

ESTIMACIÓN DE BIOMASA Y CARBONO EN DOS ESPECIES DE BOSQUE MESÓFILO DE MONTAÑA*

BIOMASS AND CARBON ASSESSMENT IN TWO TREE SPECIES IN A CLOUDY FOREST

Miguel Acosta Mireles¹, Fernando Carrillo Anzures^{1§} y Raúl Gilberto Gómez Villegas²

¹Campo Experimental Valle de México. INIFAP. Carretera Los Reyes-Texcoco, km 13.5. Coatlínchán, Texcoco, Estado de México. C. P. 56250. Tel. 01 595 9212681. (acostamm@colpos.mx). ²Departamento de Suelos. Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco, km 38.5. Chapingo, Estado de México, C. P. 56230. [§]Autor para correspondencia: fernando.carrillo877@gmail.com.

RESUMEN

La generación de ecuaciones alométricas es importante para determinar la biomasa y el carbono en las especies arbóreas. Esta información es útil en los estudios de cambio climático. En el presente estudio se generaron ecuaciones alométricas para dos especies de importancia ecológica en el bosque mesófilo de montaña: *Clethra mexicana* DC y *Alnus arguta* (Schltdl) Spach. Las ecuaciones que se determinaron son de la forma $Y = bX^k$; donde: Y= contenido de biomasa o de carbono (kg); y X= diámetro normal (DN) en centímetros. Para estimar los valores b y k del modelo para cada especie, se realizó un muestreo de quince árboles de *Clethra mexicana* y 22 de *Alnus arguta*. En *Clethra mexicana* el mayor porcentaje de biomasa 45.2% se encontró en el fuste incluido el tocón, mientras que en las ramas y el follaje estaba 36.3% y 18.6%, respectivamente. Con la biomasa y el DN de los árboles se determinaron los parámetros b y k del modelo propuesto ($B = 0.4632 DN^{1.8168}$, $R^2 = 0.946$). Para *Alnus arguta* el mayor porcentaje de biomasa (60.6%), se encontró en el fuste incluido el tocón, mientras que en las ramas y el follaje presentó 27.4 y 12%, respectivamente. Al igual que el caso anterior con la biomasa y el DN, se obtuvieron los parámetros b y k del modelo propuesto ($B = 0.1649 DN^{2.2755}$, $R^2 = 0.968$). Después de analizar el contenido de carbono en las muestra

ABSTRACT

The generation of allometric equations is important to determine biomass and carbon in tree species. This information is useful in climate change studies. In this paper, allometric equations were generated for two species of ecological importance in the cloud forest: *Clethra mexicana* DC and *Alnus arguta* (Schltdl) Spach. Equations determined are of the form $Y = bX^k$; where: Y= biomass or carbon content (kg); and X= normal diameter (ND) in centimeters. To estimate model values of b and k for each species, a sampling was performed in fifteen *Clethra mexicana* and 22 of *Alnus arguta* trees. In *Clethra mexicana* the highest percentage of biomass 45.2% was found in the trunk including the stump, while branches and foliage had 36.3% and 18.6% respectively. With the biomass and ND of the trees, b and k parameters were determined from the proposed model ($B = 0.4632 DN^{1.8168}$, $R^2 = 0.946$). For *Alnus arguta* the highest percentage of biomass (60.6%) was found in the trunk including the stump, while branches and foliage had 27.4 and 12% respectively. Like the previous case with biomass and ND, b and k parameters were obtained from the proposed model ($B = 0.1649 DN^{2.2755}$, $R^2 = 0.968$). After analyzing carbon content in each species samples, equations were

* Recibido: octubre de 2010
Aceptado: julio de 2011

de cada especie, se ajustaron las ecuaciones para *Clethra mexicana* $C = 22.49DN^{1.8168}$, con $R^2 = 0.946$, mientras que para *Alnus arguta* $C = 0.0809DN^{2.2782}$ con $R^2 = 0.968$.

Palabras clave: *Alnus arguta* (Schltdl) Spach, *Clethra mexicana* DC, almacén de carbono, ecuaciones alométricas.

INTRODUCCIÓN

Uno de los temas que preocupa a la humanidad en la actualidad es el deterioro del ambiente, específicamente la contaminación atmosférica. Esta se define como la presencia de materia o energía en cualquiera de sus estados físico y formas que, al incorporarse al aire, altera o modifica su composición y condición natural, provocando un desequilibrio ecológico (López *et al.*, 2001; IPCC, 2007). Uno de los mayores desequilibrios ecológicos que la tierra experimenta actualmente es el llamado cambio climático global, debido a la contaminación por el aumento constante de los gases que causan el llamado efecto invernadero (GEI), los cuales se han incrementado a partir de la era industrial.

A pesar de que la especie humana ha estado sobre la Tierra, durante sólo una pequeña parte de la existencia de ésta, la alteración que ha provocado sobre la atmósfera es inigualable a comparación con las alteraciones que causan los fenómenos naturales. Las constantes emisiones de GEI, tales como el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4), el óxido de nitrógeno (N_2O) y los clorofluorocarbonos (CFCs), entre otros (Houghton *et al.*, 1990), están desencadenando una serie de alteraciones ambientales a partir de la era industrial. Entre los principales efectos que traen como consecuencia un aumento general de la temperatura en la tierra son: el derretimiento de los casquetes polares, el aumento del nivel del mar y la presencia de eventos naturales más extremos como huracanes y sequías, presencia de nuevas enfermedades, pestes, etc.

Debido que el cambio climático afecta a todas las naciones, se han realizado diversas reuniones en donde se ha tratado de buscar soluciones a este problema. Fue hasta 1997 cuando se tomaron medidas más específicas para frenar el acelerado cambio climático, mediante la creación del Protocolo de Kyoto (IPPC, 1995), el cual incluye acuerdos flexibles de alcance internacional para tratar de mitigar o disminuir las emisiones de los GEI. Uno de los componentes emanado del protocolo, ante el fracaso de las reducciones

adjusted for *Clethra mexicana* $C = 22.49DN^{1.8168}$, with $R^2 = 0.946$, whereas for *Alnus arguta* $C = 0.0809DN^{2.2782}$ with $R^2 = 0.968$.

Key words: *Alnus arguta* (Schltdl) Spach, *Clethra mexicana* DC, carbon store, allometric equations.

INTRODUCTION

One issue of concern to humanity today is the environmental deterioration, specifically air pollution. This is defined as the presence of matter or energy in all its physical states and forms, when they incorporate into the air, alter or modify its composition and natural condition, causing an ecological imbalance (López *et al.*, 2001; IPCC 2007). One of the major ecological imbalances currently experiencing by Earth is called global climate change, due to contamination by the steady increase of gases that cause the so-called greenhouse effect (GHGs), which have increased since the industrial era.

Although mankind has been on Earth for only a small part of its existence, the disruption that has been caused on the atmosphere is not comparable with the changes caused by natural phenomena. Constant GHGs emissions such as carbon dioxide (CO_2), methane (CH_4), nitrous oxide (N_2O) and chlorofluorocarbons (CFCs), among others (Houghton *et al.*, 1990), are triggering environmental changes from industrial age. Among the main effects of general temperature increase on earth there are: melting ice caps, rising sea levels and the presence of extreme natural events like hurricanes and droughts, the presence of new diseases, pests, etc.

Because climate change affects all nations, there have been several meetings seeking for solutions to this problem. Until 1997, there were taken specific actions to curb the rapid climate change, through the creation of Kyoto Protocol (IPPC, 1995), which includes flexible arrangements at international level to try to mitigate or reduce emissions of GHGs. Given the failure of voluntary reductions agreed by the nations, it aims to make the so-called clean development mechanism (CDM), one of whose sections is referred to the capture of atmospheric carbon for prolonged time (sequestration) or transformation of potentially releasable carbon as a mitigation measure.

voluntarias acordadas por las naciones, se pretende realizar el denominado mecanismo de desarrollo limpio (MDL), en uno de cuyos apartados se hace mención a la captura del carbono atmosférico por tiempo prolongado (secuestro) o transformación del carbono potencialmente liberable como medida de mitigación.

La captura es la situación inversa a las emisiones de GEI; este mecanismo permite que países ricos en biodiversidad forestal, realicen la captura de carbono que los países más contaminantes lo emiten, de esta forma se establece un convenio comercial de pago por servicios ambientales, en donde las naciones contaminantes pagan a los que menos contaminan: el secuestro de carbono, la captura de agua, la conservación de la biodiversidad, entre otros (Pagiola *et al.*, 2003). Desgraciadamente la propuesta no ha rendido los resultados esperados, ya que el número de proyectos aprobados es mínimo en el ámbito forestal y la resistencia de los países desarrollados a pagar por lo que contaminan.

Las condiciones geográficas y climáticas de México, favorecen que exista una gran diversidad de tipos de vegetación, que incluye a los bosques templados, selvas altas y medianas, vegetación de zonas áridas y una parte de bosque mesófilo de montaña, también conocido como bosque de niebla, el cual a pesar de ser reducido en su extensión territorial (1%), mantiene una enorme riqueza con respecto a su diversidad biológica por unidad de superficie (Rzedowski, 1996), siendo de esta manera uno de los ecosistemas más complejos respecto a su origen, composición y fisonomía.

El estado de Hidalgo alberga una considerable porción del bosque mesófilo de montaña que tiene México, ocupando el tercer lugar en cuanto a extensión de este tipo de vegetación, después de Chiapas y Oaxaca (Ortega y Castillo, 1996). Debido a la gran masa forestal que posee esta vegetación, se considera como un almacén de carbono de gran magnitud. Mediante el proceso de la fotosíntesis que realizan tanto los árboles como las demás plantas se acumula el carbono en la vegetación, en sus diferentes componentes y estratos, principalmente en el fuste, ramas, hojas y raíces, constituyendo con esto un almacén de carbono de gran importancia. Su apropiado manejo puede asegurar que el carbono almacenado perdure por muchos años, sin embargo al MDL sólo le interesa el carbono incremental; es decir, el que se pudiese almacenar como consecuencia de nuevas tecnologías de manejo o la incorporación de áreas que no tienen este tipo de vegetación a la producción forestal.

Capture is the opposite situation to GHGs emissions, this mechanism allows that countries with forest biodiversity richness, execute carbon sequestration emitted by the most polluting countries, establishing a trade agreement of payment for environmental services, where polluting nations pay to those who pollute less: carbon sequestration, water harvesting, biodiversity conservation, among others (Pagiola *et al.*, 2003). Unfortunately the proposal has not yielded the expected results, because of the minimal number of approved projects in forestry and the resistance of developed countries to pay for what they pollute.

The geographic and climatic conditions in Mexico, favor the existence of a great diversity of vegetation types including temperate forests, high and medium jungles, arid vegetation and a part of mountain cloud forest, also known as fog forest, which despite of its reduced land area (1%), maintains an enormous richness with respect to its biological diversity per unit area (Rzedowski, 1996), being one of the most complex ecosystems due to its origin, composition and physiognomy.

Hidalgo state is home of a considerable portion of mountain cloud forest in Mexico, ranking third in extent of this vegetation type, after Chiapas and Oaxaca (Ortega and Castillo, 1996). Due to the great forest mass that this vegetation has, it is considered as a carbon store of great magnitude. Through the photosynthesis process made by the trees and other plants, it is accumulated carbon in vegetation, in its different components and layers, mainly in the trunk, branches, leaves and roots, forming a great importance carbon store. Its proper management can ensure that the stored carbon will last for many years, however the CDM is only interested in incremental carbon, i. e., that can be stored as a result of new management technologies or the incorporation to forestry production of areas that do not have this vegetation type.

To estimate the carbon amount that a forest system contains or stores, it is often necessary to perform a destructive analysis (Brown *et al.*, 1989), or through indirect estimations, which is known as modeling for respective inferences. It is also possible to use techniques based on remote sensing measurements, which must be calibrated with real situations measured on ground.

To measure carbon through modeling, is necessary to have mathematical functions called allometric equations; meaning, relations that are frequent and relatively

Para estimar la cantidad de carbono que un sistema forestal almacena, es necesario realizar un análisis destructivo (Brown *et al.*, 1989) o bien por medio de estimaciones indirectas, lo que se conoce como modelaje para realizar las inferencias respectivas. También es posible emplear técnicas basadas en mediciones hechas con sensores remotos, que deben ser calibradas con situaciones reales medidas en tierra.

Para medir el carbono por medio de modelaje, es necesario contar con funciones matemáticas que se denominan ecuaciones alométricas; es decir, relaciones que son frecuentes y relativamente constantes entre las partes que constituyen a un individuo vivo (Huxley, 1932). Las relaciones alométricas han sido utilizadas en varias especies forestales de clima templado frío, para determinar tanto la biomasa como el carbono. Entre estas especies se puede mencionar: *Pinus patula* Schl. *et* Cham. (Díaz *et al.*, 2007), *Abies religiosa* (H.B.K.) Schl. *et* Cham. (Avendaño, 2006), *Alnus jorullensis* H. B. K. ssp. *jorullensis* (Juárez, 2008), *Pinus montezumae* Lamb. (Bonilla, 2009). Mediante estas ecuaciones se estima la biomasa y con este valor, el carbono aéreo total.

Un ejemplo de estimación de la biomasa es a partir de mediciones del diámetro normal; tal es el caso de *Clethra hartwegii*, *Rapanea myricoides*, *Alnus glabrata*, *Liquidambar microphylla*, *Inga* sp. y *Quercus peduncularis*, del bosque mesófilo de montaña en Oaxaca (Acosta *et al.*, 2002; Acosta, 2003); también se han generado relaciones alométricas para otros ecosistemas como la selva baja caducifolia empleando variaciones de este procedimiento (Gómez, 2008). Lo ideal sería contar con una ecuación alométrica para cada especie o por lo menos generar ecuaciones por grupos de especies que tengan características similares, lo cual también constituye una alternativa viable (Acosta, 2003).

El objetivo del estudio fue determinar mediante el uso de ecuaciones alométricas la cantidad de biomasa y carbono en árboles de *Clethra mexicana* DC. y *Alnus arguta* (Schltdl) Spach, especies de gran importancia ecológica del bosque mesófilo de montaña.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se llevó a cabo en la parte noreste de Hidalgo, en la Región Sierra-Huasteca, ubicada en la Sierra Madre Oriental, donde se localiza la mayor proporción y

constant between parts of a living individual (Huxley, 1932). Allometric relations have been used in several forest species of temperate-cool weather, in order to determine biomass and carbon. These species may include: *Pinus patula* Schl. *et* Cham (Díaz *et al.*, 2007), *Abies religiosa* (H.B.K.) Schl. *et* Cham. (Avendaño, 2006), *Alnus jorullensis* H. B. K. ssp. *jorullensis* (Juárez, 2008), *Pinus montezumae* Lamb. (Bonilla, 2009). Using these equations it is estimated biomass and with this value, it is estimated total air carbon.

An example of biomass estimation is from measurements of normal diameter, like the case of *Clethra hartwegii*, *Rapanea myricoides*, *Alnus glabrata*, *Liquidambar microphylla*, *Inga* sp. and *Quercus peduncularis*, from the cloud forest in Oaxaca (Acosta *et al.*, 2002; Acosta, 2003), there have also been generated allometric relations for other ecosystems such as tropical deciduous forest, using variations of this procedure (Gómez, 2008). Ideally, it should exist an allometric equation for each species or at least to generate equations for species groups with similar characteristics, which are also a viable alternative (Acosta, 2003).

The aim of this paper is to determine through the use of allometric equations, biomass and carbon amount in trees *Clethra mexicana* DC. and *Alnus arguta* (Schltdl) Spach, species of great ecological importance for cloud forest.

MATERIALS AND METHODS

This research was conducted in the northeastern part of Hidalgo, in the Sierra-Huasteca Region that is located in Sierra Madre Oriental, where the higher proportion and better conditions the cloud forest of the state is located. The selection and cutting of the trees was done at the Ejido La Mojonera, municipality of Zacualtipan de Angeles, Hidalgo, which is located between the coordinates 20° 39' 41" north latitude and 98° 39' 17" west longitude. In this place there is a representative area of cloud forest, there are also very large areas of pine-oak forest. This ejido's forest is under forest management and logging, where the main marketing products are wood from *Pinus patula* and oak firewood (Figure 1).

en mejores condiciones el bosque mesófilo de montaña del estado. La selección y corta de los árboles se realizó en el ejido La Mojonera, municipio de Zacualtipán de Ángeles Hidalgo, que se localiza entre las coordenadas $20^{\circ} 39' 41''$ de latitud norte y $98^{\circ} 39' 17''$ de longitud oeste. En este lugar se encuentra una zona representativa de bosque mesófilo de montaña, de igual manera se pueden observar áreas de gran magnitud de pino-encino. El bosque de este ejido se encuentra bajo manejo silvícola y aprovechamiento forestal, donde los principales productos de comercialización son la madera del *Pinus patula* y la obtención de leña de encino (Figura 1).

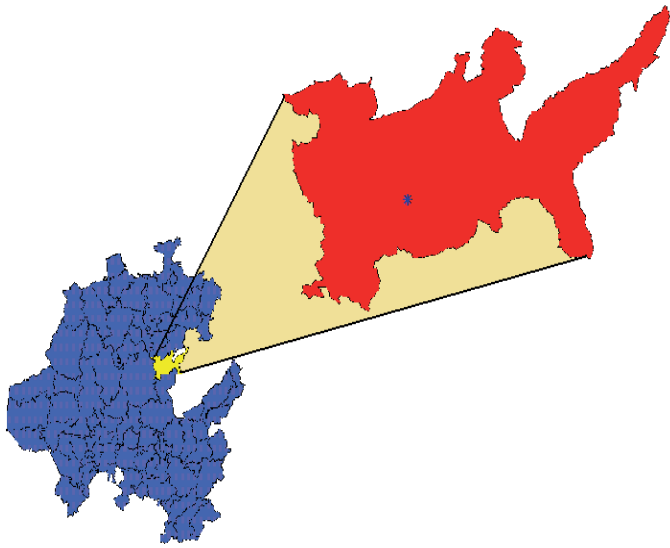


Figura 1. Ubicación del ejido La Mojonera municipio de Zacualtipán Hidalgo.

Figure 1. Location of Ejido La Mojonera, Zacualtipán, Hidalgo.

Generación de ecuaciones alométricas

Según Pastor *et al.* (1984) para estudios forestales, el concepto de alometría se ha utilizado para relacionar componentes o variables de alguna medición (biomasa, área foliar), con variables más fáciles de medir (altura, diámetro, área basal, área de la albura), con el objeto de estimar las primeras variables en función de las segundas. Una de las variables más empleada es el diámetro normal (DN) a 1.3 m del suelo o diámetro a la altura del pecho (DAP) para estimar la biomasa aérea de los árboles (FAO, 2000).

Para ajustar los modelos alométricos que se emplean en la estimación de la biomasa de cada especie significativa del bosque mesófilo, fue necesario realizar un muestreo destructivo. Se seleccionaron individuos que abarcaran un rango amplio de diámetro para cada especie.

Generation of allometric equations

According to Pastor *et al.* (1984), for forestry studies the concept of allometry has been used to connect components or variables of some measurement (biomass, leaf area), with more easily measured variables (height, diameter, basal area, sapwood area), in order to estimate the first variables using the second ones. One of the most used variables is the normal diameter (ND) at 1.3 m above the ground or diameter at breast height (DBH) to estimate the trees air biomass (FAO, 2000).

To adjust allometric models used in estimating the biomass of each species significant to cloud forest, it was required a destructive sampling. Individuals that covered a wide diameter range for each species were selected.

The work was done in 2008, a period in which the necessary permits of the Ministry of Environment and Natural Resources (SEMARNAT) were obtained, for felling trees, because as mentioned, the area is under forest harvesting and therefore under a previously established management plan.

In order to make the measurement, demolition, weight and subsamples obtention, we followed the methodology used by Acosta *et al.* (2002). We measured and cut 22 trees of *Alnus arguta* and 15 of *Clethra mexicana*, abundant species in the cloud forest, which had no deformities or illnesses, also the trees selected for the study were already marked for harvest.

In each selected tree, the normal diameter before being shot down was measured. In the case of *Clethra mexicana* species, usually the branch begins from 2 m height and its crown has an irregular shape, diameter range of this species ranged from 10 to 25 cm. In the case of *Alnus arguta* species, specimens ranging from 10 to over 40 cm of normal diameter were found.

To determine dry weight relation between trunk's fresh weight and treetop at different heights, and calculate the total biomass of larger trees, seven slices were obtained considered as sample probe (P_i) of about 5 cm thick in seven positions of the main trunk. The first three slices (P_1 - P_3) were obtained from the clear trunk, P_1 at 0.3 m above the ground, P_2 at 1.3 m above the ground (corresponding to normal diameter) and P_3 in the middle between P_2 and the treetop's base (Figure 2). The other four slices were obtained from four sections in which were split the treetop from its base to the apex (Acosta, 2003).

El trabajo se realizó en 2008, periodo en el cual se obtuvieron los permisos necesarios por parte de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), para el derribo de los árboles, ya que como se mencionó, la zona está bajo aprovechamiento forestal y por lo tanto, bajo un plan de manejo previamente establecido.

Para realizar la medición, derribo, pesado y obtención de submuestras, se siguió la metodología utilizada por Acosta *et al.* (2002). Se midieron y cortaron 22 árboles de *Alnus arguta* y 15 de *Clethra mexicana*, especies de gran abundancia en el bosque mesófilo de montaña, que no presentaran deformidades ni enfermedades, asimismo los árboles seleccionados para el estudio ya estaban marcados para su aprovechamiento.

A cada árbol seleccionado se midió el diámetro normal antes de ser derribado. En el caso de la especie *Clethra mexicana* por lo general su ramificación comienza desde los 2 m de altura y su copa es de forma irregular, el rango de esta especie en cuanto a diámetro varió desde 10 hasta 25 cm. Para el caso de la especie *Alnus arguta* se encontraron ejemplares que variaron desde 10 hasta más de 40 cm de diámetro normal.

Con el fin de determinar la relación peso seco entre peso fresco del tronco y de la copa a diferentes alturas, y calcular la biomasa total de los árboles más grandes, se obtuvieron siete rodajas consideradas como muestras probeta (P_i) de aproximadamente 5 cm de espesor en siete posiciones del tallo principal. Las primeras tres rodajas (P_1 a P_3) se obtuvieron del fuste limpio; P_1 a 0.3 m del suelo, P_2 a 1.3 m del suelo (correspondiente al diámetro normal) y P_3 en la parte media entre P_2 y la base de la copa (Figura 2). Las otras cuatro rodajas se obtuvieron de cuatro secciones en las que se dividió la copa desde su base hasta el ápice (Acosta, 2003).

Para la obtención del peso fresco de los árboles en cada una de sus secciones (antes de cortar las probetas), fueron pesadas, al igual que las ramas y hojas. Ésta tarea se realizó en campo de manera inmediata cuando el árbol fue derribado, con la finalidad de que no se alterarán los resultados por pérdida de humedad. Para obtener el peso fresco de cada parte se utilizó una báscula de 200 kg y una estructura metálica. Una vez que los árboles fueron derribados y para no afectar las dimensiones comerciales de la madera, el fuste se seccionó en trozas de 2 a 2.5 m de longitud.

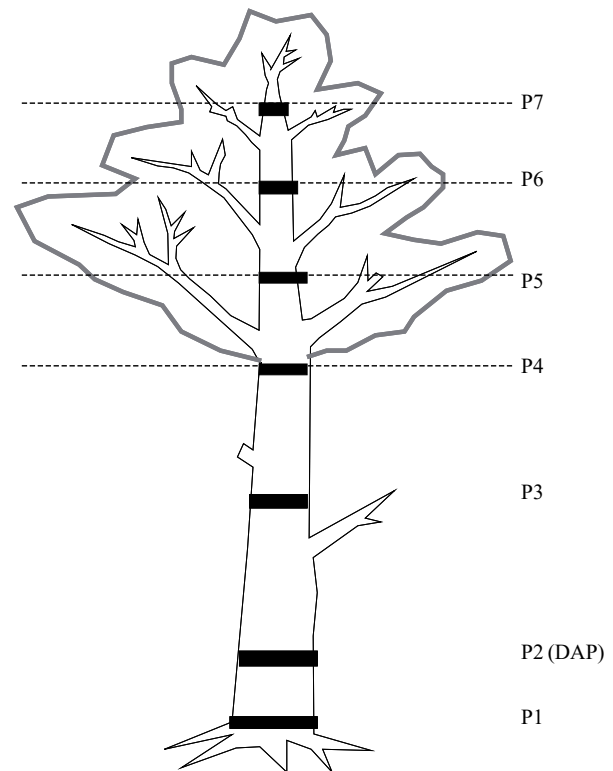


Figura 2. Muestras de probeta en el tronco de un árbol para determinar la biomasa del fuste y de la copa.

Figure 2. Probe samples of a tree trunk to determine trunk and treetop biomass.

To obtain fresh weight of trees in each of its sections (before cutting the probes), they were weighted like the branches and leaves. This work was done at the field, immediately when the tree was felled, in order to do not alter results by moisture loss. To obtain fresh weight of each part, it was used a 200 kg bascule and a metal frame. Once the trees were felled and in order to do not affect the commercial dimensions of the wood, the trunk was cut into logs of 2 to 2.5 m in length.

Branches were separated from the trunk and foliage; it was also obtained from them a sample of each of the treetop sections in order to determine its fresh weight. Tree's remaining branches were weighed to obtain the data of fresh branches weight of each tree and get biomass per sections (trunk, branches and leaves). In order to weight the leaves, they were placed on a tarp to facilitate obtaining its total weight.

To obtain the weight of the samples from each trunk section, branches and leaves samples, another bascule was used with a 15 kg capacity and 20 g accuracy, where

Las ramas fueron separadas del fuste y del follaje, también de ellas se obtuvo una muestra de cada una de las secciones de la copa y se determinó su peso fresco. Las ramas sobrantes de todo el árbol se pesó en conjunto, esto para obtener el dato de peso fresco de las ramas de cada árbol y sí obtener la biomasa por secciones (fuste, ramas y hojas). Para llevar a cabo el pesado de las hojas estas se depositaron sobre una lona, para facilitar la obtención adecuada de su peso total.

Para obtener el peso de las muestras de cada una de las secciones del fuste de los árboles, las muestras de ramas y de hojas, se utilizó otra báscula con una capacidad de 15 kg con una precisión de 20 g, en donde se registró el peso en fresco de cada submuestra, este material posteriormente se trasladó al laboratorio en donde se obtuvo el peso seco.

Con la finalidad de obtener el peso seco de cada uno de los árboles las muestras del fuste (rodajas), al igual que las de ramas y hojas, se secaron a temperatura ambiente en las instalaciones del Campo Experimental del Valle de México (CEVAMEX) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Debido a que las muestras no pierden la humedad en su totalidad debido a la humedad relativa del ambiente, fue necesario colocar algunas de ellas en una estufa de secado a una temperatura constante de 65 °C durante 72 h hasta lograr peso constante, el cual una vez obtenido, se realizó nuevamente el cálculo para el material que ya se había pesado y que sólo se secó al medio ambiente para aplicarle la corrección y descontarle el porcentaje de humedad residual que tenía al estar en contacto con la humedad del ambiente.

De esta manera se garantizó la obtención exacta de la biomasa por árbol. Ya que la relación peso seco entre peso fresco de cada una de éstas, 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 rama y de las hojas de cada sección de la copa, a partir de la relación peso seco entre peso fresco de las muestras tomadas. Una vez que se obtuvo la suma del peso seco de cada una de las secciones del tronco, ramas y hojas de cada árbol, se registró la biomasa total de cada árbol.

La estimación de la biomasa por componente se obtuvo de la relación peso seco entre peso fresco. En este caso, del peso seco de cada componente se obtiene un porcentaje

the fresh weight for each subsample was recorded, this material was transferred to the laboratory where dry weight was obtained.

In order to obtain dry weight of each tree, the trunk samples (slices), as well as branches and leaves, they were dried at room temperature in the facilities of Valley of Mexico Experimental Station (CEVAMEX) of the National Forestry, Agriculture and Livestock Research Institute (INIFAP). Samples did not completely lose their moisture due to the environmental relative humidity, so it was necessary to place some of them in a drying oven at a constant temperature of 65 °C for 72 h until its constant weight and once it was obtained, it was performed again the calculation for the material that had been already weighted and was only dried in the environment to apply the correction and deduct the residual moisture percentage that still had for being in contact with environmental humidity.

That procedure ensures an accurate obtention of biomass per tree. Relation between dry weight and fresh weight was used to obtain the dry weight of each trunk's section from their respective fresh weight. Same procedure was used to obtain the branches and leaves dry weight of each treetop's section, from the relation between dry and fresh weight of the samples. Once obtained the sum of the dry weight of each section of the trunk, branches and leaves of each tree, the total biomass of each tree was recorded.

Estimation of biomass per component was obtained from the relation between dry and fresh weight. In this case, from the dry weight of each component it is obtained a percentage that represents this relation and that percentage is multiplied by the fresh weight of component left at the field, then summed the weights of each tree's component in order to obtain biomass per tree and species.

Allometric model selection

After obtaining biomass and diameter at breast height (DBH) of individual trees, it was selected a potential model that measures allometric relations and is one of the most used (Ter-Mikaelian and Korzukhin, 1997; Acosta *et al.* 2002; Gómez, 2008).

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

Where: Y= air biomass or carbon (kg); X= diameter (cm) at breast height (DBH); b and k= parameters to be estimated by the method of least squares.

que representa esta relación y tal porcentaje se multiplica por el peso fresco del componente dejado en campo; después se suman los pesos de cada componente del árbol para así obtener la biomasa por árbol y especie.

Selección de modelos alométricos

Después de obtener la biomasa y el diámetro a la altura del pecho (DAP) de los distintos árboles, se seleccionó un modelo potencial que mide las relaciones alométricas y es uno de los más usados (Ter-Mikaelian y Korzukhin, 1997; Acosta *et al.*, 2002; Gómez, 2008).

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

Donde: Y = biomasa aérea o carbono (kg); X = diámetro (cm) a la altura del pecho (DAP); b y k = parámetros a estimar por el método de mínimos cuadrados.

Al expresar el modelo (1) en su forma lineal mediante transformaciones logarítmicas de las variables involucradas y ajustarlo empleando los datos de Y y X como variable dependiente e independiente, respectivamente, se obtiene el modelo 2 expresado por la ecuación 2 (Baskerville, 1972; Acosta *et al.*, 2002).

$$\ln(Y) = \ln(b) + k \ln(X) \quad 2)$$

Donde: Y, X, b y k tienen el mismo significado que en la ecuación (1); $\ln(Y)$, $\ln(b)$ y $\ln(X)$ son los logaritmos naturales de Y, b y X, respectivamente.

RESULTADOS

Estimación de biomasa y carbono

Los 15 árboles que se muestrearon para *Clethra mexicana* presentaron un diámetro normal (DN) que varió desde 5.3 a 23.3 cm, siendo los diámetros mayores más comunes de la especie en la región donde se realizó el estudio. Con respecto a *Alnus arguta* se encontraron árboles más grandes que variaron desde 6.2 a 45 cm. Estos resultados se muestran en los Cuadros 1 y 2 para ambas especies, *Clethra mexicana* tuvo en promedio 61.1% de humedad (Cuadro 1) y *Alnus arguta* 52.58% (Cuadro 2).

By expressing the model (1) in linear form, by logarithmic transformations of involved variables and adjusting using data from Y and X as dependent and independent variable, respectively, it is obtained model 2 expressed by equation 2 (Baskerville, 1972; Acosta *et al.*, 2002).

$$\ln(Y) = \ln(b) + k \ln(X) \quad 2)$$

Where: Y, X, b and k have the same meaning as in equation (1), $\ln(Y)$, $\ln(b)$ and $\ln(X)$ are the natural logarithms of Y, b and X, respectively.

RESULTS

Estimating biomass and carbon

The 15 trees that were sampled for *Clethra mexicana* had a normal diameter (ND) ranging from 5.3 to 23.3 cm, being the largest diameters the most common of the species in the region where the study was conducted. Regarding to *Alnus arguta*, larger trees were found ranging from 6.2 to 45 cm. These results are shown in Tables 1 and 2 for both species, *Clethra mexicana* had a moisture average of 61.1% (Table 1) and *Alnus arguta* 52.58% (Table 2).

Cuadro 1. Características de los árboles muestreados para *Clethra mexicana*.

Table 1. Characteristics of trees sampled for *Clethra mexicana*.

Árbol	DN (cm)	Peso fresco (kg)	Biomasa (kg)	(%) Humedad
1	5.3	29.75	11.81	60.3
2	10.2	81.6	31.8	61.03
3	11.3	67.49	26.29	61.05
4	12.8	115.74	44.79	61.3
5	14	155.85	60.65	61.08
6	14.4	148.84	57.59	61.31
7	14.8	155.92	60.65	61.1
8	15	162.03	62.91	61.17
9	15.5	170.79	66.58	61.02
10	16.3	210.4	81.29	61.36
11	16.8	168.33	64.77	61.52
12	17	181.54	70.22	61.32
13	19.4	313.66	121.04	61.41
14	20	288.23	111.98	61.15
15	23.3	440.74	170.14	61.4
\bar{X}				61.17

Cuadro 2. Características de los árboles muestreados para *Alnus arguta*.

Table 2. Characteristics of trees sampled for *Alnus arguta*.

Árbol	DN (cm)	Peso fresco (kg)	Biomasa (kg)	(%) Humedad
1	6.2	35.41	18.55	52.38
2	11.3	73.58	34.91	52.56
3	11.7	64.63	31	52.04
4	13.5	113.09	53.41	52.77
5	13.7	104.23	50.08	51.95
6	14.8	150.88	72.74	51.79
7	15.8	182.43	88.03	51.74
8	17.2	210.92	100.38	52.41
9	18.8	286.39	136.36	52.39
10	19.5	338.25	158.51	53.14
11	20.2	356.36	167.17	53.09
12	20.5	315.74	149.87	52.53
13	21.1	394.19	186.84	52.6
14	21.5	322.56	155.47	51.8
15	24.1	449.02	209.75	53.29
16	24.6	553.07	259.43	53.09
17	25	492.16	230.69	53.13
18	26.5	687.94	327.89	52.34
19	28.7	871.38	411.96	52.72
20	30.6	900.27	422.7	53.05
21	40	1717.82	804.31	53.18
22	45	2138.38	1016.26	52.48
\bar{X}				52.58

En el Cuadro 3 se presenta el resumen de los porcentajes en biomasa que representa cada componente de la especie *Clethra mexicana*. El porcentaje de cada componente varió dependiendo del diámetro normal. La mayor cantidad de biomasa se encontró en el fuste, que presentó 45.15% en promedio. El segundo componente con mayor cantidad de biomasa fue en las ramas con 36.24% del total. El resto de la biomasa del árbol está representada por las hojas con 18.61%.

Para *Alnus arguta* el componente con mayor cantidad de biomasa fue también el fuste con 60.63% de la biomasa total, siendo este valor mayor en comparación a la especie de *Clethra mexicana*; el segundo componente con mayor cantidad de biomasa fueron las ramas con 27.36% y las hojas solamente representaron 12.1% de la biomasa total (Cuadro 4).

The Table 3 presents the summary of biomass percentages that each component of *Clethra mexicana* species represents. The percentage of each component varied depending on normal diameter. Most biomass was found in the trunk, which presented a 45.15% average. Second component with highest amount of biomass were branches with 36.24% of the total. The rest of tree's biomass is represented by the leaves with 18.61%.

Cuadro 3. Porcentajes de biomasa por componente en *Clethra mexicana*.

Table 3. Percentages of biomass per component in *Clethra mexicana*.

Árbol	DN (cm)	Biomasa (kg)	Fuste (%)	Ramas (%)	Hojas (%)
1	5.3	11.81	40.31	34.76	24.93
2	10.2	31.8	39.43	36.79	23.77
3	11.3	26.29	41.92	34.12	23.96
4	12.8	44.79	50.9	32.22	16.88
5	14	60.65	34.46	48.23	17.31
6	14.4	57.59	48.17	37.25	14.59
7	14.8	60.65	34.46	48.23	17.31
8	15	62.91	48.93	30.38	20.7
9	15.5	66.58	31.96	50.38	17.66
10	16.3	81.29	55.16	28.31	16.53
11	16.8	64.77	54.56	33.12	12.32
12	17	70.22	49.25	32.21	18.54
13	19.4	121.04	54.94	27.71	17.35
14	20	111.98	44.12	34.13	21.75
15	23.3	170.14	48.69	35.76	15.55
\bar{X}			45.15	36.24	18.61

For *Alnus arguta* the component with greater biomass amount was also the trunk with 60.63% of total biomass, this value was higher than the one of *Clethra mexicana*; second component with most biomass were branches with 27.36% and leaves only accounted for 12.1% of total biomass (Table 4).

With information on biomass, the model represented by equation 1 for each species was adjusted to obtain their b and k parameters. The resulting model and the corresponding curve for *Clethra mexicana* are shown in Figure 3, in which a coefficient of determination was obtained with a $R^2=0.946$, therefore the model to measure the biomass in this species is: $B=0.4632DN^{1.8168}$.

Cuadro 4. Porcentajes de biomasa por componente en *Alnus arguta*.

Table 4. Percentage of biomass per component in *Alnus arguta*.

Árbol	DN (cm)	Biomasa (kg)	Fuste (%)	Ramas (%)	Hojas (%)
1	6.2	18.55	67.34	22.54	10.12
2	11.3	34.91	52.53	39.31	8.16
3	11.7	31	41.55	47.42	11.03
4	13.5	53.41	69.59	22.94	7.47
5	13.7	50.08	54.39	27.4	18.21
6	14.8	72.74	44.69	40.42	14.89
7	15.8	88.03	47.92	33.95	18.13
8	17.2	100.38	62.13	21.97	15.9
9	18.8	136.36	62.5	21.2	16.3
10	19.5	158.51	64.52	29.37	6.11
11	20.2	167.17	64.65	27.85	7.5
12	20.5	149.87	60.86	25.83	13.31
13	21.1	186.84	57.99	30.42	11.59
14	21.5	155.47	55.15	23.95	20.9
15	24.1	209.75	74.96	14.72	10.33
16	24.6	259.43	71.14	17	11.86
17	25	230.69	70.15	19.97	9.88
18	26.5	327.89	52.19	35.12	12.69
19	28.7	411.96	59.79	29.97	10.24
20	30.6	422.7	64.85	24.23	10.92
21	40	804.31	78.45	11.7	9.85
22	45	1016.26	56.52	34.62	8.86
\bar{X}			60.63	27.36	12.01

Con la información de biomasa, se procedió a ajustar el modelo representado por la ecuación 1 para cada especie y obtener sus parámetros b y k. El modelo resultante y curva respectiva para *Clethra mexicana* se muestra en la Figura 3, en la cual se obtuvo un coeficiente de determinación con una $R^2=0.946$; por lo tanto el modelo para medir la biomasa en esta especie es: $B=0.4632DN^{1.8168}$.

En el modelo anterior, B representa la cantidad de biomasa en kg y DN es el diámetro en cm, medido a la altura de 1.3 m.

En la Figura 4 se muestra tanto la ecuación como la distribución de observaciones y la curva generada para *Alnus arguta*. De acuerdo a la muestra obtenida y al modelo usado, el coeficiente de determinación fue $R^2=0.9677$. Por lo tanto, se considera que el número de observaciones utilizadas es suficiente, para obtener

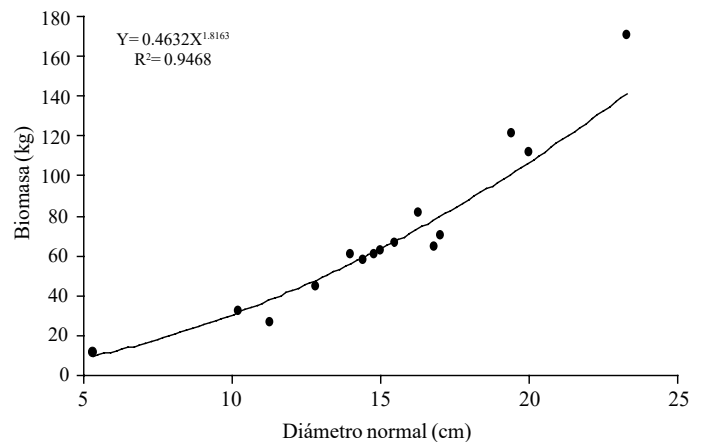


Figura 3. Dispersión de los valores observados, línea de tendencia generada y modelo ajustado para medir la biomasa de *Clethra mexicana*.

Figure 3. Dispersion of observed values, generated trend line and adjusted model for measuring biomass of *Clethra mexicana*.

In the previous model, B is the amount of biomass in kg and N D is the diameter in cm, measured at 1.3 m height.

The Figure 4 shows both the equation and distribution of observations and generated curve for *Alnus arguta*. According to obtained sample and the model used, coefficient of determination was $R^2=0.9677$. Therefore, it is considered that the number of observations used is sufficient to obtain an adequate estimate of biomass per individual in this species, depending on the diameter size. Consequently, the model to measure this species biomass is: $B=0.1649DN^{2.2755}$, where B represents biomass amount in kg and ND is diameter in centimeters, measured at 1.3 m high.

The most significant factors in determining whether a model is adequate or not, from a mathematical point of view are: that observations number and size distribution of samples of the model used is adequate according to the samples tendency and that the value of the coefficient of determination varies from 0 to 1 ($0 \leq R^2 \leq 1$) is as close to 1 as possible.

Carbon

Out of the 15 trees of *Clethra mexicana* selected to determine biomass, four of them were randomly selected for carbon measuring, from each tree three slices were selected, a sample of branches and a sample of leaves, this material was carried to the laboratory to determine carbon percentage. Out of the 22 trees of *Alnus arguta* selected to determine biomass,

una estimación adecuada de la biomasa por individuo en esta especie, en función del tamaño de diámetro. En consecuencia, el modelo para medir la biomasa en esta especie es: $B = 0.1649DN^{2.2755}$, donde B representa la cantidad de biomasa en kg y DN es el diámetro en cm, medido a la altura de 1.3 m.

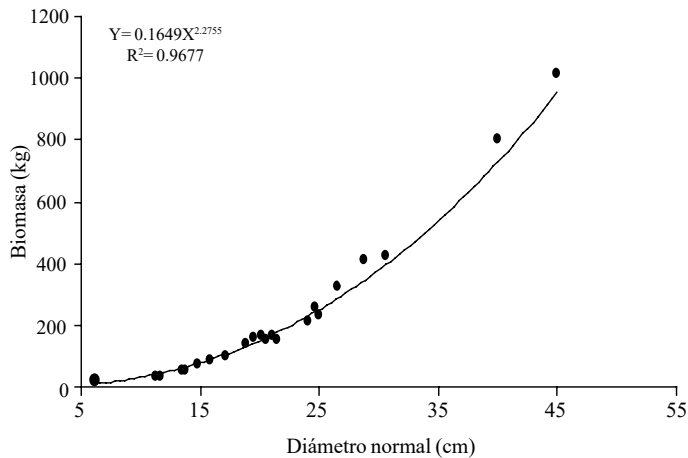


Figura 4. Dispersión de los valores observados, línea de tendencia generada y modelo ajustado para estimar la biomasa en *Alnus arguta*.

Figure 4. Dispersion of observed values, generated trend line and adjusted model to estimate biomass in *Alnus arguta*.

Los factores más sobresalientes para determinar si un modelo es adecuado o no, desde un punto de vista matemático son: que el número de las observaciones y la distribución de tamaños de las muestras del modelo utilizado sea el adecuado de acuerdo a la tendencia de las muestras y que el valor del coeficiente de determinación cuyo valor varía de 0 a 1 ($0 \leq R^2 \leq 1$) sea lo más cercano a 1.

Carbono

De los 15 árboles de *Clethra mexicana* seleccionados para determinar la biomasa, se seleccionaron al azar cuatro árboles para medir el carbono, de cada árbol se seleccionaron tres rodajas, una muestra de ramas y una muestra de follaje, este material se llevó al laboratorio y ahí se determinó el porcentaje de carbono. De los 22 árboles de *Alnus arguta* seleccionados para determinar la biomasa, se seleccionaron al azar cinco árboles para medir el carbono de ellos, de cada árbol se seleccionaron tres rodajas, una muestra de ramas y una muestra de follaje, igualmente este material se llevó al laboratorio para su análisis y determinar el porcentaje de carbono de cada uno.

five of them were randomly selected to measure carbon, from each tree three slices were selected, a sample of branches and a foliage sample, this material also was took to the laboratory for analysis and determination of the carbon percentage.

To measure the carbon in each slice, a subsample was obtained of approximately 25 grams, subsamples were obtained so that they contained the same proportion of heartwood, sapwood and bark, to achieve that, the slice was cut as shown in Figure 5. Regarding to the branches samples, a fraction was obtained of them and a fraction of leaves, in an amount similar to that of the slices, about 25 g. Those samples portions were splintered, grounded and mixed separately, and then it was determined the carbon content in each, at the Laboratory for Soil Fertility and Environmental Chemistry of the Postgraduate College of Agricultural Science, Montecillo Campus, using the carbon analyzer TOC-Vcsh Shimadzu 5050 SSM.



Figura 5. Toma de submuestra para la estimación de carbono en cada rodaja.

Figure 5. Subsampling for carbon estimation in each slice.

In order to determine the carbon content of the selected trees, first the average of carbon percentage obtained from subsamples was acquired and then linked the carbon proportion in each tree component to biomass information of them (trunk, branches and foliage) previously obtained. With this average factor, it was determined the carbon content in each component biomass, using the following expression:

$$C = BTA * FC$$

Where: C= carbon content; BTA= total biomass of each tree component (kg); and FC= carbon factor determined directly in the laboratory.

Para medir el carbono de cada rodaja, se obtuvo una submuestra de una porción de aproximadamente 25 gramos, las submuestras se obtuvieron de tal forma que contuvieran la misma proporción de duramen, albura y corteza, para lograr esto la rodaja se cortó como se muestra en la Figura 5. Respecto a las muestras de ramas, se obtuvo una fracción de ellas así como de las hojas de una cantidad similar a la de las rodajas, o sea aproximadamente 25 g. Tales porciones de muestras se astillaron, molieron y mezclaron por separado, posteriormente se determinó el contenido de carbono a cada una en el Laboratorio de Fertilidad de Suelos y Química Ambiental del Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, Campus Montecillo, empleando para ello un analizador de carbono TOC-Vcsn Shimadzu 5050 SSM.

Para determinar el contenido de carbono de los árboles seleccionados, primero se obtuvo el promedio de los porcentajes del contenido de carbono obtenido de las submuestras y posteriormente se ligó el porcentaje de carbono de cada componente del árbol, a la información de biomasa de estos (fuste, ramas y follaje) obtenida previamente. Con este factor promedio se determinó el contenido de carbono en la biomasa de cada componente mediante la utilización de la siguiente expresión:

$$C = BTA * FC$$

Donde: C= contenido de carbono; BTA= Biomasa total del componente de cada árbol (kg); y FC= factor de carbono determinado directamente en el laboratorio.

El contenido del carbono de la biomasa total del árbol fue la suma del carbono del fuste, ramas y follaje de cada árbol y para la determinación de la ecuación alométrica para estimar el carbono, se empleó el modelo alométrico correlacionando el contenido de carbono y el diámetro normal de cada árbol.

Con la información del carbono total por árbol para ambas especies, se procedió a hacer el ajuste por mínimos cuadrados, utilizando el mismo modelo potencial de la Ecuación 1. En la Figura 6 se muestran los resultados del ajuste del modelo para *Clethra mexicana*, en donde se puede ver que el modelo ajustado fue: $C = 0.2249DN^{1.8168}$, con un coeficiente de determinación $R^2 = 0.9463$. En donde C es la cantidad de carbono en kg y DN es el diámetro normal en cm medido a 1.3 m del suelo. Como se puede observar, el valor al que está elevada la "X" (1.8168), es el

Carbon content of total tree biomass was the sum of carbon in the trunk, branches and foliage of each tree and to determine the allometric equation for estimating carbon, an allometric model was used for correlating the carbon content and normal diameter of each tree.

With the information of total carbon per tree for both species, the least squares adjustment was made, using the same potential model of Equation 1. The Figure 6 shows the results of the model adjustment for *Clethra mexicana*, it is notable that the adjusted model was: $C = 0.2249DN^{1.8168}$ with a coefficient of determination $R^2 = 0.9463$. Where C is the carbon amount in kg and ND is the normal diameter in cm, measured at 1.3 m above ground. As noted, the value that raised the "X" (1.8168) is the same as the one obtained to adjust the biomass model. The value that do changes is the intercept value, in this case is 0.2249.

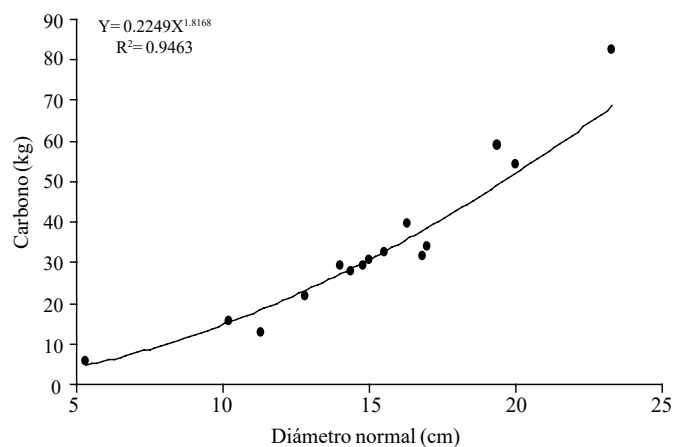


Figura 6. Dispersión de los valores observados, línea de tendencia generada y modelo ajustado para estimar el carbono de *Clethra mexicana*.

Figure 6. Dispersion of observed values, trend line generated and adjusted model to estimate carbon in *Clethra mexicana*.

In the case of *Alnus arguta*, the same procedure was followed. The Figure 7 shows the results of the model fit for *Alnus arguta*. Adjusted model was: $C = 0.0809DN^{2.2782}$, with a coefficient of determination $R^2 = 0.968$, where C is the carbon amount in kg and ND is normal diameter in cm measured at 1.3 m above ground. As seen, the value that raised the "X" (2.2782) is very similar to that obtained to fit biomass model, the fact that is not exactly equal is due to the concentration of carbon in each component (trunk, branches and leaves) may vary, otherwise, the value would be the same. Value that changes is the intercept, in this case is 0.0809. This value is

mismo que el obtenido para ajustar el modelo de la biomasa. El valor que sí cambia es el valor de la interceptada, en este caso es 0.2249.

En el caso de *Alnus arguta* se siguió el mismo procedimiento. En la Figura 7 se muestran los resultados del ajuste del modelo para *Alnus arguta*. El modelo ajustado fue: $C = 0.0809DN^{2.2782}$, con un coeficiente de determinación $R^2 = 0.968$, donde C es la cantidad de carbono en kg y DN es el diámetro normal en cm medido a 1.3 m del suelo. Como se puede observar, el valor al que está elevada la "X" (2.2782), es muy similar al obtenido para ajustar el modelo de la biomasa, el hecho de que no sean exactamente iguales es debido a que la concentración de carbono en cada componente (fuste, ramas y hojas) puede variar, de otra manera, el valor debería ser el mismo. El valor que sí cambia es la interceptada, en este caso es 0.0809. Este valor es aún más congruente con la realidad, ya que un árbol que tiene "cero" de DN, aunque lógicamente un árbol con tales características "no existe", debería tener "cero" de carbono.

Finalmente, se puede observar que el modelo utilizado para ambas especies, presenta un coeficiente de determinación por arriba de 0.94, lo que indica un ajuste adecuado para la base de datos que se utilizó y para el rango de variación de los tamaños de los árboles que se midieron; por lo tanto, es confiable utilizar la variable diámetro normal (DN), para estimar el contenido de biomasa o carbono en árboles de *Clethra mexicana* y *Alnus arguta*.

CONCLUSIONES

En árboles de *Clethra mexicana* la mayor parte de la biomasa se ubica en el fuste (45.15%), mientras que en ramas se concentra 36.24% en follaje 18.6%: Para *Alnus arguta* el fuste 60.6%, mientras que en ramas se concentra 27.4% y en follaje 12%.

Los modelos para estimar biomasa en *Alnus arguta* ($B = 0.1649 DN^{2.2755}$) y *Clethra mexicana* ($B = 0.4632 DN^{1.8168}$), se ajustaron con valores altos del coeficiente de determinación $R^2 = 0.9677$ y $R^2 = 0.9463$ respectivamente; lo que indica un nivel de confianza alto en la utilización de estos modelos para la estimación de biomasa en estas especies.

more consistent with reality, since a tree that has "zero" of ND, but obviously a tree with such characteristics "does not exist", should have also "zero" of carbon.

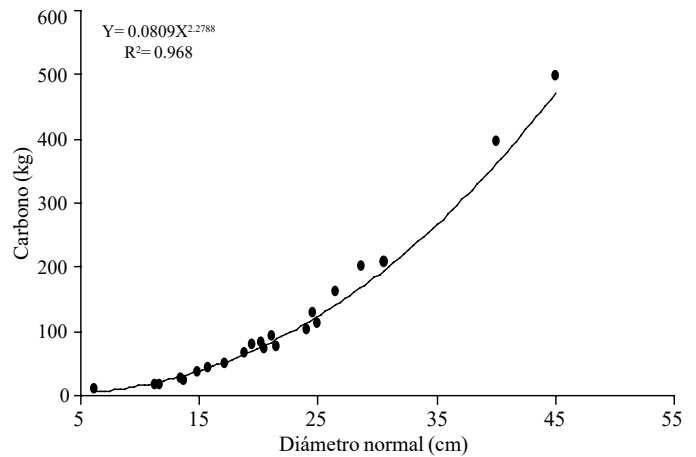


Figura 7. Dispersión de los valores observados, línea de tendencia generada y modelo ajustado para estimar el carbono en *Alnus arguta*.

Figure 7. Dispersion of observed values, trend line generated and adjusted model to estimate carbon in *Alnus arguta*.

Finally, it can be observed that the model used for both species, has a coefficient of determination above 0.94, indicating an appropriate setting for the database that was used and for the variation range of sizes of trees that were measured, therefore, is reliable to use the variable normal diameter (ND), to estimate the biomass or carbon content in trees of *Clethra mexicana* and *Alnus arguta*.

CONCLUSIONS

In *Clethra mexicana* trees, most of the biomass is located in the trunk (45.15%), while branches concentrate a 36.24%, on foliage a 18.6%. For *Alnus arguta* trunk represent a 60.6%, while branches concentrate a 27.4% and foliage a 12%.

The models for estimating biomass in *Alnus arguta* ($B = 0.1649 DN^{2.2755}$) and *Clethra mexicana* ($B = 0.4632 DN^{1.8168}$), were adjusted with high values of coefficient of determination $R^2 = 0.9677$ and $R^2 = 0.9463$ respectively, indicating a high confidence level in using these models for estimating biomass in these species.

La misma aseveración se puede dar para los modelos para estimar carbono en *Alnus arguta* ($C= 0.0809DN^{2.2782}$) y *Clethra mexicana* ($C= 0.2249DN^{1.8168}$), que también se ajustaron con valores altos del coeficiente de determinación $R^2= 0.968$ y $R^2= 0.946$ respectivamente.

The same assertion can be given in models to estimate carbon in *Alnus arguta* ($C= 0.0809DN^{2.2782}$) and *Clethra mexicana* ($C= 0.2249DN^{1.8168}$), which were also adjusted with high values of coefficient of determination $R^2= 0.968$ and $R^2= 0.946$, respectively.

LITERATURA CITADA

End of the English version



- Acosta, M. M.; Vargas, H. J.; Velásquez, M. A. y Etchevers, B. J. D. 2002. Estimación de la biomasa aérea mediante el uso de relaciones alométricas en seis especies arbóreas en Oaxaca, México. *Agrociencia*. 36:725-736.
- Acosta, M. M. 2003. Diseño y aplicación de un método para medir los almacenes de carbono en sistemas con vegetación forestal y agrícolas de ladera en México. Tesis Doctoral. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 99 p.
- Avendaño, H. D. M. 2006. Determinación de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Abies religiosa* (H. B. K.) Schl. *et* Cham., en Tlaxcala, México. Tesis Profesional. División de Ciencias Forestales. UACH. Chapingo, Texcoco, Estado de México. 66 p.
- Baskerville, G. L. 1972. Use of logarithmic regression in the estimation of plant biomass. *Can. J. For. Res.* 2(1):49-53.
- Bonilla, P. E. 2009. Uso de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Pinus montezumae* Lamb. Tesis Profesional. División de Ciencias Forestales. UACH. Chapingo, Texcoco, Estado de México. 62 p.
- Brown, S.; Gillespie, A. J. R. and Lugo, E. 1989. Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. *For. Sci.* 35:881-902.
- Díaz, F. R.; Acosta, M. M.; Carrillo, A. F.; Buendía, R. E.; Flores, A. E. y 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.
- Food and Agriculture Organization (FAO). 2000. Sistemas de uso de la tierra en los trópicos húmedos y la emisión y secuestro de CO₂. Informe sobre recursos mundiales de suelos. Núm. 88. Roma, Italia.
- 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. Colegio de Postgraduados. Tesis Doctorado en Ciencias. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 194 p.
- Houghton, J. T.; Jenkins, G. J. and Ephraums, J. J. 1990. *Climate change: the IPCC Scientific Assessment*, Cambridge University Press, Cambridge. 410 p.
- Huxley, J. S. 1932. *Problems of Relative Growth*. The Dial Press, New York. 276 p.
- IPCC. 1995. *The supplementary report to the IPCC scientific assesment*. Cambridge University Press. Cambridge. UK. 878 p.
- IPCC. 2007. *Climate change 2007: the physical science basis. Contribution of working group i to the fourth assessmente reporto f the IPCC*. Solomon, S.; Qin, D.; Manning, M.; Chen, Z.; Marquis, M.; Avery, K. B.; Tignor, M. and Miller, H. L. (eds.) Cambridge University Press, Cambridge U. K. and New York, USA. 996 p.
- Juárez, B. J. E. 2008. Uso de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono de *Alnus jorullensis* H. B. K. ssp. *jorullensis* en bosques mezclados de Tequexquinahuac, Texcoco, Estado de México. Tesis profesional. División de Ciencias Forestales. UACH. Chapingo, Texcoco, Estado México. 64 p.
- López, C. R.; García, D. J. C. y Colín, C. A. 2001. Contaminantes orgánicos e inorgánicos en la atmósfera. *In: Rico, M. F. G.; López, C. R. y Jaimes, F. E. (Comps.). Daños a la salud por contaminación atmosférica*. UAEM, IMSS, Toluca, México. 82-97 pp.

- Ortega, F. y Castillo, G. 1996. El bosque mesófilo de montaña y su importancia forestal. *Ciencias*. 43:32-39.
- Pagiola, S.; Bishop, J. y Landell, M. N. 2003. La venta de servicios ambientales forestales. Mecanismos basados en el mercado para la conservación y el desarrollo. Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT). D. F., México. 23-42 pp.
- Pastor, J.; Aber, J. D. and Melillo, J. M. 1984. Biomass prediction using generalized allometric regressions for some northeast tree species. *For. Ecol. Manage.* 7:265-274.
- Rzedowski, J. 1996. Análisis preliminar de la flora vascular de los bosques mesófilos de montaña de México. *Acta Bot. Mex.* 35:25-4.
- Ter-Mikaelian and Korzukhin. 1997. Biomasa equation for sixto-five North American tree species. *For. Ecol. Manage.* 97:1-24.