follaje) para árboles de *Q. laurina* y *Q. crassifolia* en un bosque de pino-encino de Ixtlán de Juárez, Oaxaca.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se realizó en un bosque de pino-encino de la comunidad de Ixtlán de Juárez, Oaxaca, localizado entre las coordenadas geográficas: 17°18'16" y 17°30'00" N; 96°31'38" y 96°22'00" O (Castellanos-Bolaños *et al.*, 2010). Según la clasificación de Köppen modificado por García (1987), el clima del bosque de pino-encino es C (m) (w")b(i')g, templado húmedo con lluvias en verano. La temperatura promedio anual es de 20 °C y la precipitación pluvial varía de 800 mm a 1200 mm al año (Aquino-Vásquez *et al.*, 2012). El tipo de suelo más común en el área de estudio es el Acrisol húmico (Ah) con textura media limosa, caracterizada por presentar en la superficie una capa muy rica de materia orgánica de color oscuro (Rainforest Alliance, 2006).

En los bosques de pino encino de Ixtlán de Juárez, Oaxaca, *Q. laurina* y *Q. crassifolia* se encuentran cohabitando con especies del género *Pinus* así como especies latifoliadas: *Arbutus xalapensis* Kunth, *Alnus acuminata arguta* (Schltdl.) Furlow, *Prunus serotina* Ehrn., *Fraxinus uhdei* (Wenzig) Lingelsheim y *Litsea glaucescens* Kunth, entre otras (Aquino-Vásquez *et al.*, 2012). Las especies de encino predominantes sobre este tipo de vegetación son *Q. crassifolia*, *Q. laurina*, *Q. obtusata* Humb. & Bonpl, *Q. oleoides* Schltdl. & Cham. y *Q. conspersa* Benth.

Los árboles muestreados se obtuvieron de dos rodales con exposición suroeste y con dominancia de especies del género *Quercus*. El primer rodal (17°21'22" N y 96°27'42" O) está situado en un terreno con pendiente de 40% a una altitud de 2707 m y la especie dominante es *Q. laurina*. El segundo rodal (17°21'08" N y 96°27'31" O) está situado en un terreno con pendiente de 20% a una altitud de 2631 m y la especie dominante es *Q. crassifolia*.

Selección y derribo de árboles

En los dos rodales dominados por *Quercus*, se establecieron tres unidades de muestreo de 50 m x 50 m cada una. Se midió el diámetro normal (DN, cm) y la altura total (AT, m) de todos los individuos de *Q. laurina* y *Q. crassifolia* con DN ≥ 2,5 cm, con la finalidad de clasificar a los árboles por categorías diamétricas (CD) y muestrear la mayor cantidad disponible. Para *Q. laurina* la máxima CD encontrada fue de 30 cm y para *Q. crassifolia* de 35 cm. Sin embargo, en esta CD de 35 cm se localizaron pocos individuos de *Q. crassifolia*, además árboles no representativos de la comunidad (bifurcados o con presencia de plagas), por lo que se decidió no incluirlos para el muestreo y trabajar con categorías diamétricas entre 5 cm y 30 cm para ambas especies. Por lo anterior, las ecuaciones alométricas generadas son útiles para este intervalo de CD (5 cm a 30 cm).

Se eligieron 16 árboles por cada especie (32 en total), sanos, de fuste recto y no bifurcados, obteniendo la muestra de forma proporcional a la frecuencia relativa de cada categoría diamétrica, con la intención de muestrear toda la variabilidad existente (Manzano-Méndez *et al.*, 2010). A los individuos se les midió el DN con cinta diamétrica y AT con clinómetro marca Brunton modelo CM360LA, antes de ser derribados.

Separación por componentes

Posterior al derribo en campo, se separó el componente aéreo del árbol (fuste con corteza, ramas y follaje) para obtener su peso húmedo (Ph, en kg) (Acosta-Mireles *et al.*, 2002; Avendaño-Hernández *et al.*, 2009; Gómez-Díaz *et al.*, 2011). Los tallos y ramas principales se cortaron en

trozas de 1 m de longitud y se pesaron en una báscula electrónica marca Torrey serie EQB/EQM con capacidad de 100 kg ± 100 g, mientras que las ramas secundarias y follaje fueron pesadas en una balanza electrónica marca Ohaus modelo SP6001 con capacidad de 6 kg ± 0,1 g.

Pesado y secado de muestras

El peso seco de cada árbol se determinó por extrapolación en el laboratorio, a partir de cinco rodajas de 5 cm de grosor para fuste (160 rodajas completas en total), cinco muestras de 100 g para ramas (160 en total) y cinco muestras de 100 g para follaje (160 en total); previamente cada muestra fue pesada en campo para tener la referencia del peso húmedo y hacer el ajuste para las fracciones de las partes del árbol que no fueron secadas en el laboratorio.

El secado de las muestras se realizó en una estufa eléctrica RIOSSA modelo HD41, a una temperatura de 100 °C hasta alcanzar su peso constante (Muñoz et al., 2005), mismo que fue verificado registrando el peso de las muestras cada 24 horas con una balanza electrónica marca Ohaus, Modelo Precision Standard con capacidad de 5 kg ± 0,01 g. De acuerdo con Walker (2010), el contenido de humedad (CH%) se obtuvo mediante la fórmula:

$$CH\% = \frac{P_h - P_s}{P_s} \times 100 \quad (1)$$

donde:

P_h : peso húmedo (kg)

P_s : peso seco (kg)

El contenido de humedad se aplicó al peso total de madera de fuste, ramas y follaje (Flores-Nieves et al., 2011) para obtener el peso seco a partir del peso húmedo, por medio de la ecuación:

$$B_c = PH_c - \frac{PH_c \times CH_c}{100} \quad (2)$$

donde:

B_c : biomasa del componente (kg)

PH_c : peso húmedo del componente (kg)

CH_c : contenido de humedad del componente

La suma del peso seco de cada componente constituyó la biomasa aérea total del árbol (Domínguez-Cabrera et al., 2009).

Análisis estadístico

Las ecuaciones alométricas convencionales utilizan generalmente el diámetro normal para estimar la biomasa (Návar et al., 2004; Avendaño-Hernández et al., 2009), sin embargo las ecuaciones de mejor estimación de biomasa están en función del diámetro normal y altura total (Brown et al., 1989; Rodríguez-Ortiz et al., 2012). En el presente estudio se analizaron las siguientes ecuaciones para estimar la biomasa del fuste, ramas, follaje y la biomasa total:

$$y = e^{[-\beta_0 + \beta_1 \ln(DN \times AT)]} \quad (3)$$

$$y = e^{[-\beta_0 + \beta_1 \ln(DN^2 \times AT)]} \quad (4)$$

$$y = \beta_0 + \beta_1 \times DN^2 \times AT \quad (5)$$

$$y = \beta_0 (DN \times AT)^{\beta_1} \quad (6)$$

$$y = \beta_0 + \beta_1 \times DN^2 + \beta_2 \times AT + \beta_3 (DN^2 \times AT) \quad (7)$$

donde:

y : biomasa (kg)

DN : diámetro normal (cm)

AT : altura total (m)

$\beta_0, \beta_1, \beta_2$, y β_3 : parámetros de regresión

La ecuación de mejor ajuste se comparó con la ecuación de Schumacher (Ecuación 8) que utiliza como variable independiente el DN , por ser una de las más frecuentemente utilizadas (Méndez-González et al., 2011). También, se realizó una comparación con ecuaciones que han sido generadas para especies del género *Quercus* aplicadas a las variables medidas en los rodales del presente estudio.

$$y = \beta_0 (e^{-\beta_1 / DN}) \quad (8)$$



El análisis de las ecuaciones se realizó con el paquete estadístico SAS (SAS Institute Inc., 1996), evaluándose modelos de regresión lineal (PROC GLM) y no lineal (PROC MODEL) para estimar la biomasa total y de cada componente (Rodríguez-Ortiz *et al.*, 2012). Para la elección de las ecuaciones se comprobaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas (Fonseca *et al.*, 2009), analizándose los siguientes indicadores de ajuste: coeficiente de determinación ajustado (R^2), error estándar (EE), cuadrado medio del error (CME) y significancia de los parámetros de cada ecuación (Álvarez-González *et al.*, 2005; Rojo-Martínez *et al.*, 2005).

Biomasa aérea por unidad de superficie

La biomasa aérea se cuantifica en kilogramos por árbol o en toneladas por hectárea de peso seco (Silva-Arredondo y Návar-Cháidez, 2010). Para la evaluación de la biomasa aérea por unidad de superficie, de *Q. laurina* y *Q. crassifolia*, se utilizaron los datos medidos en las tres unidades de muestreo, con estos datos y con la ecuación que presentó el mejor ajuste por componente, se calculó la biomasa aérea total de estas dos especies, sumando la biomasa de fuste, ramas y follaje para cada especie por UM, de acuerdo con el procedimiento efectuado por Domínguez-Cabrera *et al.* (2009).

Factor de expansión de biomasa

Al cociente de la biomasa aérea total y la biomasa de los fustes se le denomina factor de expansión de biomasa (*FEB*) (Dauber *et al.*, 2002). El método que emplea los *FEB* se utiliza cuando se requiere evaluar la biomasa total con información de inventarios forestales donde se cuantifica el volumen de especies arbóreas (Silva-Arredondo y Návar-Cháidez, 2010) y consiste en multiplicar la biomasa de los fustes por el *FEB* dando como resultado el valor de la biomasa total (Dauber *et al.*, 2002). Según Domínguez-Cabrera *et al.* (2009), los *FEB* se han calculado utilizando la siguiente ecuación:

$$FEB = \frac{B_f + B_r + B_h}{B_f} \quad (9)$$

donde:

B_f = biomasa de fuste, B_r = biomasa de ramas y B_h = biomasa de hojas.

De acuerdo con Rodríguez-Ortiz *et al.* (2012), mediante ecuaciones de volumen total con la relación:

$$FEB = \frac{BT}{EV} \quad (10)$$

donde:

BT = biomasa total, EV = ecuación de volumen.

En el presente estudio los *FEB* se calcularon con la ecuación de biomasa total (BT) y la ecuación de biomasa de fuste (B_f) por medio de la relación:

$$FEB = \frac{BT}{B_f} \quad (11)$$

RESULTADOS

En la tabla 1 se muestran los estadísticos de los árboles de *Q. laurina* y *Q. crassifolia*, medidos en tres unidades de muestreo (UM) de 2500 m² cada una. El *DN* máximo empleado para generar las ecuaciones de *Q. laurina* fue de 31,0 cm, para esta especie el *DN* máximo medido en las UM fue 32,5 cm. Para *Q. crassifolia* el *DN* máximo medido en las UM fue de 35,7 cm y el *DN* máximo utilizado para generar las ecuaciones fue de 31,0 cm. En ambos casos, las ecuaciones alométricas son útiles para el *DN* máximo utilizado al generarlas. En el mismo sentido, respecto a las alturas máximas consideradas para las ecuaciones, son valores cercanos al intervalo medido en las unidades de muestreo.

Los estadísticos para las variables utilizadas en este estudio se presentan en la tabla 2, donde para cada especie de encino el tamaño de muestra de árboles fue mayor al empleado para generar las ecuaciones de estudios previos, e.g. *Quercus peduncularis* ($n = 8$) (Acosta-Mireles *et al.*, 2002), *Q. rysophylla* ($n = 8$), *Q. cambyi* Tre. ($n = 8$), *Q. laceyi* Small ($n = 7$) (Rodríguez-Laguna *et al.*, 2007) y *Q. magnoliaefolia* ($n = 12$) (Gómez-Díaz *et al.*, 2011).

TABLA 1. Diámetro y altura de *Quercus laurina* y *Q. crassifolia*, medidos en unidades de muestreo.

Estadístico	<i>Quercus laurina</i> (n = 312)			<i>Quercus crassifolia</i> (n = 314)		
	CD (cm)	DN (cm)	AT (m)	CD (cm)	DN (cm)	AT (m)
Mínimo	5	3,20	2,50	5	3,2	2,50
Máximo	30	32,50	25,00	35	35,7	26,00
Media	16,71	13,64		20,9	14,80	
EE	0,48	0,33		0,47	0,31	

CD = Categoría diamétrica; DN = Diámetro normal; AT = Altura total; EE = Error estándar

TABLA 2. Diámetro, altura y biomasa de *Quercus laurina* y *Q. crassifolia*, utilizados para generar las ecuaciones alométricas.

Estadístico	<i>Quercus laurina</i>			<i>Quercus crassifolia</i>		
	DN (cm)	AT (m)	BT (kg)	DN (cm)	AT (m)	BT (kg)
Mínimo	6,00	9,60	8,37	5,00	7,20	7,24
Máximo	31,00	25,50	675,35	31,00	25,00	604,18
Media	16,84	18,73	203,49	16,53	16,12	202,01
EE	2,06	1,15	53,15	2,05	1,57	52,79

DN = Diámetro normal; AT = Altura total; EE = Error estándar; BT = Biomasa total.

La proporción de biomasa aérea por componente se muestra en la tabla 3, donde se observa que la mayor acumulación de biomasa aérea en ambas especies se concentra en el fuste (> 80%).

Los encinos descritos en el presente estudio acumularon entre sí porcentajes similares en la distribución de bio-

masa para los diferentes componentes. Los modelos evaluados para los datos de biomasa aérea total de *Q. laurina* y *Q. crassifolia* se presentan en las tablas 4 y 5, respectivamente.

En el presente estudio para ambas especies se eligió la ecuación $y = e^{[-\beta_0 + \beta_1 \ln(DN^2 \times AT)]}$ en función a sus indicadores

TABLA 3. Distribución de biomasa aérea por componente.

Estadístico	<i>Q. laurina</i>			<i>Q. crassifolia</i>		
	Fuste	Ramas	Follaje	Fuste	Ramas	Follaje
Mínimo	7,99 (95,4)	0,31 (3,7)	0,08 (0,9)	6,75 (93,2)	0,33 (4,5)	0,16 (2,3)
Máximo	546,45 (80,9)	113,16 (16,8)	15,75 (2,3)	484,62 (80,2)	106,74 (17,7)	12,82 (2,1)
Media	168,70 (82,9)	30,28 (14,9)	4,51 (2,2)	166,23 (82,3)	32,32 (16,0)	3,45 (1,7)
EE	43,02	8,92	1,27	42,00	9,95	1,05

EE = Error estándar; el valor entre paréntesis representa el porcentaje de acumulación de biomasa.

TABLA 4. Modelos evaluados para biomasa aérea total de *Quercus laurina*.

Ecuación	Parámetros	Error estándar	Valor t	Pr> t	CME	R ²
(3)	$\beta_0 = 5,6930$	0,5259	10,83	< 0,0001	615,0	0,9864
	$\beta_1 = 1,8361$	0,0813	22,59	< 0,0001		
(4)	$\beta_0 = 4,3375$	0,3756	11,55	< 0,0001	387,7	0,9914
	$\beta_1 = 1,0760$	0,0384	28,03	< 0,0001		
(5)	$\beta_0 = -9,3407$	7,6716	-1,22	0,2435	453,0	0,9900
	$\beta_1 = 0,0281$	0,0007	38,51	< 0,0001		
(6)	$\beta_0 = 0,0034$	0,0018	1,90	0,0780	615,0	0,9864
	$\beta_1 = 1,8361$	0,0813	22,59	< 0,0001		
(7)	$\beta_0 = 29,6627$	32,6749	0,91	0,3818	469,2	0,9896
	$\beta_1 = 0,0191$	0,2330	0,08	0,9360		
	$\beta_2 = -2,6628$	2,3025	-1,16	0,2700		
	$\beta_3 = 0,0286$	0,0089	3,20	0,0077		

$\beta_0, \beta_1, \beta_2$ y β_3 = Parámetros de las ecuaciones; CME = Cuadrado medio del error; R² = Coeficiente de determinación ajustado.

TABLA 5. Modelos evaluados para biomasa aérea total de *Quercus crassifolia*.

Ecuación	Parámetros	Error estándar	Valor t	Pr> t	CME	R ²
(3)	$\beta_0 = 3,8124$	0,6632	5,75	< 0,0001	1048,7	0,9765
	$\beta_1 = 1,5498$	0,1032	15,02	< 0,0001		
(4)	$\beta_0 = 2,8664$	0,5016	5,71	< 0,0001	780,9	0,9825
	$\beta_1 = 0,9276$	0,0516	17,99	< 0,0001		
(5)	$\beta_0 = 9,4894$	9,9543	0,95	0,3566	833,5	0,9813
	$\beta_1 = 0,0275$	0,0010	28,08	< 0,0001		
(6)	$\beta_0 = 0,0221$	0,0147	1,51	0,1538	1048,7	0,9765
	$\beta_1 = 1,5497$	0,1032	15,02	< 0,0001		
(7)	$\beta_0 = -5,7525$	29,8366	-0,19	0,8503	856,5	0,9808
	$\beta_1 = 0,3756$	0,3012	1,25	0,2362		
	$\beta_2 = -0,6275$	2,6706	-0,23	0,8182		
	$\beta_3 = 0,0131$	0,0114	1,15	0,2732		

$\beta_0, \beta_1, \beta_2$ y β_3 = Parámetros de las ecuaciones; CME = Cuadrado medio del error; R² = Coeficiente de determinación ajustado.

estadísticos: mayor valor del coeficiente de determinación ajustado, el menor valor del cuadrado medio del error, y la significancia de los parámetros de la ecuación; utilizando las mismas variables independientes para *Q. mongolica*

Fisch. en Heilongjiang, China, en donde se mejoraron significativamente los indicadores estadísticos (Wang, 2006).

El análisis de la ecuación 8 mostró los siguientes indicadores estadísticos: *Q. laurina* (coeficiente de determina-

ción ajustado, $R^2 = 0,972$ y cuadrado medio del error, CME = 1076,4). *Q. crassifolia* ($R^2 = 0,975$ y CME = 810,5). Aunque para ambas especies el valor de R^2 es casi similar al obtenido utilizando la ecuación 4, el CME es mayor utilizando la ecuación 8.

Para los componentes (fuste, ramas y follaje) se utilizó la misma ecuación 4 que para la biomasa total, que fue la que se ajustó mejor a los datos observados en comparación con las otras ecuaciones. Los parámetros y estimadores de regresión por componentes para *Q. laurina* y *Q. crassifolia* se muestran en las tablas 6 y 7, respectivamente.

La relación de biomasa con el diámetro normal y la altura total, así como las ecuaciones obtenidas por componente para *Q. laurina* y *Q. crassifolia* se ilustran en las figuras 1 y 2, respectivamente; en ambas especies, el alto valor de R^2 indica una relación estrecha de la biomasa con el diámetro normal y la altura total.

En las tres unidades de muestreo (UM) establecidas en el presente estudio (superficie muestreada 7500 m²), se midieron un total de 312 árboles de *Q. laurina* y 314 de *Q. crassifolia*, la biomasa aérea acumulada por *Q. laurina* en este estudio fue de 100,15 Mg ha⁻¹ distribuidos en 416 árboles ha⁻¹, mientras *Q. crassifolia* acumuló 129,97 Mg ha⁻¹ en 419 árboles ha⁻¹.

TABLA 6. Parámetros y estimadores de regresión de la ecuación 4 para componentes de *Quercus laurina*.

Componente	Parámetros	Error estándar	Valor t	Pr> t	CME	R ²
Fuste	$\beta_0 = 4,2772$	0,3925	10,90	< 0,0001	296,7	0,9900
	$\beta_1 = 1,0493$	0,0402	23,13	< 0,0001		
Ramas	$\beta_0 = 7,3582$	0,5524	13,32	< 0,0001	17,3	0,9864
	$\beta_1 = 1,1962$	0,0562	21,28	< 0,0001		
Follaje	$\beta_0 = 9,1315$	0,5696	16,03	< 0,0001	0,40	0,9845
	$\beta_1 = 1,1801$	0,0580	20,35	< 0,0001		

β_0 y β_1 = Parámetros de la ecuación; CME = Cuadrado medio del error; R² = Coeficiente de determinación ajustado.

TABLA 7. Parámetros y estimadores de regresión de la ecuación 4 para componentes de *Quercus crassifolia*.

Componente	Parámetros	Error estándar	Valor t	Pr> t	CME	R ²
Fuste	$\beta_0 = 2,6861$	0,5169	5,20	0,0001	591,3	0,9790
	$\beta_1 = 0,8872$	0,0533	16,66	< 0,0001		
Ramas	$\beta_0 = 6,2523$	1,0171	6,15	< 0,0001	69,7	0,9560
	$\beta_1 = 1,0953$	0,1039	10,54	< 0,0001		
Follaje	$\beta_0 = 9,6246$	0,5639	17,07	< 0,0001	0,20	0,9887
	$\beta_1 = 1,2118$	0,0574	21,10	< 0,0001		

β_0 y β_1 = Parámetros de la ecuación; CME = Cuadrado medio del error; R² = Coeficiente de determinación ajustado.

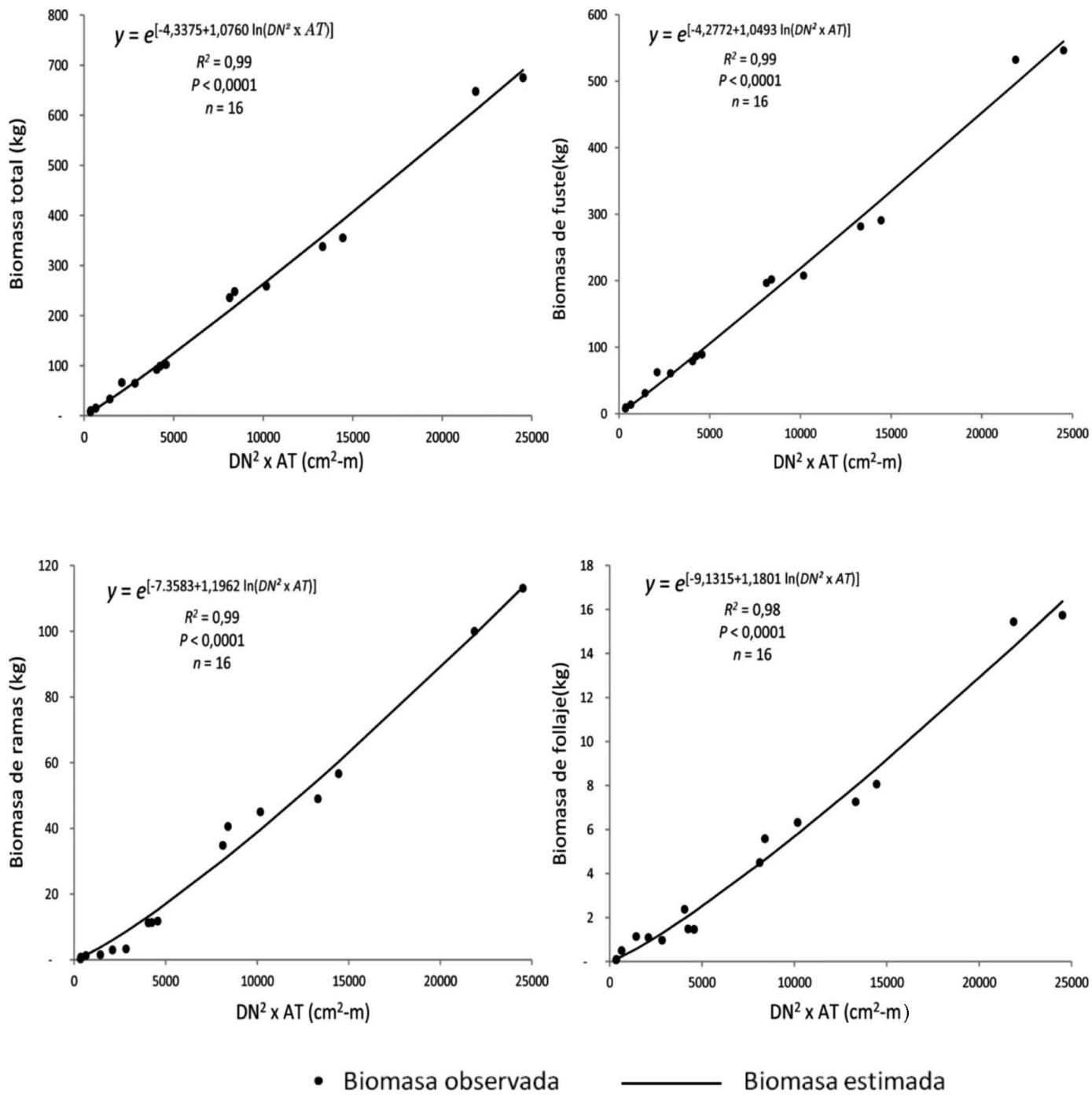


FIGURA 1. Biomasa aérea total y por componentes para *Quercus laurina*, en kg de peso anhidro.

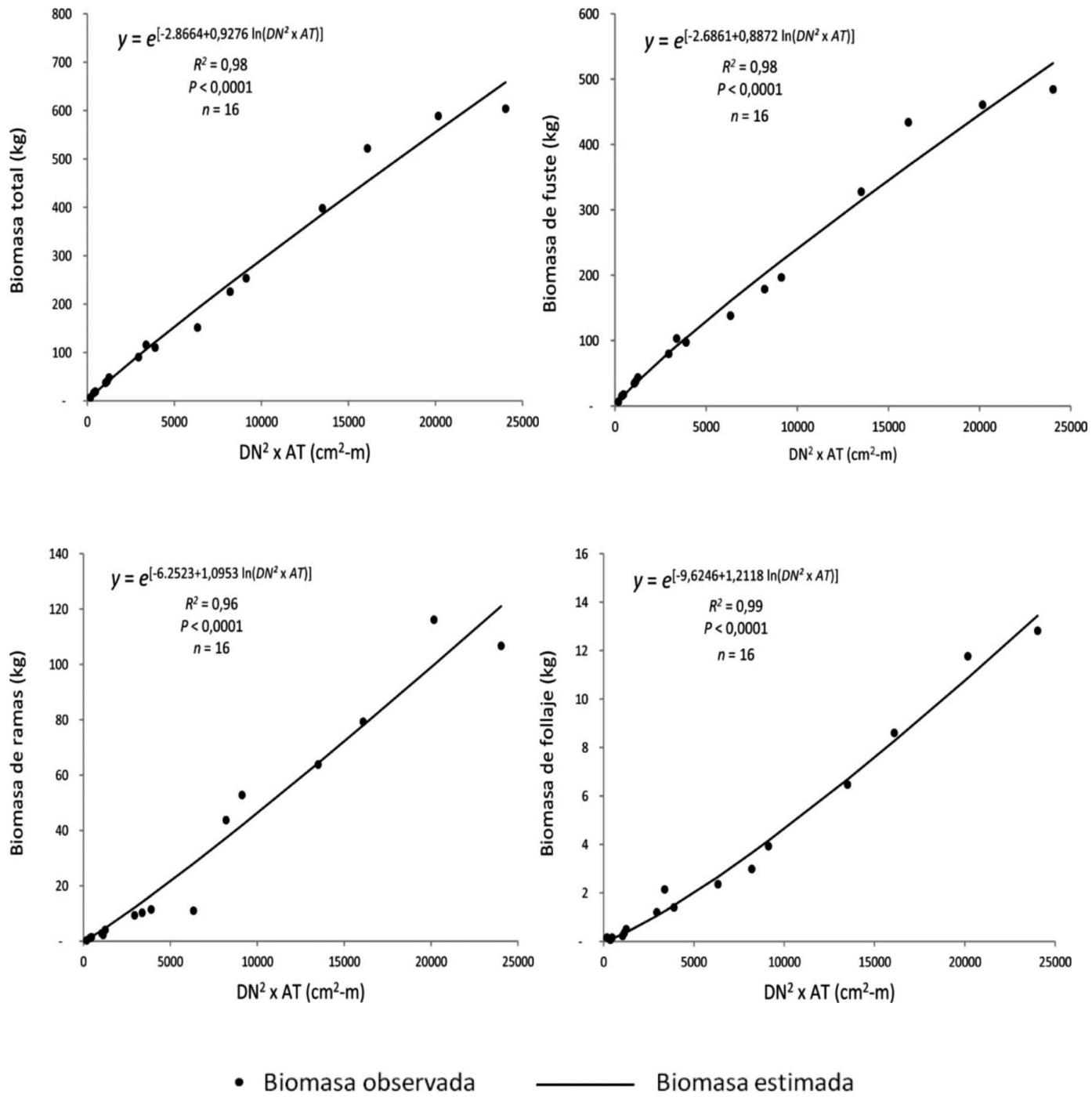


FIGURA 2. Biomasa aérea total y por componentes para *Quercus crassifolia*, en kg de peso anhidro.



En la tabla 8 se presentan algunas ecuaciones generadas para diferentes especies de *Quercus*, estas ecuaciones se aplicaron a los datos de las unidades de muestreo del presente estudio y se estimó la biomasa total para *Q. laurina* y *Q. crassifolia*.

Utilizando las ecuaciones generadas para estimar la biomasa aérea total y la biomasa de fuste de cada especie, el factor de expansión de biomasa para *Q. laurina* (ecuación 12) y *Q. crassifolia* (ecuación 13) quedó expresado como:

$$FEB = \frac{e^{[-4,3375+1,0760 \ln(DN^2 \times AT)]}}{e^{[-4,2772+1,0493 \ln(DN^2 \times AT)]}} = e^{[-0,0603+0,0267 \ln(DN^2 \times AT)]} \quad (12)$$

$$FEB = \frac{e^{[-2,8664+0,9276 \ln(DN^2 \times AT)]}}{e^{[-2,6861+0,8872 \ln(DN^2 \times AT)]}} = e^{[-0,1803+0,0404 \ln(DN^2 \times AT)]} \quad (13)$$

En promedio, para los 312 árboles muestreados de *Q. laurina* se obtuvo un *FEB* = 1,172 y para los 314 árboles de *Q. crassifolia* un *FEB* = 1,189; estos *FEB* indican que aproximadamente 17% para *Q. laurina* y 19% para *Q. crassifolia* de la biomasa aérea se distribuye en las ramas y follaje, mientras que más de 80% de la biomasa aérea se concentra en el fuste en ambas especies.

DISCUSIÓN

La biomasa aérea total y por componentes para *Q. laurina* y *Q. crassifolia* se obtuvo mediante la ecuación 4 que utiliza como variables independientes el diámetro normal (*DN*) y la altura total (*AT*) de los árboles, variables que son registradas en los inventarios forestales. El uso del *DN* únicamente como variable independiente mostró un aumento en el cuadrado medio del error, lo que indica una menor precisión de la ecuación 8, respecto a la ecuación 4 que predice mejor los datos observados.

En la comparación de las ecuaciones que se generaron para diferentes especies de *Quercus* (Tabla 8), los valores obtenidos al aplicarlas, son diferentes a los valores resultantes luego de aplicar las ecuaciones específicas generadas en este estudio para *Q. laurina* y *Q. crassifolia*. Por ejemplo, utilizando la ecuación propuesta por Ayala-López (2001), se sobreestima en 62,9% la biomasa de *Q.*

laurina y en 55,9% la de *Q. crassifolia*. Lo mismo sucede al aplicar la ecuación generada por Gómez-Díaz *et al.* (2011) que también sobreestima la biomasa aérea en 60,8% y 63,4%, para *Q. laurina* y *Q. crassifolia*, respectivamente. Por otro lado, la ecuación generada por Acosta-Mireles *et al.* (2002), subestima, respecto a las ecuaciones generadas en el presente estudio, en 24,1% la biomasa de *Q. laurina* y en 23,6% la de *Q. crassifolia*. En el mismo sentido, la ecuación propuesta por Domínguez-Cabrera (2009), subestima en 21,8% y 18,8% la biomasa de *Q. laurina* y *Q. crassifolia*, respectivamente. Estas comparaciones permiten establecer que, aunque se han generado ecuaciones alométricas para estimar la biomasa aérea de *Quercus*, su utilización se limita a las especies, o grupos de especies para las que fueron generadas, a las condiciones ambientales y de sitio donde cohabitan las especies, al patrón de crecimiento y a la arquitectura de copa (Acosta-Mireles *et al.*, 2002; Wang, 2006; Rodríguez-Ortiz *et al.*, 2012). Por lo anterior, las ecuaciones generadas en este estudio pueden ser utilizadas en bosques que comparten las mismas condiciones de crecimiento y solo son aplicables a las especies para las que fueron generadas.

La acumulación de biomasa en el fuste de ambas especies fue en promedio seis por ciento superior a *Q. petraea* (Matt.) de Renania-Palatinado, Alemania (fuste 76,7%, ramas 21,1% y follaje 2,2%) (Suchomel *et al.*, 2012) y 20% mayor a *Q. magnoliaefolia* de Morelos, México (fuste 62,5%, ramas 27,8% y follaje 9,6%) (Gómez-Díaz *et al.*, 2011). Lo anterior puede deberse a que *Q. laurina* y *Q. crassifolia* presentan fustes rectos y poca ramificación en el área de estudio, misma que puede estar influenciada principalmente por factores físicos, edáficos, y por patrones de disturbio que afectan la estructura de la vegetación (Vásquez y Arellano, 2012). En el presente estudio el suelo presenta una capa rica en materia orgánica, con respecto al suelo publicado para *Q. magnoliaefolia* (textura media y superficie pedregosa), lo que puede favorecer el crecimiento de los árboles debido a la disponibilidad de nutrientes. Adicionalmente, el método silvícola utilizado en los bosques de Ixtlán de Juárez (selección de árboles individuales), por los disturbios oca-

TABLA 8. Ecuaciones generadas para especies de *Quercus*, aplicadas a datos medidos en unidades de muestreo.

Fuente	Especies	Ecuación	Biomasa (Mg ha ⁻¹)	
			<i>Q. laurina</i>	<i>Q. crassifolia</i>
Ayala-López, 2001	<i>Q. crassifolia</i> , <i>Q. chrysophylla</i> Humb. & Bonpl., <i>Q. laurina</i> , <i>Q. rugosa</i> Née	$y = 0,2830(DN^2 \times AT)^{0,8070}$	163,16	202,60
Domínguez-Cabrera, 2009	<i>Q. laceyi</i> , <i>Quercus canbyi</i> , <i>Quercus rysophylla</i>	$y = 4371,395(e^{-70,972/DN}) + 1,3$	78,36	105,49
Acosta-Mireles et al., 2002	<i>Q. peduncularis</i>	$\ln y = -2,27 + 2,39 \ln(DN)$	76,07	99,29
Gómez-Díaz et al., 2011	<i>Q. magnoliaefolia</i>	$y = 0,0345(DN)^{2,9334}$	161,00	212,42
Rodríguez-Laguna et al., 2007	<i>Q. laceyi</i> , <i>Q. canbyi</i>	$\ln y = -2,3517 + 2,4700 \ln(DN)$	91,79	120,08
Rodríguez-Laguna et al., 2009	<i>Q. rysophylla</i>	$y = 0,9705(DN)^{1,8373}$	113,80	145,24
Rodríguez-Laguna et al., 2009	<i>Q. xalapensis</i>	$y = 0,7764(DN)^{1,9384}$	126,95	162,88
Silva-Arredondo y Návar-Cháidez, 2010	<i>Quercus sideroxyla</i> , <i>Quercus rugosa</i>	$y = 0,0706(DN)^{2,4077} + 0,004(DN)^{3,0799}$	86,06	112,87
El presente estudio	<i>Q. laurina</i>	$y = e^{[-4,3375 + 1,0760 \ln(DN^2 \times AT)]}$	100,15	
El presente estudio	<i>Q. crassifolia</i>	$y = e^{[-2,8664 + 0,9276 \ln(DN^2 \times AT)]}$		129,97

y = Biomasa, DN = Diámetro normal; AT = Altura total



sionados en la apertura de claros en el dosel, favorece la entrada de luz, misma que es aprovechada por especies tolerantes como los encinos, lo que acelera su desarrollo y por ende, la acumulación de biomasa aérea.

El promedio de biomasa aérea hallado en este estudio para *Q. laurina* ($100,15 \text{ Mg ha}^{-1}$), es similar al publicado para el bosque de pino-encino en el sur de Nuevo León, donde se encontró una biomasa total (BT) de $99,245 \text{ Mg ha}^{-1}$ para *Quercus spp.* (Domínguez-Cabrera *et al.*, 2009); sin embargo, tomando en cuenta el valor de biomasa aérea de *Q. crassifolia* ($129,97 \text{ Mg ha}^{-1}$), obtenemos una biomasa aérea total para estas dos especies del bosque de pino encino de Ixtlán de Juárez de $230,12 \text{ Mg ha}^{-1}$. Esto supera ampliamente la biomasa que se ha publicado para el género *Quercus* en un bosque de pino-encino en el norte de Nuevo León ($26,11 \text{ Mg ha}^{-1}$) (Silva-Arredondo y Návar-Cháidez, 2010), ó en el parque nacional Malinche entre los estados de Tlaxcala y Puebla ($7,66 \text{ Mg ha}^{-1}$) (Rojas-García y Villers-Ruiz, 2008), así como para *Q. germana* en un bosque de pino-encino en Tamaulipas ($17,3 \text{ Mg ha}^{-1}$) (Rodríguez-Laguna *et al.*, 2009) y en un bosque de pino-encino del Jalisco ($26,5 \text{ Mg ha}^{-1}$) (Castañeda-González *et al.*, 2012). Los valores de biomasa menores están en relación con la ausencia de árboles con diámetros mayores y menor densidad arbórea, acumulando la biomasa principalmente en categorías diamétricas inferiores. En contraste, los valores de biomasa obtenidos en el presente estudio están en función de promedios altos de área basal ($24,73 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$), altura total (14,5 m) y densidad arbórea ($835 \text{ árboles ha}^{-1}$), parámetros asociados con condiciones ambientales favorables, tales como alta humedad relativa y suelos fértils.

Los valores FEB obtenidos en este estudio son menores al encontrado para *Quercus spp.* (1,511) en un bosque de pino-encino, del sur de Nuevo León (Domínguez-Cabrera *et al.*, 2009), valor influenciado principalmente por la proporción de biomasa en las ramas ($> 50\%$), ya que a menor distribución de biomasa en el fuste mayor FEB; así mismo, la estructura del bosque desempeña un papel importante debido a que hay una relación inversa de los indicadores; a mayor altura de los árboles los FEB disminu-

yen (Silva-Arredondo y Návar-Cháidez, 2010), en Ixtlán, Oaxaca, el promedio en altura de los árboles fue de 14,5 m, con individuos que superan los 20 m.

CONCLUSIONES

En el bosque de pino-encino de Ixtlán de Juárez, Oaxaca, la proporción de biomasa aérea por componentes para *Q. laurina* fue de 82,9%, 14,9% y 2,2% para fustes, ramas y follaje, mientras que para *Q. crassifolia* la distribución fue 82,3%, 16,0% y 1,7% en el mismo orden.

La biomasa aérea total para *Q. laurina* se estimó en $100,15 \text{ Mg ha}^{-1}$ y para *Q. crassifolia* en $129,97 \text{ Mg ha}^{-1}$; en ambos casos, estos valores pudieron ser estimados mediante la ecuación exponencial, que presentó los mejores coeficientes de ajuste para ambas especies. Otras ecuaciones generadas para diferentes especies de *Quercus* y comparadas con la ecuación obtenida en este estudio, trabajadas todas con los mismos datos de campo, sobreestimaron o subestimaron la biomasa de *Q. laurina* y *Q. crassifolia*.

Los factores de expansión de biomasa: 1,172 para *Q. laurina* y 1,189 para *Q. crassifolia* permitirán realizar estimaciones confiables de biomasa por unidad de área al involucrar variables comúnmente registradas en operaciones de inventarios forestales.

RECONOCIMIENTOS

El primer autor agradece al Programa de Mejoramiento al Profesorado (PROMEP) por la beca para realizar estudios de Postgrado (Folio UNSIJ/001) y al Colegio de Posgraduados campus Montecillo, por el apoyo brindado. El Dr. Marcos Miguel González Peña corrigió una versión preliminar del presente documento

REFERENCIAS

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

- Álvarez-González, J.G., M.A. Balboa-Murias, A. Merino y R. Rodríguez-Soalleiro. 2005. Estimación de la biomasa arbórea de *Eucalyptus globulus* y *Pinus pinaster* en Galicia. *Recursos Rurales* 1(1):21-30.
- Aquino-Vásquez, C., F. Ruiz-Aquino y M.E. Fuente-Carrasco. 2012. Caracterización del patrimonio natural de la comunidad de Ixtlán de Juárez: una aproximación desde el espacio territorial. In: M.E. Fuente-Carrasco, F. Ruiz-Aquino y C. Aquino-Vásquez, eds. Conocimiento indígena contemporáneo y patrimonio biocultural en la Sierra Juárez de Oaxaca: Aportaciones empíricas y analíticas hacia la sustentabilidad. Universidad de la Sierra Juárez, México. p:35-59.
- Avendaño-Hernández, D.M., M. Acosta-Mireles, F. Carrillo-Anzures y J.D. Etchevers-Barra. 2009. Estimación de biomasa y carbono en un bosque de *Abies religiosa*. *Fitotecnia Mexicana* 32(3): 233-238.
- Ayala-López, R., B.H. De Jong y H. Ramírez-Maldonado. 2001. Ecuaciones para estimar biomasa en la meseta central de Chiapas. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 7(2):153-157.
- Basuki, M.T., P.E. Van Laake, A.K. Skidmore y Y.A. Hussin. 2009. Allometric equation for estimating the above-ground biomass in tropical lowland Dipterocarp forests. *Forest Ecology and Management* 257(8):1684-1694.
- Brown, S., A.J. Gillespie y A.E. Lugo. 1989. Biomass estimation for tropical forest with applications to forest inventory data. *Forest Science* 35(4):881-902.
- Cairns, A.M., P.K. Haggerty, R. Alvarez, B.H. de Jong e I. Olmsted. 2000. Tropical Mexico's recent land-use change: a region's contribution to the global carbon cycle. *Ecological Applications* 10(5):1426-1441.
- Castañeda-González, J.C., A. Gallegos-Rodríguez, M. Sánchez-Duran y P.A. Domínguez-Caballero. 2012. Biomasa aérea y posibles emisiones de CO₂ después de un incendio; caso del bosque "La Primavera", Jalisco, México. *Ra Ximhai* 8(3):1-15.
- Castellanos-Bolaños, J.F., E.J. Treviño-Garza, O.A. Aguirre-Calderón, J. Jiménez Pérez y A. Velázquez-Martínez. 2010. Diversidad arbórea y estructura espacial de bosques de pino-encino en Ixtlán de Juárez, Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 1(2):39-52.
- Clark, B.D., y D.A. Clark. 2000. Landscape-scale variation in forest structure and biomass in a tropical rain forest. *Forest Ecology and Management* 137:185-198.
- Dauber, E., J. Terán y R. Guzmán. 2002. Estimación de carbono y biomasa en bosques naturales de Bolivia. *Revista Forestal Iberoamericana* 1(1):1-10.
- Díaz-Franco, R., M. Acosta-Mireles, F. Carrillo-Anzures, E. Buendía-Rodríguez, E. Flores-Ayala y J.D. Etchevers-Barra. 2007. Determinación de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Pinus patula* Schl. et. Cham. *Madera y Bosques* 13(1):25-34.
- Domínguez-Cabrera, G., O. Aguirre-Calderón, J. Jiménez-Pérez, R. Rodríguez-Laguna y J.A. Díaz-Balderas. 2009. Biomasa aérea y factores de expansión de especies arbóreas en bosques del sur de Nuevo León. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 15 (1):59-64.
- Ferry, S.F., C. Bernard, F.C. Breman, M. Vaan Beek, A. Salim y D. Douglas. 2008. Wood density as a conservation tool: quantification of disturbance and identification on conservation-priority areas in tropical forests. *Conservation Biology* 22(5):1299-1308.
- Flores-Nieves, P., M.A. López-López, G. Ángeles-Pérez, M.L. Isla-Serrano y G. Calva-Vásquez. 2011. Modelos para estimación y distribución de biomasa de *Abies religiosa* (Kunth) Schltld. et Cham. en proceso de declinación. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 2(8):9-20.
- Flores-Velázquez, R., J.V. Rangel-Piñón, J. Quintanar-Olguín, M.E. Fuentes-López y L. Vázquez-Silva. 2007. Calidad de maquinado de la madera de *Quercus affinis* y *Quercus laurina*. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 13(1):41-46.
- Flores-Velázquez, R., M.E. Fuentes-López, J. Quintanar-Olguín y J.C. Tamarit-Urías. 2013. Maquinado de cuatro especies maderables de encino de la Sierra de Juárez, Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 4(16):22-33.
- Fonseca, G.W., F.G. Alice y J.M. Rey. 2009. Modelos para estimar la biomasa de especies nativas en plantaciones y bosques secundarios en la zona Caribe de Costa Rica. *Bosque* 30(1):36-47.
- García, E. 1987. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Kóppen (para adaptarlo a las condiciones de la



- República Mexicana). Instituto de Geografía, UNAM. México. 217 p.
- Garzuglia, M. y M. Saket. 2003. Wood volume and woody biomass: review of FRA 2000 estimates. Forest Resources Assessment WP 68. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma, Italia. 30 p.
- Gómez-Díaz, J.D., J.D. Etchevers-Barra, A.I. Monterroso-Rivas, J. Campo-Alvez y J.A. Tinoco-Rueda. 2011. Ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Quercus magnoliaefolia*. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 17(2):261-272.
- Gómez-García, E., Crecente-Campo, F. y U. Diéguez-Aranda. 2013. Tarifas de biomasa aérea para abedul (*Betula pubescens* Ehrh.) y roble (*Quercus robur* L.) en el noroeste de España. *Madera y Bosques* 19(1):71-91.
- Kauffman, J.B., R.F. Hughes y C. Heider. 2009. Carbon pool and biomass dynamics associated with deforestation, land use, and agriculture abandonment in the neotropics. *Ecological Applications* 19(5):1211-1222.
- Litton, C.M y J.B. Kauffman. 2008. Allometric models for predicting above-ground biomass in two widespread woody plants in Hawaii. *Biotropica* 40(3):313-320.
- Manzano-Méndez, F., J.I. Valdez-Hernández, M.A. López-López y H. Vaquera-Huerta. 2010. Crecimiento en diámetro de *Zanthoxylum kellermanii* P. Wilson en una selva perennifolia del norte de Oaxaca, México. *Madera y Bosques* 16(2):19-33.
- Méndez-González, J., S.L. Luckie-Navarrete, M.A. Capó-Arteaga y J.A. Nájera-Luna. 2011. Ecuaciones alométricas y estimación de incrementos en biomasa aérea y carbono en una plantación mixta de *Pinus devoniana* Lindl. y *P. pseudostrobus* Lindl., en Guanajuato, México. *Agrociencia* 45(4): 479-491.
- Merlin-Bermúdez, E. y J.J. Návar-Cháidez. 2005. Desarrollo de un modelo de incremento y rendimiento para *Quercus sideroxyla* en bosques mixtos de Durango México. *Agrofaz* 5(2):875-882.
- Muñoz, R.C., J.C. Cancino y M.B. Espinosa. 2005. Análisis de biomasa del vuelo de un rodal adulto de *Pinus radiata*. *Bosque* 26(3):33-44.
- Návar, J. 2009. Allometric equations for tree species and carbon stocks for forests of northwestern Mexico. *Forest Ecology and Management* 257(2):427-434.
- Návar, J., N. González, D. Maldonado, J. Graciano, V. Dale y B. Parresol. 2004. Biomass equations for pine species of forest plantations of Durango, México. *Madera y Bosques* 10:17-28.
- Návar-Cháidez, J.J. 2010. Biomass allometry for tree species of northwestern Mexico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 12(3):507-519
- Pérez-Olvera, C. y R. Dávalos-Sotelo. 2008. Algunas características anatómicas y tecnológicas de la madera de 24 especies de *Quercus* (encinos) de México. *Madera y Bosques* 14(3):43-80.
- Rainforest Alliance. 2006. Resumen público de certificación de la comunidad de Ixtlán de Juárez Oaxaca. Consejo de Manejo Forestal y de SmartWood. Nueva York, EUA. 34 p.
- Rodríguez-Laguna, R., J. Jiménez-Pérez, O. Aguirre-Calderón y E. Jurado-Ibarra. 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.
- Rodríguez-Laguna, R., J. Jiménez-Pérez, O. Aguirre-Calderón, E.J. Treviño-Garza y R. Razo-Zárate. 2009. Estimación de carbono almacenado en el bosque de pino-encino en la Reserva de la Biosfera el Cielo, Tamaulipas, México. *Raximhai* 5(3):317-327.
- Rodríguez-Ortíz, G., H.M. De los Santos-Posadas, V.A. González Hernández, A. Aldrete, A. Gómez-Guerrero y A.M. Fierros-González. 2012. Modelos de biomasa aérea y foliar en una plantación de rápido crecimiento en Oaxaca. *Madera y Bosques* 18(1):25-41.
- Rojas-García, F. y L. Villers-Ruiz. 2008. Estimación de la biomasa forestal del Parque Nacional Malinche Tlaxcala-Puebla. *Ciencia Forestal en México* 33(104):59-86.
- Rojo-Martínez, G.E., J. Jasso-Mata, J.J. Vargas-Hernández, D.J. Palma-López y A. Velázquez-Martínez. 2005. Biomasa aérea en plantaciones comerciales de hule (*Hevea brasiliensis* Müll. Arg.) en el estado de Oaxaca, México. *Agrociencia* 39(4):449-456.
- Rubio-Licona, L.E., S. Romero Rangel y C. Rojas-Zenteno. 2011. Estructura y composición florística de dos comuni-

- dades con presencia de *Quercus* (Fagaceae) en el Estado de México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 17(1):77-90.
- SAS Institute. 1996. SAS/STAT User's guide. SAS Institute, Inc., Raleigh, NC.
- Silva-Arredondo, F.M. y J. Návar-Cháidez. 2010. Factores de expansión de biomasa en comunidades forestales templadas del norte de Durango, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 1(1):55-62.
- Suchomel, C., P. Pyttel, G. Becker y J. Bauhus. 2012. Biomass equations for sessile oak (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) and hornbeam (*Carpinus betulus* L.) in aged coppiced forests in southwest Germany. *Biomass and Bioenergy* 46:722-730.
- Valencia, A.S. 2004. Diversidad del género *Quercus* (Fagaceae) en México. *Boletín de la sociedad Botánica de México* 75:33-53.
- Vásquez, A. y H. Arellano. 2012. Estructura, Biomasa aérea y carbono almacenado en los bosques del Sur y Noroccidente de Córdoba. arXiv:1208.0248. Disponible en <http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1208/1208.0248.pdf>
- Walker, J.C.F. 2010. Primary wood processing principles and practice. Springer. Países Bajos. 596 p.
- Wang, C. 2006. Biomass allometric equations for 10 co-occurring tree species in Chinese temperate forests. *Forest Ecology and Management* 222(1):9-16.

Manuscrito recibido el 24 de enero de 2014.
Aceptado el 29 de abril de 2014.

Este documento se debe citar como:

Ruiz-Aquino, F., J.I. Valdez-Hernández, F. Manzano-Méndez, G. Rodríguez-Ortiz, A. Romero-Manzanares y M.E. Fuentes-López. 2014. Ecuaciones de biomasa aérea para *Quercus laurina* y *Q. crassifolia* en Oaxaca. *Madera y Bosques* 20(2):33-48.