



Revista Chapingo. Serie Ciencias
Forestales y del Ambiente

ISSN: 2007-3828

rforest@correo.chapingo.mx

Universidad Autónoma Chapingo
México

Gómez-Díaz, Jesús D.; Etchevers-Barra, Jorge D.; Monterrosos-Rivas, Alejandro I.; Campo-Alvez,
Julio; Tinoco-Rueda, Juan A.

ECUACIONES ALOMÉTRICAS PARA ESTIMAR BIOMASA Y CARBONO EN *Quercus magnoliaefolia*

Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, vol. 17, núm. 2, 2011, pp. 261-272

Universidad Autónoma Chapingo
Chapingo, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62919277009>

- 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 ALOMÉTRICAS PARA ESTIMAR BIOMASA Y CARBONO EN *Quercus magnoliaefolia*

ALLOMETRIC EQUATIONS FOR ESTIMATING THE ABOVE-GROUND BIOMASS AND CARBON IN *Quercus magnoliaefolia* Née

Jesús D. Gómez-Díaz¹; Jorge D. Etchevers-Barra²; Alejandro I. Monterrosos-Rivas¹; Julio Campo-Alvez³; Juan A. Tinoco-Rueda¹

¹Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo, km 38.5 Carretera México-Texcoco, Chapingo, Estado de México, C. P. 56230. (Autor para correspondencia) Correo-e: dgomez@correo.chapingo.mx

²Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados, km 36.5 Carretera México-Texcoco, Montecillo, México,

³Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.

RESUMEN

En el ejido El Zapote de la Reserva de la Biosfera "Sierra de Huautla", estado de Morelos, México, se seleccionaron doce árboles de *Quercus magnoliaefolia* Née y se determinó su biomasa en la parte aérea. El modelo alométrico quedó expresado como: $B = 0.0345 * DAP^{2.9334}$ en donde B es la biomasa (kg) y DAP es el diámetro a la altura del pecho (cm), con un coeficiente de determinación ($R^2 = 0.98$; $P < 0.001$). Adicionalmente, se estimó la biomasa mediante una regresión lineal múltiple que consideró el área basal (AB), la densidad específica de la madera (DEM) y la altura de los árboles (H). Una alta proporción de la varianza de la biomasa fue explicada solamente por el área basal. La DEM y H no incrementaron significativamente la precisión de los modelos. El porcentaje promedio de carbono en los árboles de *Q. magnoliaefolia* fue de 47.14 con valores de 46.29 % para el fuste, 46.83 % para las ramas y 48.31 % para el follaje. La proporción promedio de los componentes de la especie estudiada fue de 62.5 % para el fuste, 27.8 % para las ramas y 9.6 % para el follaje.

Recibido: 22 de noviembre, 2010

Aceptado: 07 de mayo, 2011

doi: 10.5154/r.rchscfa.2010.11.117

http://www.chapingo.mx/revistas

PALABRAS CLAVE: Ecuaciones alométricas, *Quercus magnoliaefolia*, biomasa aérea, densidad específica de la madera.

ABSTRACT

At the El Zapote ejido in the "Sierra de Huautla" Biosphere Reserve in the state of Morelos, Mexico, twelve *Quercus magnoliaefolia* Née trees were selected and their above-ground biomass determined. The proposed allometric model was expressed as: $B = 0.0345 * DBH^{2.9334}$, where B is biomass (kg) and DBH is diameter at breast height (cm), with a coefficient of determination ($R^2 = 0.98$; $P < 0.001$). In addition, above-ground biomass was estimated by a multiple linear regression based on basal area (BA), specific gravity of wood (SGW) and tree height (H). A high proportion of the biomass variation was explained by basal area alone. SGW and H did not significantly increase the accuracy of the models. The average percentage of carbon in *Q. magnoliaefolia* trees was 47.14 with values of 46.29 % for the bole, 46.83 % for branches and 48.31 % for foliage. The average proportion of the components of the species studied was 62.5 % for the bole, 27.8 % for branches and 9.6 % for foliage.

KEY WORDS: Allometric equations, *Quercus magnoliaefolia*, above-ground biomass, wood specific density.

INTRODUCCIÓN

Los bosques de encino históricamente han dominado grandes áreas de las tierras altas de las zonas tropicales y subtropicales de México; estas regiones son unos de los centros más importantes de diversidad del género *Quercus* en el mundo (Nixon, 1993). Dentro de los bosques de encino en México, el *Quercus magnoliaefolia* Née

INTRODUCTION

Oak forests have historically dominated large areas of the tropical and subtropical highland regions of Mexico. These regions are among the most important centers of diversity of the genus *Quercus* in the world (Nixon, 1993). Within Mexico's oak forests, *Quercus magnoliaefolia* Née is among the medium wide-ranging species at the national

corresponde a las especies de distribución amplia media a nivel nacional de acuerdo a la clasificación realizada por Valencia (2004), ya que se localiza en 15 estados de la República mexicana, y como especie de desarrollo amplio puede encontrarse desde 170 a 2,900 m; así, se localiza en la ladera occidental de la Sierra Madre Occidental hasta la Sierra Madre del Sur, desde el sur de Sinaloa, incluyendo partes de Nayarit, Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero y Oaxaca, además de la ladera sur del Eje Neovolcánico en donde se incluyen áreas de algunas entidades ya mencionadas, además de los estados de México, Morelos y Puebla, y llega a presentarse como especie dominante en algunas regiones (Valencia, 2004).

Los datos de la biomasa de los árboles son esenciales para evaluar el secuestro de carbono y su dinámica (Dixon *et al.*, 1994; Binkley *et al.*, 2004), la adaptación de las plantas al ambiente (West-Eberhard, 2003) y también para estudiar el impacto de las prácticas silvícolas en la productividad forestal (Johnson y Todd, 1998; Santa Regina, 2000). Varios factores asociados a la fenología de los árboles y las condiciones del sitio donde se desarrollan pueden influir en la acumulación de biomasa de una determinada especie (Binkley, 2004; Peri *et al.*, 2006; Castilho *et al.*, 2006; Gargaglione *et al.*, 2010), por lo que es necesario diseñar metodologías para cuantificar su biomasa asociada a las condiciones en donde se asientan para establecer las relaciones de las masas forestales con el medio. En este sentido, las ecuaciones alométricas para una especie en particular pueden proporcionar una estimación más acertada de la biomasa y su relación con las condiciones del medio (Litton and Kauffman, 2008).

La mayoría de las ecuaciones alométricas emplean el diámetro a la altura del pecho (DBH) como la única variable independiente y establecen una relación entre esta variable y los componentes de la biomasa del árbol (Gower *et al.*, 1999; Návar, 2009). Algunas estudios proponen incluir la altura de los árboles (H) como la segunda variable predictora y desarrollan ecuaciones con variables combinadas de DBH-H para mejorar la precisión de la estimación de la biomasa (Ketterings *et al.*, 2001; Brandeis *et al.*, 2006; Sampaio *et al.*, 2010), mientras que otras incluyen, adicionalmente a las variables mencionadas, la densidad específica de la madera (DEM) (Martínez-Yrizar *et al.*, 1992; 1996; Gómez *et al.*, 2010).

Los modelos generalizados tienen un gran potencial para realizar inventarios de carbono a gran escala derivados de los datos de los inventarios forestales (Pastor *et al.*, 1984); sin embargo, el conocer los modelos específicos de las especies dominantes en los bosques facilita el estudio para proyectos de investigación ecológicos y de silvicultura, como inventarios detallados de biomasa y carbono almacenado en los árboles, así como para establecer la relación de la acumulación de la biomasa y su relación con las condiciones del medio (Rapp *et al.*, 1999; Wang, 2006).

level according to the classification made by Valencia (2004), as it is located in 15 states of the Mexican Republic, and as a wide-ranging species it can be found from 170 to 2,999 m. Thus, it is found on the western slope of the Sierra Madre Occidental to the Sierra Madre del Sur, from the south of Sinaloa, including parts of Nayarit, Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero and Oaxaca, as well as the southern slope of the Neovolcanic Axis which includes areas of some of the afore-mentioned entities, plus the states of Mexico, Morelos and Puebla, and it stands out as a dominant species in some regions (Valencia, 2004).

Above-ground tree biomass data are essential for assessing carbon sequestration and its dynamics (Dixon *et al.*, 1994; Binkley *et al.*, 2004), plant adaptation to the environment (West-Eberhard, 2003) and the impact of forestry practices on forest productivity (Johnson and Todd, 1998; Santa Regina, 2000). Several factors associated with tree phenology and the site conditions in which they develop can influence the biomass accumulation of a given species (Binkley, 2004; Peri *et al.*, 2006; Castilho *et al.*, 2006; Gargaglione *et al.*, 2010), which makes it necessary to develop methodologies to quantify their biomass associated with the conditions in which they become established in order to determine the relationships of forest stands to the environment. In this sense, allometric equations for a particular species can provide a more accurate estimation of biomass and its relationship to environmental conditions (Litton and Kauffman, 2008).

Most allometric equations use diameter at breast height (DBH) as the only independent variable and establish a relationship between this variable and the biomass components of the tree (Gower *et al.*, 1999; Návar, 2009). Some studies have proposed including tree height (H) as the second predictor variable and develop equations with combined DBH-H variables to improve the accuracy of biomass estimation (Ketterings *et al.*, 2001; Brandeis *et al.*, 2006; Sampaio *et al.*, 2010), while others include, in addition to these variables, the specific gravity of wood (SGW) (Martínez-Yrizar *et al.*, 1992; 1996; Gómez *et al.*, 2010).

Generalized models have great potential to make large-scale carbon inventories based on forest inventory data (Pastor *et al.*, 1984); nevertheless, knowing the specific models of dominant forest species facilitates carrying out ecological and silvicultural research projects as they provide detailed inventories of biomass and carbon stored in trees, as well as establishes the relationship of biomass accumulation to environmental conditions (Rapp *et al.*, 1999; Wang, 2006).

Based on the foregoing, the specific objectives of this study were:

- a) fit an allometric model to estimate total above-

Con base en lo anterior, los objetivos específicos del presente estudio fueron:

a) ajustar un modelo alométrico para estimar la biomasa aérea total a partir de la variable DAP en *Quercus magnoliaefolia* Née en el bosque de encino de la Reserva de la Biosfera “Sierra de Huautla”, estado de Morelos; b) generar un modelo de regresión lineal múltiple para predecir la biomasa a partir del área basal (AB), densidad específica de la madera (DEM) y la altura (H) de la especie referida para estimar la contribución de estas variables a la estimación de la biomasa aérea total; c) determinar el contenido de carbono de los componentes de la especie estudiada, para de esta manera contribuir a la implementación de métodos de cuantificación de los almacenes de carbono en la biomasa aérea asociados a esta especie forestal.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en un sitio representativo de la vegetación dominante en la Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla, ubicada al sur del estado de Morelos, México, en los terrenos correspondiente al ejido El Zapote (18° 27' 55" a 18° 28' 20" latitud N y 99° 19' 00" a 99° 19' 35" longitud O), en un rango altitudinal de 1,785 a 1,970 m, cuya vegetación característica es de un bosque de encino. El clima prevaleciente en el sitio corresponde a semicálido del grupo de los cálidos subhúmedos (García, 2006), con régimen de lluvias en verano, i.e. marcadamente estacional, con una estación seca que va de enero a principios de mayo, donde se acumula sólo el 4 % de la lluvia anual (1,200 a 1,300 mm) (Gómez, 2008). La temperatura media anual es de 19 a 20 °C, la media más baja ocurre en enero (17 a 18 °C) y la más alta se presenta en abril (22 a 23 °C). Los suelos son principalmente Feozems lúvicos (HI) con texturas medias a finas y muy pedregosos en la superficie y a lo largo del perfil; el sustrato es de brechas volcánicas riolíticas interestratificadas con tobas volcánicas de naturaleza ácida. Las topoformas dominantes son sierras de laderas escarpadas con pequeños valles intermontanos altos. Con base en su abundancia relativa en el bosque de encino (Gómez, 2008), se escogió al encino amarillo (*Quercus magnoliaefolia* Née) para desarrollar los objetivos propuestos.

Generación de las ecuaciones alométricas para estimar la biomasa

Se seleccionaron doce árboles, incluyendo individuos con un rango amplio de dimensiones de acuerdo al tamaño disponible en los sitios donde se realizó el muestreo.

A cada individuo seleccionado se le midió el DAP antes de ser derribado. Los árboles pequeños (2.5 cm < DAP < 10 cm) se cortaron al nivel del suelo. Para este caso, el material cortado y medido se pesó en fresco en

ground biomass from the variable DBH in *Quercus magnoliaefolia* Née in the oak forest in the “Sierra de Huautla” Biosphere Reserve, state of Morelos; b) generate a multiple linear regression model to predict biomass from basal area (BA), specific gravity of wood (SGW) and height (H) of this species to estimate the contribution of these variables to the estimation of total above-ground biomass; c) determine the carbon content of the components of the species studied, and in this way contribute to the implementation of methods for quantifying carbon stocks in the above-ground biomass associated with this tree species.

MATERIALS AND METHODS

The study was conducted at a site representative of the dominant vegetation in the Sierra de Huautla Biosphere Reserve, located in the south of the state of Morelos, Mexico, on land belonging to the El Zapote ejido (18° 27' 55" to 18° 28' 20" N latitude and 99° 19' 00" to 99° 19' 35" W longitude), in an altitudinal range from 1,785 to 1,970 m, whose characteristic vegetation is oak forest. The prevailing climate at the site is semi-warm (belonging to the sub-humid warm group) (García, 2006), with rainfall in summer, i.e. highly seasonal, and with a dry season from January to early May, when only 4 % of annual rainfall (1,200 to 1,300 mm) occurs (Gómez, 2008). The average annual temperature is 19-20 °C, the lowest average occurs in January (17-18 °C) and the highest is in April (22-23 °C). Soils are mainly luvic Feozems (HI) with medium to fine texture and very stony on the surface and throughout the profile. The substrate consists of rhyolitic volcanic breccias interbedded with volcanic tuffs of acidic nature. The dominant landforms are steep-sloped mountains with small high-elevation intermontane valleys. Based on its relative abundance in the oak forest (Gómez, 2008), we chose the yellow oak (*Quercus magnoliaefolia* Née) to reach the proposed objectives.

Generation of allometric equations for estimating biomass

We selected twelve trees, including individuals with a wide range of dimensions according to available size at the sites where sampling was conducted.

Each individual selected had its DAB measured before being cut down. Small trees (2.5 cm < DBH < 10 cm) were cut at ground level. In this case, the cut and measured material was weighed fresh in the field, and then transported to the laboratory and greenhouse. It was dried to constant weight in greenhouse beds for 30 days to obtain dry weight. The largest trees (DBH > 10 cm), both the bole and the branches, were cut into sections to obtain subsamples. The biomass of each tree was estimated according to the criteria proposed by Acosta *et al.* (2002). Of the individuals with DBH > 10 cm, in order to determine

campo, y posteriormente se transportó al laboratorio e invernadero. Se secó a peso constante en bancales de invernadero por 30 días para obtener su peso seco. Los árboles más grandes ($DAP \geq 10$ cm), tanto el fuste principal como las ramas, fueron cortados en secciones, para obtener submuestras. Se estimó la biomasa de cada árbol siguiendo los criterios propuestos por Acosta *et al.* (2002). De los individuos con $DAP \geq 10$ cm, con el fin de determinar la relación peso seco/peso fresco del tronco y de la copa, a diferentes alturas, y calcular la biomasa total de cada árbol, se extrajeron siete rodajas de aproximadamente 5 cm de espesor en siete posiciones del tallo principal. Las primeras tres rodajas (P1 a P3) se obtuvieron de la sección correspondiente al fuste limpio; P1 a 0.30 m de la superficie del suelo, P2 a 1.3 m de éste (correspondiente a la altura del pecho) y P3 en la parte media entre P2 y la base de la copa. Las otras cuatro rodajas procedían de cuatro secciones en las que se dividió la copa desde su base hasta el ápice. Estas rodajas correspondieron a la base de cada una de esas secciones.

En cada individuo se midió, por separado el peso fresco de las rodajas, de cada sección del tronco y de la copa, incluyendo el follaje, así como de las ramas muestreadas en cada sección. Todas las muestras se transportaron al laboratorio y se sometieron al proceso de secado, como se indicó anteriormente.

La relación peso seco/peso fresco de cada rodaja se utilizó para obtener el peso seco de cada sección del tronco del árbol a partir de su respectivo peso fresco. El mismo procedimiento se utilizó para obtener el peso seco de las ramas (incluyendo el follaje) de cada sección de la copa a partir de la relación peso seco/peso fresco de las rodajas de las ramas muestra. La suma del peso seco de las secciones del tronco y copa, constituyó la biomasa total de cada árbol.

Después de obtener la biomasa y el DAP de cada uno de los árboles, se seleccionó el siguiente modelo, por ser uno de los más frecuentemente usados en este tipo de estudios (Ter-Mikaelian y Korzukhin, 1997; Acosta *et al.*, 2002; Návar, 2009).

$$Y = bX^k \quad (1)$$

donde Y es la biomasa aérea (kg), X es el DAP (cm) y b y k son los parámetros estadísticos estimados. El proceso se realizó con el software estadístico MINITAB 15 (2009).

Para determinar si adicionalmente al DAP existe una correlación estadística entre otras variables y la biomasa, se realizó una regresión lineal múltiple tomando como base los datos transformados de \log_{10} de AB (cm^2), DEM (en $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$), y h (m) (Martínez-Yrizar *et al.*, 1992; 1996). Los valores de DEM fueron determinados como la relación del peso (g) de las muestras secas de los árboles y el volumen

the dry weight/fresh weight ratio of the bole and crown at different heights, and calculate the total biomass of each tree, we extracted seven slices of roughly 5 cm in thickness from seven positions on the bole. The first three slices (P1 to P3) were obtained from the section corresponding to the clean trunk; P1 to 0.30 m from the soil surface, P2 to 1.3 m from the surface (corresponding to breast height) and P3 in the middle part between P2 and the base of the crown. The other four slices came from four sections that divided the crown from its base to its apex. These slices corresponded to the base of each of these sections.

In each individual, we separately measured the fresh weight of the slices, of each trunk and crown section, including the foliage and branches sampled in each section. All samples were transported to the laboratory and subjected to drying, as indicated above.

The dry weight/fresh weight ratio of each slice was used to obtain the dry weight for each trunk section of the tree from its respective fresh weight. The same procedure was used to obtain the dry weight of the branches (including the foliage) of each crown section from the dry weight/fresh weight ratio of the slices of the branches sampled. The sum of the dry weight of the bole and crown sections constituted the total biomass of each tree.

After obtaining the biomass and the DBH of each tree, the following model was selected, being one of the most frequently used in this type of study (Ter-Mikaelian and Korzukhin, 1997; Acosta *et al.* 2002; Návar, 2009).

$$Y = bX^k \quad 1)$$

where Y is above-ground biomass (kg), X is DBH (cm) and b and k are the statistical parameters estimated. The process was performed using MINITAB 15 statistical software (2009).

To determine whether, in addition to DAB, there is a statistical correlation between other variables and biomass, we performed a multiple linear regression based on the transformed data of \log_{10} of BA (cm^2), SGW (in $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$), and h (m) (Martínez-Yrizar *et al.*, 1992; 1996). SGW values were determined as the ratio of the weight (g) of the dried tree samples and the volume of displaced water (cm^3) when the samples, protected by plastic wrap, were dipped in a container filled with water.

Multiple linear regression analysis was performed using MINITAB 15 statistical software (2009), and was of the form (Kleinbaum *et al.*, 1988):

$$Y = \beta_0 + \beta_{11}X_1 + \beta_{12}X_2 + \beta_{13}X_3 + \dots \beta_{1i}X_i \quad (2)$$

del agua desplazada (cm³) cuando las muestras protegidas por plástico adherente se sumergieron completamente en un recipiente lleno de agua.

La regresión lineal múltiple se realizó con el software estadístico MINITAB 15 (2009), y fue de la forma (Kleinbaum *et al.*, 1988):

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \dots + \beta_n X_n \quad (2)$$

donde Y es el \log_{10} de la biomasa (kg); $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ son el \log_{10} de las variables independientes; $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots, \beta_n$ es el coeficiente de regresión de Y como función de la variable $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ y β_0 es la constante de regresión en la intercepción de Y .

Para determinar si la participación de cada variable en el modelo es significativa, se empleó la estrategia de analizar la contribución de cada variable (X_1, X_2 y X_3) estableciendo la relación lineal simple con cada una de las variables. Se probó la hipótesis $H_0: b_{ji} = 0$ mediante el valor de la probabilidad de ese parámetro con un nivel de significancia $\alpha = 0.05$ (Kleinbaum *et al.*, 1988). Si el valor de probabilidad fue menor de 0.05 se rechazó H_0 y se consideró que la variable X_i contribuyó a explicar el modelo.

Determinación del contenido de carbono

De los 12 árboles seleccionados para la determinación de biomasa se eligieron seis para determinar el porcentaje de carbono para cada uno de sus componentes (fuste, ramas y follaje), cubriendo proporcionalmente el rango de diámetros que se muestreó. De las muestras de cada componente arbóreo, una vez secadas a peso constante, se tomó una submuestra de aproximadamente 50 gramos; la concentración de C de cada muestra se determinó por combustión seca con un analizador automático de C total (Shimadzu TOC 5000-A) provisto de una unidad para procesar muestras sólidas (Etchevers *et al.*, 2005). Para estimar el contenido de carbono en la biomasa de los componentes de cada árbol, se multiplicó el valor de la biomasa total del componente (kg) por el porcentaje de carbono del componente determinado en el laboratorio (Díaz *et al.*, 2007). El contenido del carbono de la biomasa total del árbol fue la suma del carbono de cada uno de los componentes de cada árbol.

Adicionalmente se separaron y pesaron en campo los componentes de los mismos seis árboles muestreados, cubriendo un rango de DAP de 10.1 a 31.5 cm, a fin de estimar el porcentaje promedio de biomasa (peso seco) del fuste, ramas y follaje para estimar el contenido ponderado de carbono a partir del porcentaje promedio de biomasa de cada componente y su contenido promedio de carbono.

where Y is the \log_{10} of the biomass (kg); $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ are the \log_{10} of the independent variables; $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots, \beta_n$ is the regression coefficient of Y as a function of the variable $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ and β_0 is the regression constant at the intersection of Y .

To determine whether the participation of each variable in the model is significant, we used the strategy of analyzing the contribution of each variable (X_1, X_2 and X_3), establishing the simple linear relationship with each of the variables. The hypothesis $H_0: b_{ji} = 0$ was tested using the probability value of that parameter with a significance level of $\alpha = 0.05$ (Kleinbaum *et al.*, 1988). If the probability value was less than 0.05, H_0 was rejected and the variable X_i was considered as helping explain the model.

Determination of carbon content

Of the 12 trees selected for determining biomass, six were chosen to determine the percentage of carbon for each of their components (bole, branches and foliage), proportionally covering the range of diameters sampled. Once each tree component sample was dried to constant weight, an approximately 50-gram subsample was taken. The C concentration of each sample was determined by dry combustion with an automatic total carbon analyzer (Shimadzu TOC 5000-A) equipped with a unit to process solid samples (Etchevers *et al.*, 2005). To estimate carbon content in the biomass of each component of each tree, the total biomass value of the component (kg) was multiplied by its percentage of carbon determined in the laboratory (Díaz *et al.* 2007). The carbon content of total tree biomass was the sum of the carbon in each of the components of each tree.

In addition, we separated and weighed in the field the components of the same six trees sampled, covering a DBH range from 10.1 to 31.5 cm, in order to estimate the average percentage of biomass (dry weight) in the bole, branches and foliage so as to estimate the weighted carbon content from the average percentage of biomass of each component and its average carbon content.

RESULTS AND DISCUSSION

Forest mensuration data for the sampled trees

The DBH of the sampled trees ranged from 6.5 to 31.5 cm, and their SGW from 0.59 to 0.75 kg·dm⁻³ with the lowest values in trees of smaller DBH, which were increased by increasing this parameter. Height ranged from 5.0 to 16.4 m, and biomass from 9.0 to 863.7 kg (Table 1).

The SGW average was 0.67±0.01 kg·dm⁻³. The value of this parameter is less than the range reported by Bárcenas and Dávalos (2001) for oaks in Mexico, 0.688 to

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características dasométricas de los árboles muestreados

El DAP de los árboles muestreados varió de 6.5 a 31.5 cm, y su DEM de 0.59 a 0.75 kg·dm⁻³ con los valores más bajos en los árboles de menor DAP, mismos que se fueron incrementando al aumentar este parámetro; la altura varió de 5.0 a 16.4 m, y su biomasa de 9.0 a 863.7 kg (Cuadro 1).

CUADRO 1. Características dasométricas y valores de biomasa de los 12 árboles muestreados de *Quercus magnoliaefolia* Née para determinar la ecuación alométrica.

TABLE 1. Forest mensuration data and biomass values of the 12 *Quercus magnoliaefolia* Née trees sampled to determine the allometric equation.

Árbol	DAP (cm)	DEM (kg·dm ³)	Altura (m)	Biomasa por árbol (kg MS·ind ⁻¹)
1	6.5	0.59	5.0	9.0
2	7.8	0.63	8.0	14.2
3	8.8	0.65	8.8	21.8
4	9.0	0.64	9.5	20.6
5	9.4	0.66	9.4	22.9
6	10.0	0.66	7.9	18.3
7	10.1	0.67	10.0	40.4
8	12.8	0.69	15.0	68.4
9	14.0	0.71	15.0	103.2
10	15.9	0.70	12.5	98.6
11	19.0	0.74	16.0	186.4
12	31.5	0.75	16.4	863.7
Promedio	12.9±1.99	0.67±0.01	11.1±1.08	122.3±69.1
CV	53.3	7.4	33.6	195.7

DAP = diámetro a la altura del pecho; DEM = Densidad específica de la madera; MS = Materia seca; CV = Coeficiente de Variación.

DAP = diameter at breast height; DEM = specific gravity of wood; MS = dry matter; CV = Coefficient of Variation.

El promedio de la DEM fue de 0.67±0.01 kg·dm⁻³; el valor de este parámetro es menor al rango reportado por Bárcenas y Dávalos (2001) para los encinos de México, de 0.688 a 0.818 kg·dm⁻³, sin embargo, este valor de DEM promedio está dentro de los valores registrados por De la Paz y Dávalos (2008) para otros encinos blancos en el país, sección a la que pertenece la especie evaluada, en donde el rango encontrado para ocho especies fue de 0.64 a 0.77 kg·dm⁻³ y los reportados por Návar (2009) para encinos de Durango donde el valor medio fue de 0.64.

Modelos para la estimación de biomasa

La ecuación para determinar la biomasa del Q.

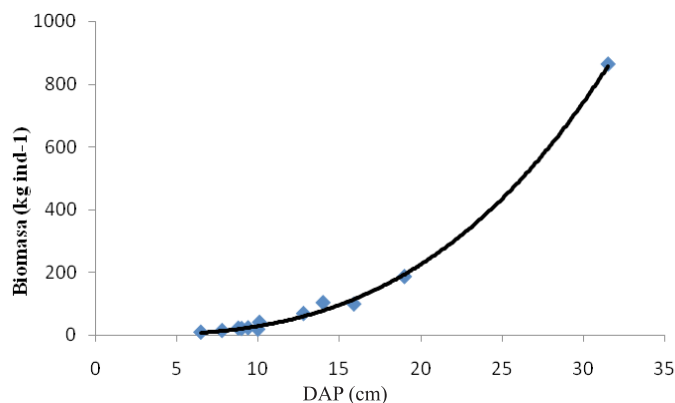


FIGURA 1. Dispersión de los datos y línea de tendencia de los valores reales de Biomasa aérea para *Quercus magnoliaefolia* Née

FIGURE 1. Data dispersion and trend line of the actual above-ground biomass values for *Quercus magnoliaefolia* Née

0.818 kg·dm⁻³. However, this average SDW value is within the values reported by De la Paz and Dávalos (2008) for other white oaks in the country, the group to which the species assessed belongs, where the range found for eight species was 0.64 to 0.77 kg·dm⁻³. Moreover, Návar (2009) reported an average value of 0.64 for oaks in Durango.

Models for biomass estimation

The equation for determining the biomass of *Q. magnoliaefolia* Née was expressed as:

$B = 0.0345 * DBH^{2.9334}$, where B is biomass (kg) and DBH is diameter at breast height (cm). The trend of the above-ground biomass values with respect to the DBH of the trees is shown in Figure 1.

Multiple linear regression models for estimating biomass

The multiple linear regression equations for estimating biomass are shown in Table 2. Biomass was explained only by basal area (BA). The contribution of specific gravity of wood (SGW) and tree height (H) was not significant once BA was considered, as shown by the probability values where p was greater than 0.05. This result differs from that found by Martínez-Yrizar et al. (1992, 1996), where the multiple regression equation, which includes the same independent variables, more reliably predicts the above-ground biomass of a tropical dry forest in Chamela, Jalisco, than other allometric ratios. However, it is consistent with that reported by Gómez et al. (2010) for individual models of five species of a tropical dry forest in the Sierra de Huautla Biosphere Reserve in Morelos, where only the contribution of basal area was significant in the estimation of biomass.

Estimation of carbon content

Among the six trees analyzed for carbon, the average percentage for the bole component was 46.29±0.27,

CUADRO 2. Ecuaciones de regresión lineal múltiple de log10 de biomasa (kg) en función de log10 de área basal (AB, cm), log10 de gravedad específica de la madera (DEM, kg*dm⁻³) y log10 de altura (H, m) para *Quercus magnoliaefolia* Née

TABLE 2. Multiple linear regression equations of log10 of biomass (kg) as a function of log10 of basal area (BA, cm), log10 of specific gravity of wood (SGW, kg*dm⁻³) and log10 of height (H, m) for *Quercus magnoliaefolia* Née

β_0	Coeficiente de regresión de Y en las variables X (β_{1i})			Error estándar	R^2	F
	log ₁₀ AB	Log ₁₀ DEM	Log ₁₀ H			
-1.309***	1.467***	-	-	0.091	0.976	412.6
-0.733ns	1.341***	1.992ns	-	0.093	0.978	199.3
-1.437ns	1.304***	0.030ns	0.453ns	0.093	0.980	133.2

AB, área basal; DEM, densidad específica de la madera; H, altura; β_0 , valor estimado de la ordenada al origen; β_{1i} , valor estimado de la pendiente; F= valor del estadístico F; R^2 , coeficiente de determinación; *** Nivel de significancia $P < 0.001$; ns, no significativo ($P > 0.05$).

AB, basal area; DEM, specific gravity of wood; H, height; β_0 , estimated intercept value; β_{1i} , estimated slope value; F= F-statistic; R^2 , coefficient of determination; *** Significance level $P < 0.001$; ns, not significant ($P > 0.05$).

magnoliaefolia Née. quedó expresada como: $B = 0.0345 * DAP^{2.9334}$ en donde B es la biomasa (kg) y DAP es el diámetro a la altura del pecho (cm). La tendencia de los valores de la biomasa aérea con respecto al DAP de los árboles se presenta en la Figura 1.

Modelos de regresión lineal múltiple para la estimación de la biomasa

Las ecuaciones de regresión lineal múltiple para estimar la biomasa se presentan en el Cuadro 2. La biomasa fue explicada solamente por el área basal (AB). La contribución de la densidad específica de la madera (DEM) y la altura de los árboles (H) no fue significativa una vez que se consideró el AB, como lo demuestran los valores de probabilidad en donde p fue mayor de 0.05. Este resultado difiere de lo encontrado por Martínez-Yrizar *et al.* (1992, 1996), en donde la ecuación de regresión múltiple, que incluye las mismas variables independientes, predice con mayor confiabilidad la biomasa aérea de un bosque tropical seco en Chamela, Jalisco, que otras relaciones alométricas. Sin embargo, concuerda con lo reportado por Gómez *et al.* (2010) para los modelos individuales de cinco especies de un bosque tropical seco de la Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla, Morelos, en donde sólo fue significativo el aporte del área basal en la estimación de la biomasa.

Estimación del contenido de carbono

De los seis árboles analizados para carbono, el porcentaje promedio para el componente del fuste fue de 46.29 ± 0.27 , para las ramas de 46.83 ± 0.22 y en el follaje de 48.31 ± 0.07 (Cuadro 3). El porcentaje promedio para carbono del árbol fue de 47.14 ± 0.17 . Estos valores son menores a los reportados para un bosque de encinos en la región Cuicatteca de Oaxaca por Figueroa *et al.* (2005), con 47.3 % de C para el fuste y 49.54 % para las ramas y hojas.

whereas it was 46.83 ± 0.22 for the branches and 48.31 ± 0.07 in the foliage (Table 3). The average percentage for tree carbon was 47.14 ± 0.17 . These values are lower than those found for an oak forest in the Cuicatteca region of Oaxaca by Figueroa *et al.* (2005), who reported 47.3 % C for the bole and 49.54 % for the branches and leaves.

Of these six trees, whose components were weighed separately, covering a DBH range from 10.1 to 31.5 cm (Table 3), with an above-ground biomass per individual of 68.4 to 863.7 kg, the average percentage of biomass (dry weight) of each of the components was as follows: the bole had 62.9 ± 4.3 % with a maximum value of 74.7 % for one of the specimens with smaller DBH and a minimum value of 45.6 % for the tree with larger DBH; for the branches, the average percentage was 27.8 ± 3.2 % with a maximum value of 40.3 % for the species with larger DBH and a minimum value of 19.0 % for one of the species with smaller DBH; the average percentage of biomass for the foliage was 9.6 ± 1.2 %, with a maximum value of 14.1 % for the tree of larger DBH and a minimum of 6.28 % for the species referred to above with low DBH. In this regard, Návar (2009) reported in a study for the development of allometric equations of oaks in Durango and Chihuahua a ratio of 68 % of biomass for the bole and 32 % for the branches and foliage, values close to those found in this study as noted above, the ratio varying with tree diameter.

The carbon content per component was obtained by multiplying the average percentage of specific carbon (46.3, 46.8 and 48.3 for bole, branches and foliage, respectively) by the average biomass of these components (Table 3). The carbon content of each tree (weighted), obtained from the sum of each of its components and the same parameter (average total carbon content per tree) but obtained from applying the factor representing the average carbon percentage for the whole tree to its biomass, did not show significant differences ($P = 0.986$); therefore, these values are considered similar, meaning that it is not necessary to break down a tree into its components in order to obtain its

CUADRO 3. Biomasa, Contenido de Carbono y porcentaje por componente para seis árboles de *Quercus magnoliaefolia* Née.**TABLE 3. Biomass, carbon content and percentage per component for six *Quercus magnoliaefolia* Née trees.**

Componentes		DAP (cm)						Prom.	CV
		10.1	12.8	14.0	15.9	19	31.5	17.2±3.1	44.2
Biomasa, Contenido de Carbono (kg·ind ⁻¹) y porcentaje por componente									
Fuste	Biom	27.1	51.1	70.9	63.8	101.7	394.0	118.1±56.1	116.3
	CCC	12.5	23.7	32.8	29.5	47.1	182.4	54.7±26.0	116.3
	Porc.	67.0	74.7	68.7	64.7	54.6	45.6	62.5±4.3	16.9
Ramas	Biom	10.0	13.0	23.7	26.1	62.5	347.8	80.5±54.0	164.3
	CCC	4.7	6.1	11.1	12.2	29.3	162.9	37.7±25.3	164.3
	Porc.	24.7	19.0	23.0	26.5	33.5	40.3	27.8±3.2	27.8
Follaje	Biom	3.4	4.3	8.6	8.7	22.3	121.9	28.2±18.9	164.6
	CCC	1.6	2.1	4.2	4.2	10.8	58.9	13.6±9.2	164.6
	Porc.	8.3	6.3	8.4	8.8	11.9	14.1	9.6±1.2	29.6
Biomasa Árbol		40.4	68.4	103.2	98.6	186.4	863.7	226.8±128.9	139.3
CCA ponderado		18.9	31.8	48.1	46.0	87.1	404.2	106.0±60.4	139.5
CCA Porc. total		19.0	32.2	48.7	46.5	87.9	407.2	106.9±60.8	139.3

DAP, diámetro a la altura del pecho; Prom., promedio; CV, coeficiente de variación; Biom, biomasa; CCC, contenido de carbono por componente; CCA ponderado, contenido de carbono por árbol ponderado; CCA Porc. Total, contenido de carbono por árbol aplicando el porcentaje promedio de carbono del árbol.

DAP, diameter at breast height; Prom., average; CV, coefficient of variation; Biom, biomass; CCC, carbon content per component; CCA ponderado, weighted carbon content per tree; CCA Porc. Total, carbon content per tree by applying the average percentage of tree carbon.

De estos seis árboles, cuyos componentes se pesaron por separado, cubriendo un rango de DAP de 10.1 a 31.5 cm (Cuadro 3), con una biomasa aérea por individuo de 68.4 a 863.7 kg, el porcentaje promedio de biomasa (peso seco) de cada uno de los componentes fue como sigue: el fuste tuvo 62.9±4.3 % con un valor máximo de 74.7 % para uno de los especímenes con menor DAP y el valor mínimo de 45.6 % para el árbol con mayor DAP; para las ramas el porcentaje promedio fue de 27.8±3.2 % con un valor máximo de 40.3 % para la especie con DAP mayor y el valor mínimo de 19.0 % para una de las especies con DAP menor: el porcentaje promedio de la biomasa para el follaje fue de 9.6±1.2 %, con un valor máximo de 14.1 % para el árbol de mayor DAP y el mínimo de 6.28 % para la misma especie referida anteriormente con DAP bajo. En este sentido, Návar (2009) reportó en un estudio para el desarrollo de ecuaciones alométricas de encinos de Durango y Chihuahua una proporción de 68 % de biomasa para el fuste y 32 % para las ramas y el follaje, valores cercanos a los encontrados en este estudio que como se indicó, la proporción varía con el diámetro del árbol.

El contenido de carbono por componente se obtuvo al multiplicar el porcentaje promedio de carbono específico (46.3, 46.8 y 48.3, para fuste, ramas y follaje, respectivamente) por la biomasa medida de dichos componentes (Cuadro 3). El contenido de carbono de cada árbol (CCA ponderado) obtenido a partir de la suma de cada uno de sus componentes y el mismo parámetro (CCA promedio total) pero obtenido a partir de aplicar el

total carbon content. Thus, it is easier to apply the average ratio of carbon content to tree biomass, as reported by Díaz *et al.* (2007) for *Pinus patula* Schl. *et* Cham.

Among the characteristics of vegetation, the specific gravity of wood varies within a species, and its value is related to differences in their diameters and biomass accumulation (Baker *et al.*, 2004; Chave *et al.*, 2001; 2003). It is also influenced by soil fertility conditions and moisture supply. In this sense, values are lower in young, well-developed individuals of the same species compared to older individuals with lower development associated with greater restrictions on nutrient and water availability (Rapp *et al.*, 1999; Wang *et al.*, 2008). This variable changes among wood components, as well as with tree age (Baker *et al.* 2004; Návar, 2009).

The regression equation generated for the species studied satisfactorily predicts biomass from DBH, given that it presented a coefficient of determination (R^2) of 0.98 ($P < 0.001$) and the parameter values in the model fit to linear form $\ln(Y) = b_0 + b_1 \ln(X)$ were: intercept (b_0) = -3.367; slope (b_1) = 2.9334, with acceptable levels of significance for both parameters ($P < 0.001$).

In the multiple linear regression model, the small contribution of SGW and H when added to basal area (which is a function of DBH) is explained by the little or no variation in standard error and the minimum increase in

factor que representa el porcentaje promedio de carbono para todo el árbol a su biomasa, no presentan diferencias significativas ($P = 0.986$), por lo que se considera que estos valores son similares, de tal manera que para obtener el contenido de carbono de un árbol no se requiere detallarlo por componentes, resultando más sencillo aplicar la proporción promedio de contenido de carbono a la biomasa del árbol, tal como lo reportan Díaz *et al.* (2007) para *Pinus patula* Schl. *et* Cham.

Dentro de las características de la vegetación, la densidad específica de la madera varía en una misma especie, y su valor está relacionado con las diferencias de crecimiento de sus diámetros y la acumulación de biomasa (Baker *et al.*, 2004; Chave *et al.*, 2001; 2003), además está influida por las condiciones de fertilidad del suelo y el abastecimiento de humedad; en tal sentido, se presentan valores menores en individuos jóvenes de la misma especie y con buen desarrollo comparados con individuos de mayor edad y menor desarrollo asociado a las mayores restricciones en la disponibilidad de nutrientes y agua (Rapp *et al.*, 1999; Wang *et al.*, 2008). Esta variable cambia entre los componentes leñosos, así como con la edad de los árboles (Baker *et al.*, 2004; Návar, 2009).

La ecuación de regresión generada para la especie estudiada predice satisfactoriamente la biomasa a partir del DAP, dado que presentó un coeficiente de determinación (R^2) de 0.98 ($P < 0.001$) y los valores de los parámetros en el ajuste del modelo a forma lineal $\ln(Y) = b_0 + b_1 \ln(X)$ fueron los siguientes: la ordenada al origen (b_0) = -3.367; la pendiente (b_1) = 2.9334, con niveles de significancia aceptables para ambos parámetros ($P < 0.001$).

En el modelo de regresión lineal múltiple, la poca contribución de la DEM y de la H adicionales al área basal (que es función del DAP) se explica con la poca o nula variación del error estándar y el mínimo incremento del coeficiente de determinación (R^2) de la estimación del \log_{10} de la biomasa al incorporar estas variables al modelo.

Si bien en la literatura se reporta un número variado de ecuaciones para la estimación de la biomasa del género *Quercus*, en la Figura 2 se muestran las líneas de tendencia de este estudio y algunos modelos reportados por diferentes autores: Návar (2009) para encinos de Chihuahua y Durango, Acosta *et al.*, (2002) para un bosque de encino en la zona cuicateca de Oaxaca, y Wang (2006) para un estudio en bosque de *Quercus* en el noreste de China. En los primeros 20 cm de DAP los cuatro modelos no reportan grandes diferencias, pero para DBH mayores el modelo desarrollado en este estudio y los de Wang (2006) en el noreste de China estiman valores considerablemente mayores de biomasa que los otros dos modelos descritos, lo que puede asociarse a que las condiciones del medio en donde se desarrollan los bosques de este estudio y los del noreste de China tienen condiciones favorables de

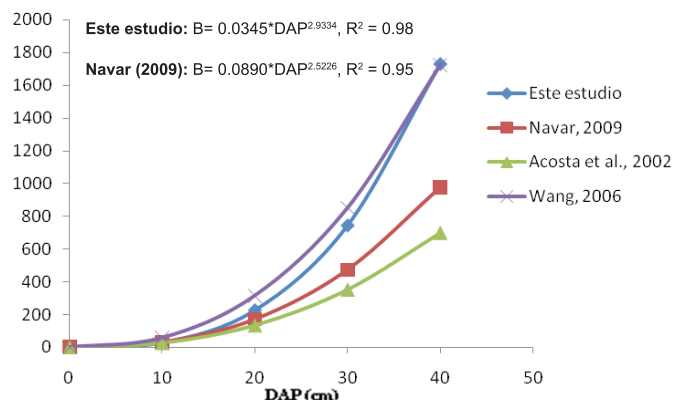


FIGURA 2. Modelos para la estimación de biomasa en función del diámetro a la altura del pecho para el género *Quercus*

FIGURE 2. Models for estimating biomass as a function of diameter at breast height for the genus *Quercus*

the coefficient of determination (R^2) of the estimated \log_{10} biomass by incorporating these variables into the model.

While a varying number of equations for estimating biomass in the genus *Quercus* have been reported in the literature, Figure 2 shows the trend lines of this study and some models reported by different authors: Návar (2009) for oaks in Chihuahua and Durango, Acosta *et al.* (2002) for an oak forest in the Cuicatec area of Oaxaca, and Wang (2006) for a study in a *Quercus* forest in northeastern China. In the first 20 cm of DBH, the four models reported no major differences, but for larger DBH the model developed in this study and those of Wang (2006) in northeastern China estimate biomass values significantly higher than those of the other two models described, which may be associated with the environmental conditions in which the forests of this study and those in northeastern China develop, as they have favorable soil fertility and moisture supply conditions, so biomass accumulation is greater with increasing DBH; on the other hand, the results obtained by Návar (2009) and Acosta *et al.* (2002) correspond to more restrictive soil and moisture supply conditions, both in the Cuicatec area of Oaxaca and in the areas of Durango and Chihuahua, which result in less development for a given DBH of the *Quercus* specimens that grow there (Rapp *et al.*, 1999; Wang *et al.*, 2008).

As noted in other studies, the variable that best explains tree biomass is DBH, and it is the most commonly used for tree allometry (Ter-Mikaelian and Korzukhin, 1997; Zianis and Mencuccini, 2004; Návar, 2009). Tree height is more difficult to measure, and SGW cannot better explain the variance of a site where the data originated, but its inclusion has the advantage of increasing the potential applicability of equations generated at other sites with similar characteristics (Ketterings *et al.*, 2001).

On the other hand, the variation in C content by components was consistent in this study, being higher for the foliage and branches, as they are structures that

fertilidad del suelo y de abastecimiento de humedad, por lo cual la acumulación de biomasa es mayor cuando se incrementa el DBH; en cambio los resultados obtenidos por Návar (2009) y Acosta *et al.* (2002) corresponden a condiciones más restrictivas de suelos y abastecimiento de humedad, tanto en la zona cuicateca de Oaxaca como en las zonas de Durango y Chihuahua, lo que determina menor desarrollo para un determinado DBH de los especímenes de *Quercus* que allí se desarrollan (Rapp *et al.*, 1999; Wang *et al.*, 2008).

Como se ha indicado en otros trabajos, la variable que mejor explica la biomasa de un árbol es el DBH y es la más comúnmente usada para la alometría de los árboles (Ter-Mikaelian y Korzukhin, 1997; Zianis y Mencuccini, 2004; Návar, 2009). La altura de los árboles es más difícil de medir, y así como la DEM puede no explicar más la varianza de un sitio donde se originaron los datos, pero su incorporación tiene la ventaja de incrementar el potencial de aplicabilidad de las ecuaciones generadas en otros sitios con características similares (Ketterings *et al.*, 2001).

Por otro lado, la variación del contenido de C por componentes en este estudio fue consistente, siendo mayor para el follaje y las ramas, dado que son las estructuras que acumulan altas concentraciones de carbohidratos o compuestos de reserva en contraste con el tronco, en donde la mayoría del C es celulosa y lignina, cuyo contenido de este es menor que en los carbohidratos (Watson y Casper, 1984). Por lo antes señalado, el contenido de C entre los componentes varía también con la edad de los árboles, lo que puede explicar las diferencias entre este estudio y lo reportado por Figueroa *et al.* (2005).

CONCLUSIONES

El modelo alométrico propuesto para predecir la biomasa de *Quercus magnoliaefolia* Née, se ajustó con un coeficiente de determinación $R^2 = 0.98$, utilizando la variable diámetro normal.

En la ecuación de regresión lineal múltiple de biomasa estimada a partir de área basal, DEM y altura de los árboles (H), una alta proporción de la varianza de la biomasa fue explicada solamente por el área basal. La DEM y H no incrementaron significativamente la precisión de los modelos individuales, y su contribución para explicar la varianza de la biomasa fue pequeña, al considerar inicialmente el área basal.

El porcentaje promedio de carbono en los árboles de *Q. magnoliaefolia* fue de 47.14 con valores de 46.29 % para el fuste, 46.83 % para las ramas y 48.31 % para el follaje. La proporción promedio de los componentes de la especie estudiada fue de 62.5 % para el fuste, 27.8 % para las ramas y 9.6 % para el follaje. Los valores del contenido de carbono almacenado por cada árbol, estimado a través

accumulate high concentrations of carbohydrates or reserve compounds in contrast with the bole, where most C is cellulose and lignin, whose C content is lower than that of carbohydrates (Watson and Casper, 1984). Moreover, the C content among the components also varies with tree age, which may explain the differences between this study and that by Figueroa *et al.* (2005).

CONCLUSIONS

The allometric model proposed for predicting the biomass of *Quercus magnoliaefolia* Née was fitted with a coefficient of determination $R^2 = 0.98$, using the variable normal diameter.

In the multiple linear regression equation of biomass estimated from basal area, SGW and tree height (H), a high proportion of biomass variation was explained only by basal area. SGW and H did not significantly increase the accuracy of the individual models and their contribution to explaining biomass variation was small considering that of basal area on its own.

The average percentage of carbon in the *Q. magnoliaefolia* trees was 47.14 with values of 46.29 % for the bole, 46.83 % for the branches and 48.31 % for the foliage. The average proportion of the components of the species studied was 62.5 % for the bole, 27.8 % for the branches and 9.6 % for the foliage. The values of carbon content stored per tree, estimated by the sum of the carbon in its components and that of the resulting average percentage of carbon in the whole tree applied to their biomass, showed no significant differences ($P = 0.986$).

ACKNOWLEDGEMENTS

We wish to thank the National Science and Technology Council (known by the acronym CONACYT in Mexico) for supporting this work by granting a Ph.D. scholarship to the lead author. Thanks also go to the Soil Fertility Laboratory at the Colegio de Postgraduados, Montecillos, Mexico, and the Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México.

We are grateful to the authorities of the El Zapote ejido, located in Morelos, Mexico, for allowing this study to be conducted on their land. Special thanks in this regard go to Bulmaro García, Rosenda Montiel and Miguel Marquina and family. We appreciate the support provided in the field by Pedro López Aguilar, Maximino Baena and Isabel López.

End of English Version

de la suma del carbono de sus componentes y el de la resultante del porcentaje promedio de carbono en todo el árbol aplicada a la biomasa de éstos, no presentaron diferencias significativas ($P = 0.986$).

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo para la realización de este trabajo mediante la beca para realizar estudios de doctorado del primer autor, al Laboratorio de Fertilidad de Suelos del Colegio de Postgraduados, Montecillos, México, y a la Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México. Agradecemos el apoyo de las autoridades del ejido El Zapote, Morelos, México, por permitirnos realizar este estudio en sus terrenos, en especial al señor Bulmaro García, la señora Rosenda Montiel y el Señor Miguel Marquina y familia. Apreciamos el apoyo en campo de los señores Pedro López Aguilar, Maximino Baena e Isabel López.

LITERATURA CITADA

- ACOSTA M., M.; VARGAS H., J.; VELÁZQUEZ M., A.; ETCHEVERS B., J. D. 2002. Estimación de la biomasa aérea mediante el uso de relaciones alométricas en seis especies arbóreas en Oaxaca, México. *Agrociencia* 36(6): 725-736.
- BAKER, T. R.; PHILLIPS, O. L.; MALHI, Y.; ALMEIDAS, S.; ARROYO, L.; DI FIORI, A.; ERWIN, T.; KELLEN, T. J.; LAURANCE, S. G.; LAURANCE, W. F.; LEWIS, S. I.; LLOYD, J.; MONTEAGUDOS, A.; NEILL, D. A.; PATIÑO, S.; PITMAN, N. C. A.; NATALINA, J.; SILVA, M.; MARTÍNEZ, R. V. 2004. Variation in wood density determines spatial patterns in Amazonian forest biomass. *Global Change Biology* 10: 545-562. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2004.00751.x
- BÁRCENAS, G.; DÁVALOS, R. 2001. Shrinking values for 106 Mexican Woods. *Journal of Tropical Forest Products* 7(2): 126-135.
- BINKLEY, D. 2004. A hypothesis about the interaction of tree dominance and stand production through stand development. *Forest Ecology and Management* 190: 265-271. DOI:10.1016/j.foreco.2003.10.018
- BINKLEY, D.; STAPE, J. L.; KYAN, M. G. 2004. Thinking about efficiency of resource use in forest. *Forest Ecology and Management* 193: 5-16. DOI:10.1016/j.foreco.2004.01.019
- BRANDEIS, T. J.; DELANEY, M.; PARRESOL, B. R.; ROYER, L. 2006. Development of equations for predicting Puerto Rican subtropical dry forest biomass and volume. *Forest Ecology and Management* 233: 133-142. DOI:10.1016/j.foreco.2006.06.012
- CASTILHO, C. V. d.; MAGNUSSON, W. E.; ARAUJO, R. N. O. d.; LUIZAO, R. C. C.; LUIZAO, F. J.; LIMA, A. P.; HIGUCHI, N. 2006. Variation in aboveground tree live biomass in a central Amazonian forest: effects of soil and topography. *Forest Ecology and Management* 234: 85-96. DOI:10.1016/j.foreco.2006.06.024
- CHAVE, J.; RIÉRA, B.; DUBOIS, M. A. 2001. Estimation of biomass in a neotropical forest of French Guiana: spatial and temporal variability. *Journal of Tropical Ecology* 17: 79-96. DOI:10.1017/S0266467401001055
- CHAVE, J.; CONDIT, R.; LAO, S.; CASPERSEN, J. P.; FOSTER, R. B.; HUBBELL, S. P. 2003. Spatial and temporal variation in biomass of a tropical forest: results from a large census plot in Panama. *Journal of Ecology* 91: 240-252. DOI: 10.1046/j.1365-2745.2003.00757.x
- DE LA PAZ, C.; DÁVALOS, R. 2008. Algunas características anatómicas y tecnológicas de la madera de 24 especies de *Quercus* (encinos) de México. *Madera y Bosques* 14(3): 43-80.
- DÍAZ F., R.; ACOSTA M., M.; CARRILLO A., F.; BUENDÍA R., E.; FLORES A., E.; ETCHEVERS B., J. D. 2007. Determinación de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Pinus patula* Schl. Et Cham. *Madera y Bosques* 13(1): 25-34.
- DIXON R. K.; BROWN, S.; HOUGHTON, R. A.; SOLOMON, A. M.; TREXLER, M. C.; WISNIEWSKI, J. 1994. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science*, 263: 185-190. DOI:10.1126/science.263.5144.185
- ETCHEVERS, J. D.; MONREAL, C. M.; HIDALGO, C.; ACOSTA, M.; PADILLA, J.; LÓPEZ, R. M. 2005. *Manual para la determinación de carbono en la parte aérea y subterránea de sistemas de producción en laderas*. Colegio de Postgraduados, México. 29 pp.
- FIGUEROA N., C.; ETCHEVERS B., J. D.; VELÁZQUEZ M., A.; ACOSTA M., M. 2005. Concentración de carbono en diferentes tipos de vegetación de la Sierra Norte de Oaxaca. *Terra* 23(1): 57-64.
- GARCÍA, E. 2006. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen, 2ª ed., UNAM, México, 228 pp.
- GARGAGLIONE V.; PERI, P. L.; RUBIO, G. 2010. Allometric relations for biomass partitioning of *Nothofagus antarctica* trees of different crown classes over a site quality gradient. *Forest Ecology and Management* 259: 1118-1126. DOI:10.1016/j.foreco.2009.12.025
- GÓMEZ D., J. D. 2008. Determinación de los almacenes de carbono en los compartimentos aéreo y subterráneo de dos tipos de vegetación en la reserva de la biosfera "Sierra de Huautla", Morelos, México. Tesis de Doctor en Ciencias, Colegio de Postgraduados, Montecillos, México. 194 pp.
- GÓMEZ D., J. D.; ETCHEVERS B., J. D.; MONTERROSO R., A. I.; PAUSTIAN, K.; HIDALGO, C.; CAMPO A. J.; TINOCO R. J. A.; GUIZAR N., E. 2010. Relaciones alométricas para estimar la biomasa aérea de especies tropicales de bosques estacionalmente secos del Centro de México. En Revisión.
- GOWER, S. T.; KUCHARIK, C. J.; NORMAN, J. M. 1999. Direct and indirect estimation of leaf area index, $F_{(APAR)}$, and net primary production of terrestrial ecosystems. *Remote Sensing Environment* 70: 29-51.
- JOHNSON, D. W.; TODD, D. E. 1998. Harvesting effects on long term changes in the nutrient pools of mixed oak forest. *Soil Science Soc. Am. J.* 62: 1725-1735. DOI:10.2136/sssaj1998.03615995006200060034x
- KETTERINGS, Q. M.; COE, R.; VAN NOORDWIJK, M.; AMBAU, Y.; PALM, C. A. 2001. Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forests. *Forest Ecology and Management* 146: 199-209. DOI:10.1016/S0378-1127(00)00460-6
- KLEINBAUM, D. G.; KUPPER, L. L.; MULLER, K. E. 1988. *Applied regression analysis and other multivariable methods*. PWS-Kent Publishing Co. Boston 718 pp.
- LITTON, C. M.; KAUFFMAN, J. B. 2008. Allometric models for predicting above-ground biomass in two widespread woody plants in Hawaii. *Biotropica* 40: 313-320. DOI: 10.1111/j.1744-7429.2007.00383.x
- MARTÍNEZ-YRÍZAR, A.; SARUKHÁN, J.; PÉREZ-JIMÉNEZ, A.; RINCÓN, E.; MAASS, J. M.; SOLIS-MAGALLANES, A.; CERVANTES, L. 1992. Above-ground phytomass of a tropical deciduous

- forest on the coast of Jalisco, Mexico. *J. of Tropical Ecology* 8: 87-96. DOI:10.1017/S0266467400006131
- MARTÍNEZ-YRÍZAR, A.; MAASS, J. M.; PÉREZ-JIMÉNEZ, A.; SARUKHÁN, J. 1996. Net primary productivity of a tropical deciduous forest ecosystem in western Mexico. *J. Trop. Ecol.* 12: 169-175. DOI:10.1017/S026646740000938X
- NÁVAR, J. 2009. Allometric equations for tree species and carbon stocks for forest of northwestern Mexico. *Forest ecology and Management* 257: 427-434. DOI:10.1016/j.foreco.2008.09.028
- NIXON, K. C. 1993. The genus *Quercus* in Mexico. In: T.P. Ramamoorthy, Bye, R., Lot, A., and Fay, J. (Eds). *Biological Diversity of Mexico: Origins and Distribution*, pp 447-458, Oxford University Press. New York.
- PASTOR, J.; ABER, J. D.; MELILLO, J. M. 1984. Biomass prediction using generalized allometric regressions for some northeast tree species. *Forest Ecology and Management* 7: 265-274. DOI:10.1016/0378-1127(84)90003-3
- PERI, P. I.; GARGALIONE, V.; MARTÍNEZ-PASTUR, G. 2006. Dynamics of above and below-ground biomass and nutrient accumulation in an age sequence of *Nothofagus antarctica* forest of Southern Patagonia. *Forest Ecology and Management* 233: 85-99. DOI:10.1016/j.foreco.2006.06.009
- RAPP, M.; REGINA, I. S.; RICO, M.; GALLEG0, H. A. 1999. Biomass, nutrient content, litterfall and nutrient return to the soil in Mediterranean oak forest. *Forest Ecology and Management*. 119: 39-49. DOI:10.1016/S0378-1127(98)00508-8
- SAMPAIO, E.; GASSON, P.; BACARAT, A.; CUTLER, D.; PAREYN, F.; COSTA-LIMA, K. 2010. Tree biomass estimation in regenerating areas of tropical dry vegetation in northeast Brazil. *Forest Ecology and Management*. 259: 1135-1140. DOI:10.1016/j.foreco.2009.12.028
- SANTA REGINA, I. 2000. Biomass estimation and nutrient pools in four *Quercus pyrenaica* in Sierra de Gata Mountains, Salamanca, Spain. *Forest Ecology and management* 132: 127-141. DOI:10.1016/S0378-1127(99)00219-4
- TER-MIKAELIAN, M. T.; KORZUKHIN, M. D. 1997. Biomass equation for sixty-five North American tree species. *Forest Ecology and Management*. 97: 1-24. DOI:10.1016/S0378-1127(97)00019-4
- VALENCIAA., S. 2004. Diversidad del género *Quercus* (Fagaceae) en México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. 75: 33-53.
- WANG, C. 2006. Biomass allometric equations for 10 co-occurring tree species in Chinese temperate forest. *Forest Ecology and Management*. 222: 9-16. DOI:10.1016/j.foreco.2005.10.074
- WANG, X.; FANG, J.; ZHU, B. 2008. Forest biomass and root-shoot allocation in northeast China. *Forest Ecology and Management* 255: 4007-4020. DOI:10.1016/j.foreco.2008.03.055
- WATSON, M. A.; CASPER, B. B. 1984. Morphogenetic constraints on pattern of carbon distribution in plants. *Annu. Rev. Ecol. Sys.* 15: 233-258. DOI: 10.1146/annurev.es.15.110184.001313
- WEST-EBERHARD, M. J. 2003. *Developmental Plasticity and Evolution*. Oxford University Press. New York. 794 pp
- ZIANIS, D.; MENCUCCINI, M. 2004. On simplifying allometric analyses of forest biomass. *Forest Ecology and Management* 187: 311-332. DOI:10.1016/j.foreco.2003.07.007