

Estimación de biomasa y carbono en dos especies arbóreas en La Sierra Nevada, México*

Estimation of biomass and carbon in two arboreal species in the Sierra Nevada, Mexico

Fernando Carrillo Anzúres¹, Miguel Acosta Mireles^{1§}, Eulogio Flores Ayala¹, Juana Eliud Juárez Bravo² y Eunice Bonilla Padilla²

¹Campo Experimental Valle de México-INIFAP. Carretera Los Reyes-Texcoco, km13.5. Coatlinchán, Texcoco, Estado de México. C. P. 56250. Tel: 01 595 9212681. (carrillo.fernando@inifap.gob.mx; flores.eulogio@inifap.gob.mx). ²División de Ciencias Forestales-Universidad Autónoma Chapingo. (eliud_bravo@hotmail.com; bp_ecinue@hotmail.com). [§]Autor para correspondencia: acosta.miguel@inifap.gob.mx.

Resumen

Se generaron dos ecuaciones para determinar biomasa y carbono en *Pinus montezumae* y *Alnus jorullensis* H. B. K. ssp. *zorullensis* especies de importancia ecológica de los bosques de la Sierra Nevada en el Estado de México. Las ecuaciones que se determinaron son de la forma $Y = bX^k$, donde Y es el contenido de biomasa o de carbono (kg) y X el diámetro normal (DN) en cm. Para estimar los valores b y k del modelo para cada especie, se utilizaron 15 árboles de *Pinus montezumae* y 16 de *Alnus jorullensis* ssp. *zorullensis*. En *Pinus montezumae* el mayor porcentaje de biomasa 77.07 % se estimó en el fuste incluido el tocón, mientras que en las ramas y el follaje presentó 8.45 y 9.01%, respectivamente, con la biomasa y el DN de los árboles se obtuvo el ajuste de los parámetros b y k del modelo propuesto ($B = 0.013 \text{ DN}^{3.0462}$) con una $R^2 = 0.9909$. Para el caso de *Alnus jorullensis* ssp. *zorullensis* de la misma forma el mayor porcentaje de biomasa 63.77% se estimó en el fuste incluido el tocón, mientras que en las ramas y el follaje presentó 20.99 y 11.46%, respectivamente; con la biomasa y el DN de los árboles se obtuvo el ajuste de los parámetros b y k del modelo propuesto ($B = 0.0195 \text{ DN}^{2.7519}$) con una $R^2 = 0.9311$. Después de analizar el contenido de carbono en las muestra de cada especie, se ajustaron las ecuaciones para *Pinus montezumae* $C = 0.0065 \text{ DN}^{3.0484}$, con una $R^2 = 0.9914$, mientras que para *Alnus jorullensis* ssp. *zorullensis* $C = 0.009 \text{ DN}^{2.7522}$ con una $R^2 = 0.9313$.

Abstract

Two equations were generated for determining the biomass and carbon in *Pinus montezumae* and *Alnus jorullensis* HBK ssp. *zorullensis* of ecological important species of the forests of the Sierra Nevada in the State of Mexico. The equations were determined are of the form $Y = bX^k$, where Y is the biomass content or carbon (kg) and X normal diameter (DN) in cm. For estimating the model and k values for each species, *Pinus montezumae* 15 trees and 16 *Alnus jorullensis* ssp. *zorullensis* were used. In *Pinus montezumae* the highest percentage of biomass was estimated at 77.07% including the stem stump, while the branches and foliage showed 8.45 and 9.01%, respectively, biomass and DN trees the adjustment is obtained by k parameters of the proposed model ($B = 0.013 \text{ DN}^{3.0462}$) with $R^2 = 0.9909$. For the case of *Alnus jorullensis* ssp. *zorullensis* the same as the highest percentage of biomass was estimated at 63.77% including the stem stump, while the branches and foliage showed 20.99 and 11.46%, respectively; with biomass and tree DN setting the parameters of the proposed model by k ($B = 0.0195 \text{ DN}^{2.7519}$) with $R^2 = 0.9311$ was obtained. After analyzing the carbon content in the sample of each species, the equations for *Pinus montezumae* $C = 0.0065 \text{ DN}^{3.0484}$, with $R^2 = 0.9914$, while for *Alnus jorullensis* ssp. *zorullensis* was adjusted. $C = 0.009 \text{ DN}^{2.7522}$ con an $R^2 = 0.9313$.

* Recibido: enero de 2014
Aceptado: abril de 2014

Palabras clave: *Alnus jorullensis* ssp., *zorullensis*, *Pinus montezumae*, almacén de carbono, ecuaciones alométricas, Sierra Nevada.

Keywords: *Alnus jorullensis* ssp., *zorullensis*, *Pinus montezumae*, store carbon, allometric equations, Sierra Nevada.

Introducción

Uno de los temas más controversiales que mueve al mundo es la cuestión sobre el deterioro del ambiente, específicamente aquellos puntos que involucran a la contaminación atmosférica la cual 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). Uno de los mayores desequilibrios ecológicos que la tierra experimenta actualmente es el llamado cambio climático global debido precisamente a la contaminación por el aumento constante de los gases que causan el efecto invernadero, 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 gases de efecto invernadero (GEI), tales como el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄), el óxido de nitrógeno (N₂O) 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. (Woods, 2005; Lindner, 2010). También estudios recientes reportan la migración de vegetación, atribuibles al calentamiento en latitudes septentrionales (Xu, 2013).

Debido a 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 el año de 1997 cuando se tomaron medidas más particulares para frenar el acelerado cambio climático, mediante la creación del Protocolo de Kyoto (IPCC, 1995), el cual incluye acuerdos flexibles de alcance internacional para tratar de mitigar o disminuir las emisiones de los GEI, tal situación pretende realizarse mediante un acuerdo denominado mecanismo

Introduction

One of the most controversial topics that moves the world is concerned about the deterioration of the environment, specifically those involving points to air pollution which is defined as the presence of matter or energy in any of its physical forms and states that, incorporated into the air, alter or modify the composition and natural condition, causing an ecological imbalance (López *et al.*, 2001). One of the biggest ecological imbalances that the earth is currently experiencing is the so-called global climate change precisely because of contamination by the steady increase of gases that cause the greenhouse effect, which have increased since the industrial era.

Although humanity has been on Earth for only a small part of its existence, has caused disruption on the atmosphere is unmatched compared to alterations caused by natural phenomena. The constant emissions of greenhouse gases (GHG) such as carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄), nitrous oxide (N₂O) and chlorofluorocarbons (CFCs), among others (Houghton *et al.* 1990); are triggering a series of environmental changes from the industrial era. The main effects that result in an overall increase in temperature on earth are melting ice caps, rising sea levels and the presence of more extreme natural events such as hurricanes and droughts, the presence of new diseases, pests, etc. (Woods, 2005; Lindner, 2010). Recent studies also reported the migration of vegetation attributable to warming in northern latitudes (Xu, 2013).

Because climate change affects all nations, there have been several meetings where we have tried to find solutions to this problem. It was until 1997 when more specific measures were taken to curb the rapid climate change through the creation of the Kyoto Protocol (IPCC, 1995), which includes flexible arrangements at the international level to try to mitigate or reduce emissions GHGs, such a situation by agreement purports to be called clean development mechanism (CDM), which is part of the Protocol; in which a section that mentions carbon storage as a mitigation measure, the reverse situation exists GHG emissions; this mechanism allows rich countries undertake forest biodiversity carbon capture that emit the most polluting countries, this way a trade agreement establishing payment for environmental services, where

de desarrollo limpio (MDL) que forma parte del mismo Protocolo; en el cual existe un apartado que hace mención del almacenamiento de carbono como medida de mitigación, 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 ésta 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).

El gobierno de México, inmerso en esta dinámica internacional, publica en 2013, la Estrategia Nacional de Cambio Climático, como respuesta a la Ley de Cambio Climático publicada el año anterior. En el Eje M4 se reconoce que los bosques son reservorios importantes de carbono y plantea líneas de acción clave a desarrollarse dentro del sector agropecuario y forestal con la finalidad de impulsar mejores prácticas agropecuarias y forestales que reduzcan las emisiones, (SEMARNAT, 2013).

Debido a la gran masa forestal que posee la vegetación forestal, 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 sintetizando hidratos de carbono a partir del agua y CO₂, se acumula el carbono en la vegetación, en sus diferentes componentes y estratos. En la vegetación arbórea este se acumula principalmente en el fuste, ramas, hojas y raíces, constituyendo con esto un almacén de carbono de gran importancia.

Para estimar la cantidad de carbono que un sistema forestal contiene o almacena, frecuentemente es necesario realizar un análisis destructivo (Brown *et al.*, 1989; Ketterings *et al.* 2001) o bien por medio de estimaciones indirectas lo que se conoce como modelaje para realizar las inferencias estadísticas respectivas. Para medir el carbono por medio de modelaje es necesario contar con funciones matemáticas que se denominan ecuaciones alométricas, relación que es muy común entre las partes que constituyen a un individuo vivo (Huxley, 1932); y en general en ecosistemas forestales. Este procedimiento permite la estimación, i. e. biomasa de los árboles, a partir de mediciones de las variables más accesibles, como el diámetro a la altura del pecho, altura o radio de la copa. En la estimación de biomasa, se recomienda la generación de ecuaciones para cada especie dado que en las regresiones alométricas, el ajuste estadístico esta dado para el sitio

polluting nations pay to pollute less: kidnapping carbon, water harvesting, conservation of biodiversity, among others (Pagiola *et al.*, 2003).

The government of Mexico, immersed in this international dynamics, published in 2013, the National Climate Change Strategy in response to the Climate Change Bill published last year. In Axis M4 recognizes that forests are important carbon reservoirs and raises key action lines to be developed within the agricultural and forestry sector in order to promote better agricultural and forestry practices that reduce emissions (SEMARNAT, 2013).

Due to the large mass that a forest has, vegetation is considered as a carbon store of great magnitude. Through the process of photosynthesis by both the trees and other plants synthesize carbohydrates from water and CO₂, carbon is stored in vegetation, in its different components and layers. In timberline cumula this is mainly in the stem, branches, leaves and roots, forming with it a storehouse of vital carbon.

In order to estimate the amount of carbon that a forest system contains or stores, it is often necessary to perform a destructive analysis (Brown *et al.*, 1989; Ketterings *et al.*, 2001) or through indirect estimates of what is known as modeling for respective statistical inferences. To measure the carbon through modeling is needed mathematical functions that are called allometric equations, a relationship that is very common among the constituent parts of a living individual (Huxley, 1932); and generally in forest ecosystems. This procedure allows estimation, i.e. tree biomass, from measurements of the most accessible variables such as diameter at breast height, height, or radius of the cup. In estimating biomass generating equations for each species as in allometric regressions, statistical adjustment is given for the specific site for which they were developed (Cutini, 2013) is recommended.

Allometric relationships have been used in several natural forest tree species in cool temperate to determine both biomass and carbon for example *Pinus patula* Schl. et Cham (Díaz *et al.*, 2007), *Abies religiosa* (HBK) Schl. et Cham., (Avendaño, 2006), or reforested with *Pinus patula* Schl Cham et. areas. (Pacheco, 2011) and *Cupressus lindleyi* Klotzsch ex Ende (Vigil, 2010) by these equations biomass and total aboveground carbon is estimated from the normal diameter; also have generated allometric relationships to other ecosystems such as tropical deciduous forest with *Quercus magnoliaefolia* Nee (Gómez, 2008), or secondary neotropical woodland vegetation; *Ochroma pyramidale* (Cav.

específico para el que fueron desarrolladas (Cutini, 2013). Las relaciones alométricas han sido utilizadas en varias especies forestales en bosque natural de clima templado frío para determinar tanto la biomasa como el carbono por ejemplo para *Pinus patula* Schl. et Cham (Díaz *et al.*, 2007), *Abies religiosa* (H. B. K.) Schl. et Cham. (Avendaño, 2006), o en áreas reforestadas con *Pinus patula* Schl. et Cham. (Pacheco, 2011) y *Cupressus lindleyi* Klotzsch ex Ende, (Vigil, 2010) mediante estas ecuaciones se estima la biomasa y el carbono aéreo total, a partir del diámetro normal; también se han generado relaciones alométricas para otros ecosistemas como la selva baja caducifolia con *Quercus magnoliaefolia* Née (Gómez, 2008), o para arbolado de vegetación secundaria neotropical; *Ochroma pyramidale* (Cav. ex Lam.) Urb., *Guazuma ulmifolia* Lam., *Inga vera* Willd. y *Trichospermum mexicanum* (D. C.), especies que secuestran carbono y son especies potenciales para otros usos (Douterlungne, 2013); incluso en algunas especies del mismo bosque mesófilo de montaña en Oaxaca, como *Clethra hartwegii* Britt., *Rapanea myricoides* (Schl.) Lundell., *Alnus glabrata* Fernald. y *Liquidambar macrophylla* Oerst (Acosta, 2002). Para este tipo de estudios, 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; Pilli, 2006).

El objetivo del estudio fue determinar mediante el uso de ecuaciones alométricas la cantidad de biomasa y carbono en árboles de *Pinus montezumae* Lamb. y *Alnus jorullensis* ssp. *jorullensis*, especies de gran importancia ecológica y económica en la Sierra Nevada.

Material y métodos

La investigación se llevó a cabo en el ejido de Tequexquahuac, localizado dentro del municipio de Texcoco Estado de México en la zona montañosa que pertenece a la Sierra Nevada la cual es una cordillera de 70 km de longitud que va del volcán Popocatepetl en el sur, a los lomeríos que descienden del Monte Tlaloc al norte. En este lugar se encuentra una zona representativa de bosque de gran magnitud de pino-encino. El bosque de este ejido se encuentra bajo manejo silvícola y bajo aprovechamiento forestal en donde los principales productos de comercialización son la madera del pino y encino.

ex Lam.) Urb, *Guazuma ulmifolia* Lam., *Inga vera* Willd. and *Trichospermum mexicanum* (DC), and sequester carbon species are potential species for other uses (Douterlungne, 2013); even in some species of the cloud forest in Oaxaca, as *Clethra hartwegii* Britt., *Rapanea myricoides* (Schl.) Lundell., *Alnus glabrata* Fernald. and *Liquidambar macrophylla* Oerst (Acosta, 2002). For such studies, the ideal would be to have an allometric equation for each species or at least generate equations for species groups with similar characteristics, which is also a viable alternative (Acosta, 2003; Pilli, 2006).

The aim of the study was determined by using the amount of biomass and carbon in trees *Pinus montezumae* Lamb allometric equations and *Alnus jorullensis* ssp. *jorullensis* species of great ecological and economic importance in the Sierra Nevada.

Materials and methods

The research took place in the suburbs of Tequexquahuac, located within the municipality of Texcoco Mexico State in the mountainous area that belongs to the Sierra Nevada mountain range which is a 70 km long running from Popocatepetl volcano in the south, the descending ridges of Mount Tlaloc north. Here is a representative area of large-scale forest pine-oak. The forest is under the ejido forestry management and forestry under where the main products are wood marketing of pine and oak.

Generation of allometric equations

According to Pastor *et al.* (1984) for forest studies, the concept of allometry has been used to link components of a measurement or variables (biomass, leaf area), with easier to measure variables (height, diameter, basal area, sapwood area), with In order to estimate the first variable based on the latter. One of the most commonly used variables is the normal diameter (DN) to 1.30 m diameter at breast height (DBH) to estimate the aboveground biomass of trees (FAO, 2000).

For building, the adjustment of allometric models for estimating biomass for each species was required destructive sampling where individuals trying to cover the largest possible diameter range for each species were selected.

The work was conducted in the months of October and November, a period in which the necessary permits from the Ministry of Environment and Natural Resources

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 1.30 m o diámetro a la altura del pecho (DAP) para estimar la biomasa aérea de los árboles (FAO, 2000).

Para generar el ajuste de los modelos alométricos para estimar la biomasa para cada especie, fue necesario realizar un muestreo destructivo en donde se seleccionaron individuos tratando de abarcar al mayor rango posible de diámetro para cada especie.

El trabajo se realizó en los meses de octubre y noviembre, periodo en el cual se obtuvieron los permisos necesarios por parte de la Secretaría del 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, el pesado y obtención de submuestras, se siguió la metodología utilizada por Acosta *et al.* (2002). Se midieron y cortaron 15 árboles de *Pinus montezumae* Lamb. y 16 árboles de *Alnus jorullensis* ssp. *jorullensis* (Schltdl) Spach, se incluyeron individuos de todas las categorías diamétricas que no presentaran deformaciones en el fuste, ni enfermedades; asimismo los árboles seleccionados para el estudio ya estaban marcados para su aprovechamiento dentro del plan de manejo. Para ambas especies, a cada árbol seleccionado, antes de ser derribado se le midió el diámetro normal.

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 los árboles más grandes, se obtuvieron siete rodajas consideradas como muestras probeta (P_1) de aproximadamente 5 cm de espesor distribuidas en siete posiciones a lo largo del tallo principal. Las primeras tres rodajas (P_1 a P_3) se obtuvieron del fuste limpio; P_1 a 0.30 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 1). Las otras cuatro rodajas se obtuvieron de cuatro secciones en las que se dividió la copa desde su base hasta el ápice (Acosta, 2003).

(SEMARNAT) for felling trees were obtained, because as mentioned, the area is under forest harvesting and therefore, under a management plan previously established.

For measurement, demolition, heavy and obtaining subsamples, the methodology used by Acosta *et al* was followed. (2002). we measured and cut 15 trees of *Pinus montezumae* Lamb. and 16 trees *Alnus jorullensis* ssp., *jorullensis* (Schltdl) Spach, individuals of all diameter categories that showed no deformation of the shaft, and disease were included; also selected for the study trees were already marked for use in the management plan. For both species, each selected tree, before being shot down was measured normal diameter.

In order to determine the dry/fresh weight of the stem and the cup at different heights weight ratio, and calculate the total biomass of larger trees seven slices considered specimen samples (P_i) of about 5 cm thick were obtained in seven locations along the main stem. The first three slices (P_1 to P_3) were obtained from the clear bole; P_1 to 0.30 m above the ground, P_2 1.3 m from the ground (corresponding to the normal diameter) and P_3 in the middle portion between P_2 and the base of the cup (Figure 1). The other four slices were obtained from four sections in which the cup was divided from the base to the apex (Acosta, 2003).

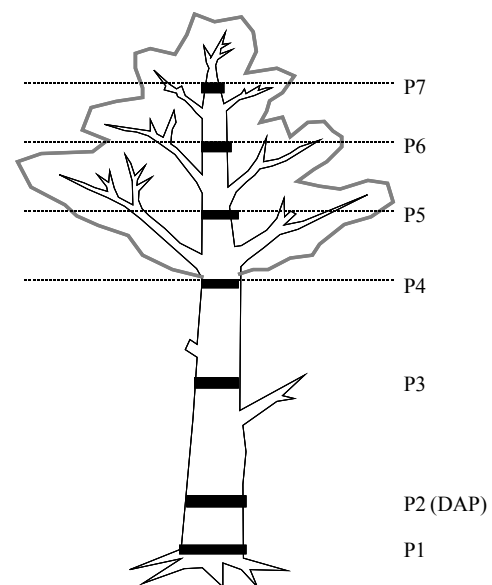


Figura 1. Muestras probeta del tronco de un árbol para determinar la biomasa del fuste y de la copa (Acosta, 2003).

Figure 1. Samples specimen of a tree trunk to determine the biomass of the stem and the cup (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 al derribo del árbol, con la finalidad de minimizar la pérdida de humedad. Para obtener el peso fresco de cada sección se utilizó una báscula con capacidad de carga de 200 kg y una estructura metálica como soporte. Para el caso de *Pinus montezumae*, 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.

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 así obtener la biomasa por componente (fuste, ramas y hojas). Para obtener el peso de las hojas, éstas se depositaron sobre una lona, lo que facilitó su medición.

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 sub muestra, 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 en invernadero de 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 que tenía al estar al medio ambiente. De esta manera se garantizó la obtención exacta de la cantidad de biomasa por árbol.

Establecida la relación peso seco/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 ramas y de las hojas de cada sección de la copa a partir de la relación peso seco/peso fresco de las muestras tomadas. Una vez que

In order to obtain the fresh weight of the trees in each of its sections (before cutting specimens) were weighed, as the branches and leaves. This task was performed in the field immediately to the demolition of the tree, in order to minimize moisture loss. For the fresh weight of each section scales with capacity of 200 kg and a metal structure was used as a support. In the case of *Pinus montezumae*, once the trees were felled and not affect the commercial dimensions of the wood, the shaft was cut into logs 2 to 2.5 m in length.

The branches were separated from the stem, foliage, also including a sample of each of the sections of the glass was obtained, and their fresh weight was determined. The remaining branches of the tree weighed all together, this data for the fresh weight of the branches of each tree and obtain biomass component (stem, branches and leaves). For the weight of the leaves, they were deposited on a canvas, which facilitated measurement.

For obtaining the weight of samples of each of the shaft sections of trees, sample branches and leaves, another scale was used with a capacity of 15 kg with an accuracy of 20 g, where the weight is recorded fresh for each sub sample, this material subsequently moved to the laboratory where dry weight was obtained.

In order to obtain the dry weight of each tree samples stem (sliced), like the branches and leaves, dried in the greenhouse at the Experimental Field installations of the Valley of Mexico (CEVAMEX) Institute National Forestry, Agriculture and Livestock (INIFAP). Due to that samples do not lose moisture as a whole due to the relative humidity was necessary to place some of them in a drying oven at a constant temperature of 65 °C for 72 h until constant weight, which a Once obtained, the calculation is performed again for the material that was already heavy and it just wiped the environment to apply the fix and deduct the moisture that had to be the environment. Thus obtaining accurate biomass per tree was ensured.

We set the dry/cool each of these weight ratios used to obtain the dry weight of each section of the tree trunk from the respective fresh weight. The same procedure was used to obtain the dry weight of the branches and leaves of each section of the cup from the dry / fresh weight of the samples weight ratio. Once dry the sum of each of the sections of the trunk, branches and leaves of each tree weight was obtained, the total biomasses of each tree were recorded.

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 obtención de la biomasa por componente, se obtuvo de la resultante de la relación peso seco/peso fresco, en donde una vez alcanzado el peso seco de cada componente se obtiene un porcentaje que representa esta relación y se multiplica por el peso fresco total de cada componente; después se suman los pesos de cada componente del árbol para así obtener la biomasa total por árbol y por especie.

Selección de modelos alométricos

Después de obtener la biomasa y el DN de los distintos árboles, se seleccionó un modelo potencial que determina las relaciones alométricas y siendo uno de los más utilizados en este tipo de estudios (Ter-Mikaelian y Korzukhin, 1997; Acosta *et al.*, 2002; Gómez, 2008).

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

Donde: Y = biomasa aérea o carbono (kg); X = diámetro normal (cm); 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):

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

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 16 árboles que se muestrearon para *Alnus jorullensis* ssp. *jorullensis* presentaron un diámetro normal (DN) que varió desde 7.5 a 49.5 cm, siendo los diámetros mayores más comunes para la especie en la región donde se realizó el estudio. Con respecto a *Pinus montezumae* se encontraron

Obtaining biomass component was obtained from the result of the dry/fresh weight ratios, where once the dry weight of each component is obtained reached a percentage that represents this relationship and multiplied by the total fresh weight of each component; then the weights of each component in the tree to obtain the total biomass per tree and species are added.

Selecting allometric models

After obtaining the biomass and the DN of the various trees, a potential model that determines the allometric relationships and being one of the most used in these studies (Ter-Mikaelian and Korzukhin, 1997; Acosta *et al.*, 2002; Gómez, 2008).

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

Where: Y = biomass or carbon (kg); X = dbh (cm); b and k = parameters to be estimated by the least squares method.

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

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

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

Results

Estimation of biomass and carbon

The 16 trees were sampled for *Alnus jorullensis* ssp., *jorullensis* had a normal diameter (DN) ranging from 7.5 to 49.5 cm, being the most common larger diameters for the species in the region where the study was conducted. Regarding *Pinus montezumae* larger trees that ranged from 7.2 to 65.9 cm were found. These results are shown in Tables 1 and 2 for the species *Pinus montezumae* and *Alnus jorullensis* ssp., *jorullensis* respectively.

árboles más grandes que variaron desde 7.2 a 65.9 cm. Éstos resultados se muestran en los Cuadros 1 y 2 para la especies *Pinus montezumae* y *Alnus jorullensis* ssp. *jorullensis*, respectivamente.

De acuerdo con los resultados expresados en el Cuadro 1, *Pinus montezumae*, tuvo en promedio 52.4% de humedad y en el Cuadro 2 se observa que en *Alnus jorullensis* ssp. *jorullensis* se obtuvo 56.7%.

According to the results expressed in Table 1, *Pinus montezumae* had on average 52.4% moisture and in Table 2 is observed in *Alnus jorullensis* ssp., *jorullensis* 56.7% was obtained.

Summary percentages representing each component biomass of *Pinus montezumae*, where it is observed that the percentage varied depending on the normal diameter is presented in Table 3. Most biomass was found in the

Cuadro 1. Características de los árboles muestreados para *Pinus montezumae*.

Table 1. Characteristics of sampled trees for *Pinus montezumae*.

Árbol	DN (cm)	Altura (m)	Peso fresco (kg)	Biomasa(kg)	(%) de humedad
1	7.2	3.99	16.06	5.25	67
2	10.8	6.11	44.99	14.94	66
3	12.1	6.47	75.52	26.45	65
4	16.1	10.84	117.88	52.56	55
5	22.3	17.71	549.81	266.18	52
6	27.2	14.74	550.43	227.55	59
7	28.7	20.28	898.98	436.70	51
8	33.4	25.09	1208.41	682.28	44
9	35.0	26.61	1508.58	790.12	48
10	39.5	26.58	1923.55	951.36	51
11	43.1	25.65	2357.78	1119.65	53
12	49.2	24.55	3669.78	2010.36	45
13	60.0	31.13	4914.74	2897.94	41
14	61.5	29.07	5389.48	3083.31	43
15	65.9	36.05	8239.82	4485.98	46
		Promedio			52.4

Cuadro 2. Características de los 16 árboles muestreados para *Alnus jorullensis* ssp. *jorullensis*.

Table 2. Characteristics of the 16 trees sampled for *Alnus jorullensis* ssp., *jorullensis*.

Árbol	DN (cm)	Altura (m)	Peso fresco (kg)	Biomasa(kg)	(%) de humedad
1	7.5	2.85	*	6.37	*
2	11.5	6.29	49.35	22.63	54
3	15.0	6.28	76.62	36.29	53
4	17.5	5.69	38.82	19.00	51
5	17.8	9.00	116.82	47.49	59
6	20.2	11.59	240.67	106.07	55
7	21.5	8.37	114.40	46.65	59
8	25.1	12.63	402.62	168.33	58
9	25.2	11.08	442.14	179.40	59
10	26.5	12.72	413.81	165.23	60
11	29.0	12.51	465.23	184.25	60
12	31.5	14.23	576.28	237.70	59
13	33.6	15.29	975.98	448.19	54
14	36.7	12.30	1090.49	442.74	59
15	42.8	11.39	1341.89	564.44	58
16	49.5	12.72	2160.17	1007.93	53
		Promedio			56.7

*Se obtuvo biomasa de forma directa, debido a que el árbol era muy pequeño; DN= diámetro normal; CD= categoría diamétrica.

En el Cuadro 3 se presenta el resumen de los porcentajes en biomasa que representa cada componente de la especie *Pinus montezumae*, en donde se observa que el porcentaje varió dependiendo del diámetro normal. La mayor cantidad de biomasa se encontró en el fuste que presenta 77.07% en promedio. El segundo componente con mayor cantidad de biomasa fue en las ramas con 8.45% del total. El resto de la biomasa del árbol está representada por las hojas 9.01%.

shaft having 77.07% on average. The second component was more biomass on branches with 8.45% of the total. The remaining biomass is represented by tree leaves 9.01%.

For *Alnus jorullensis* ssp., *jorullensis* component with more biomass was also the shaft with 63.77% of the total biomass, and this lower value compared to the species

Cuadro 3. Porcentaje de humedad y biomasa en los componentes de *Pinus montezumae* Lamb.

Table 4. Percentage of biomass component *Alnus jorullensis* ssp., *jorullensis*.

Árbol	DN (cm)	Tocón (%)	Fuste (%)	Ramas (%)	Follaje (%)
1	7.2	4.24	85.67	0.00	6.28
2	10.8	2.54	89.54	3.22	1.50
3	12.1	4.24	61.04	8.39	7.52
4	16.1	3.39	85.94	3.86	3.91
5	22.3	1.29	75.95	9.69	11.09
6	27.2	2.64	71.73	10.90	12.94
7	28.7	1.45	79.54	8.80	8.51
8	33.4	3.09	82.72	6.24	6.27
9	35.0	2.26	88.80	3.73	3.47
10	39.5	2.47	84.02	4.83	7.37
11	43.1	2.04	80.98	7.85	7.46
12	49.2	1.23	66.99	15.28	15.17
13	60.0	2.03	61.47	18.11	17.13
14	61.5	1.41	68.31	14.15	14.58
15	65.9	1.59	73.33	11.72	11.93
Promedio		2.39	77.07	8.45	9.01

Para *Alnus jorullensis* ssp. *jorullensis* el componente con mayor cantidad de biomasa fue también el fuste con 63.77% de la biomasa total, siendo este valor menor en comparación a la especie de *Pinus montezumae*; el segundo componente con mayor cantidad de biomasa fueron las ramas 20.99% y las hojas sólo representaron 11.46 % de la biomasa total (Cuadro 4).

Con la información de biomasa para cada especie, se procedió a ajustar el modelo representado por la ecuación 1 y obtener sus parámetros b y k , los modelos resultantes y sus respectivas curvas generadas fueron las siguientes: en la Figura 2, se muestra tanto la ecuación como la distribución de observaciones y la curva generada para *Pinus montezumae*, se observa que de acuerdo a la muestra obtenida y al modelo usado, se obtuvo un coeficiente de determinación alto ($R^2= 0.990$), además, con el número de observaciones utilizadas posiblemente sea suficiente para obtener una estimación adecuada para medir la

of *Pinus montezumae*; the second component with greater biomass were 20.99% branches and leaves accounted for only 11.46% of the total biomass (Table 4).

With the information of biomass for each species, we proceeded to adjust the model represented by equation 1 and to obtain their BYK parameters, the resulting models and their respective curves generated were as follows: in Figure 2 both are shown in the equation as the distribution of observations and the curve generated for *Pinus montezumae* be seen that according to the sample obtained and the model used, high coefficient of determination ($R^2= 0.990$) was obtained, along with the number of observations used may be sufficient to obtain an adequate estimate for measuring biomass per individual in this species depending on the size of normal diameter. Therefore, the model for measuring biomass in this species is: $B= 0.013DN^{3.0462}$.

biomasa por individuo en esta especie en función del tamaño de diámetro normal. Por lo tanto el modelo para medir la biomasa en esta especie es: $B=0.013DN^{3.0462}$.

Where B represents the amount of biomass in Kg and DN is the diameter in inches measured at the height of 1.3 m. Moreover, it is not considered necessary to linearize the

Cuadro 4. Porcentaje de biomasa por componente de *Alnus jorullensis ssp. jorullensis*.

Table 4. Percentage of biomass component *Alnus jorullensis ssp. jorullensis*.

Árbol	DN (cm)	Tocón (%)	Fuste (%)	Ramas (%)	Follaje (%)
1	42.8	2.58	48.15	38.93	10.34
2	36.7	5.71	63.97	26.09	4.23
3	15.0	5.21	74.30	5.57	14.92
4	29.0	4.03	68.07	17.02	10.89
5	25.2	2.25	61.12	29.35	7.28
6	20.2	3.00	71.80	14.30	10.90
7	25.1	2.11	45.50	30.85	21.53
8	49.5	2.30	37.06	56.79	3.85
9	26.5	4.10	71.67	13.35	10.88
10	17.8	6.14	71.22	11.78	10.87
11	7.5	*	*	*	*
12	21.5	4.44	72.51	11.99	11.06
13	11.5	2.69	69.85	5.57	21.90
14	17.5	5.39	77.03	0.00	17.57
15	33.6	2.33	53.81	31.69	12.17
16	31.5	4.39	70.51	21.53	3.58
Promedio		3.78	63.77	20.99	11.46

* Se obtuvo la biomasa de forma directa y sin fraccionar el árbol.

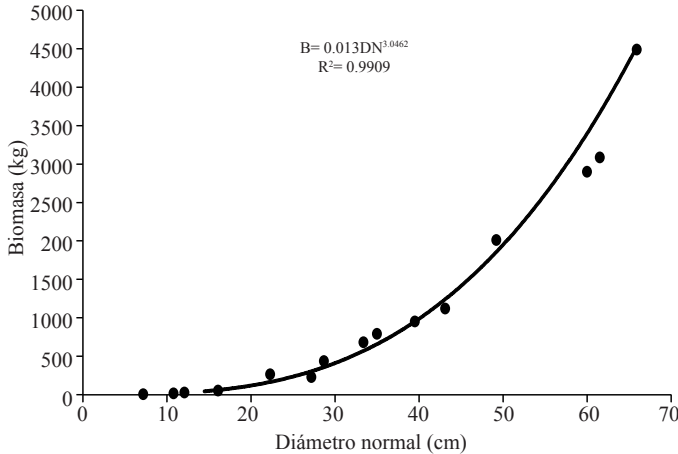


Figura 2. Dispersión de los valores observados, línea de tendencia generada y modelo ajustado para medir la biomasa de *Pinus montezumae* (B=biomasa, DN= diámetro normal).

Figure 2 Dispersion of the observed values, trend line generated and adjusted model to measure the biomass of *Pinus montezumae* (B= biomass DN= normal diameter).

En donde B representa la cantidad de biomasa en kg y DN es el diámetro en cm medido a la altura de 1.3 m. Por otra parte, no se considera necesario linealizar el modelo toda vez que sería prácticamente el mismo, anteriormente se consideraba importante porque facilitaba el manejo del mismo; sin

model since it would be practically the same, previously considered important because it facilitated the handling thereof; however, today with the technological progress in the support of computers and even calculators, management of this model is not a constraint to understand and use.

In Figure 3 both the distribution equation of observations and the curve shown generated for *Alnus jorullensis ssp. jorullensis*, it appears that according to the sample obtained and the model used, a coefficient of determination also high ($R^2=0.9311$) was obtained, in addition it is considered that the number of observations used is sufficient to obtain an adequate estimate for measuring the biomass individual species based on the size of diameter. Therefore, the model for measuring biomass in this species is $B=0.0195DN^{2.7519}$. Where B represents the amount of biomass in kg and DN is the diameter in inches measured at the height of 1.3 m.

It was considered unnecessary to analyze the model parameters for both species and determine whether belong to a single model, the fieldwork is more laborious to estimate biomass, and species was performed. The picture of the analysis of variance for the adjusted models included, as

embargo, hoy en día con el avance tecnológico en cuanto al apoyo de computadoras e incluso de calculadoras, el manejo de este modelo no es una limitante para entenderlo ni utilizarlo.

En la Figura 3 se muestra tanto la ecuación como la distribución de observaciones y la curva generada para *Alnus jorullensis* ssp. *jorullensis*, se observa que de acuerdo a la muestra obtenida y al modelo usado, se obtuvo un coeficiente de determinación también alto ($R^2 = 0.9311$), además se considera que con el número de observaciones utilizadas es suficiente para obtener una estimación adecuada para medir la biomasa por individuo en esta especie en función del tamaño de diámetro. Por lo tanto el modelo para medir la biomasa en esta especie es: $B = 0.0195DN^{2.7519}$. En donde B representa la cantidad de biomasa en kg y DN es el diámetro en cm medido a la altura de 1.3 m.

Se consideró innecesario hacer el análisis de los parámetros de los modelos para ambas especies y determinar si pertenecerían a un modelo único ya que el trabajo de campo que es el más laborioso para estimar la biomasa en cada especie ya se realizó. Tampoco se incluye el cuadro del análisis de varianza para los modelos ajustados, ya que los factores más sobresalientes para determinar si un modelo es adecuado o no desde un punto de vista matemático son: el número de las observaciones y la distribución de tamaños de las muestras, que el modelo utilizado sea el adecuado de acuerdo a la tendencia de las muestras y el valor del coeficiente de determinación cuyo valor puede variar de 0 a 1 ($0 \leq R^2 \leq 1$).

Carbono

De los 15 árboles de *Pinus montezumae* 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 le determinó el porcentaje de carbono. De los 16 árboles *Alnus jorullensis* ssp. *jorullensis* seleccionados para la 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.

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 4.

the most salient factors to determine whether a model is appropriate or not from a mathematical point of view are: the number of observations and the distribution of sample sizes that the model used is adequate according to the tendency of the samples and the determination coefficient whose value can vary from 0 to 1 ($0 \leq R^2 \leq 1$).

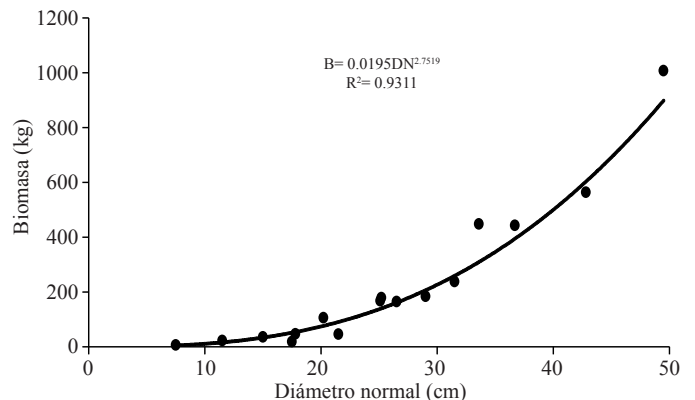


Figura 3. Dispersión de los valores observados, línea de tendencia generada y modelo ajustado para estimar la biomasa en *Alnus jorullensis* ssp. *jorullensis* (B= biomasa, DN= diámetro normal).

Figure 3. Dispersion of observed values, trend line generated and fitted model for estimating biomass in *Alnus jorullensis* ssp. *jorullensis* (B= biomass DN= normal diameter).

Carbon

Of the 15 trees of *Pinus montezumae* selected to determine the biomass randomly selected four trees to measure carbon, three slices of each tree is selected, a sample of a sample of branches and foliage, this material was taken to the laboratory and there is we determined the percentage of carbon. Of the 16 trees *Alnus jorullensis* ssp. *jorullensis* selected to determine the biomass randomly selected five trees to measure carbon in them, three slices of each tree, a sample of branches and foliage were selected sample, this material is also taken to the laboratory for analysis to determine carbon percentage of each.

For measuring the carbon of each slice, a subsample of an approximately 25 g was obtained, the subsamples so obtained containing the same proportion of heartwood, sapwood and bark, to achieve this the slice was cut as shown in Figure 4. Regards samples of branches, a fraction of them and the leaves of a similar number of slices is obtained or about 25 grams. Many samples splintered ground and mixed separately then were analyzed for carbon content to each

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 gramos. Las porciones de muestras se astillaron, molieron y mezclaron por separado, posteriormente se les determinó el contenido de carbono a cada una en el laboratorio de fertilidad de suelos del Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, empleando el analizador automático de carbono total (Shimadzu TOC-5000-A).



Figura 4. Toma de submuestra para la estimación de carbono en cada rodaja.

Figure 4. Socket subsample carbon estimation in each slice.

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 aplicó el porcentaje de carbono por cada componente del árbol, ya que la información de la cantidad de biomasa por cada componente (fuste, ramas y follaje) ya se había obtenido 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 es el contenido de carbono; BTA: biomasa total del componente de cada árbol (kg) y C, es el 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.

Los porcentajes del contenido de carbono para cada especie resultó como sigue: para *Pinus montezumae*, el porcentaje promedio de carbono en todo el árbol fue 50.62%, en el fuste se obtuvo 50.47%, en las ramas 50.96% y 50.43% en el follaje, por eso es válido utilizar 50% de la biomasa para calcular la cantidad de carbono en esta especie cuando no se realiza el análisis para determinar el contenido de carbono. Con respecto al contenido de carbono para *Alnus jorullensis*

laboratory soil fertility Postgraduate College in Agricultural Sciences, using the automatic analyzer of total carbon (Shimadzu TOC- 5000-A).

For determining the carbon content of the selected trees, first, the average percentage of the carbon content obtained subsample was obtained and then the percentage of carbon was applied by each component of the tree, as the information of the amount of biomass for each component (stem, branches and foliage) was already obtained previously. With this factor, the average carbon content in the biomass of each component was determined by using the following expression: $C = BTA * FC$, where C is the carbon content; BTA: total biomass of each shaft component (kg) and C is the carbon factor directly determined in the laboratory. The carbon content of the total biomass of the tree was the sum of carbon stem, branches and leaves of each tree and to determine the allometric equation for estimating the carbon was used allometric model correlating the carbon content and the normal diameter of each tree.

The percentages of carbon content for each species was as follows: for *Pinus montezumae*, the average percentage of carbon around the tree was 50.62% in the shaft was obtained 50.47%, 50.96% in the branches and 50.43% in the foliage, so it is valid to use 50% of the biomass to calculate the amount of carbon in this species when the analysis is performed to determine the carbon content. With respect to carbon content *Alnus jorullensis* ssp. *jorullensis* an overall percentage of 45.7% of the biomass, 46.39% in the shaft, 45.84% to 44.87% branches and foliage was obtained. For this species the carbon content is a bit less than 50%, therefore it is advisable to use the overall percentage was obtained to calculate the carbon content when only has the determination of biomass.

With the information of total carbon per tree for both species, we proceeded to do the least squares fit, using similar to Equation 1 potential model. Figure 5 shows the results of the model fit for *Pinus montezumae* shown in where you can see that the fitted model was: $C = 0.0065DN^{3.0484}$, with a coefficient of determination $R^2 = 0.9914$. Where C is the amount of carbon in kg and DN is the normal diameter measured at 1.3 m above ground. As can be seen, the value that is high the "x" (3.0484) is the same as that obtained for adjusting the layout of the biomass. The value is that if you change the value of the intercept in this case is 0.0065.

ssp. jorullensis, se obtuvo un porcentaje promedio general de 45.7% de la biomasa, 46.39% en el fuste, 45.84% en las ramas y 44.87% en el follaje. Para esta especie el contenido de carbono es un poco menor a 50%, por lo tanto es recomendable utilizar el porcentaje promedio general que se obtuvo para calcular el contenido de carbono, cuando sólo se cuente con la determinación de la biomasa.

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 similar a la Ecuación 1. En la Figura 5 se muestran los resultados del ajuste del modelo para *Pinus montezumae*, en donde se puede ver que el modelo ajustado fue: $C = 0.0065DN^{3.0484}$, con un coeficiente de determinación $R^2 = 0.9914$. En donde C es la cantidad de carbono en kg y DN es el diámetro normal medido a 1.3 m del suelo. Como se puede observar, el valor al que está elevada la "x" (3.0484), es el mismo que el obtenido para ajustar el modelo de la biomasa. El valor que si cambia es el valor de la interceptada, en este caso es 0.0065.

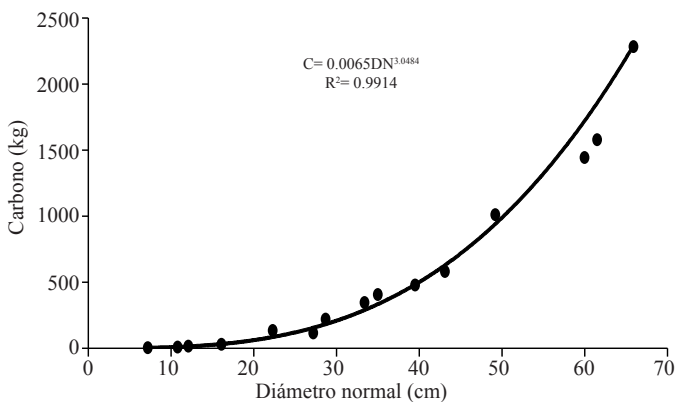


Figura 5. Dispersión de los valores observados, línea de tendencia generada y modelo ajustado para estimar el carbono de *Pinus montezumae* (C= carbono, DN= biomasa).

Figure 5. Dispersion of the observed values, trend line generated and adjusted model to estimate carbon *Pinus montezumae* (C= carbon DN= biomass).

Con respecto a la especie de *Alnus jorullensis ssp. jorullensis* y con la información del carbono total por árbol, se procedió a hacer el ajuste por mínimos cuadrados, utilizando el mismo modelo potencial similar a la Ecuación 1. En la Figura 6 se muestran los resultados del ajuste del modelo para *Alnus jorullensis ssp. jorullensis*, en donde se puede ver que el modelo ajustado fue: $C = 0.009DN^{2.7522}$, con un coeficiente de determinación $R^2 = 0.9313$. 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.

With regard to the species of *Alnus jorullensis ssp. jorullensis* information and total carbon per tree proceeded to make the least squares fit, using the same similar to Equation 1 potential model. In Figure 6 the results of the model fit for *Alnus jorullensis ssp. jorullensis* where we can see that the fitted model was: $C = 0.009DN^{2.7522}$, with a coefficient of determination $R^2 = 0.9313$. Where C is the amount of carbon in kg and DN is the normal diameter in cm measured at 1.3 m above ground.

As can be seen, the value that is high the "x" (2.7522), is very similar to that obtained to adjust the model of the biomass, that are not exactly equal is because the carbon concentration in each component (stem, branches and leaves) may vary, otherwise, the value should be the same. If you change, the value of the intercept is in this case is 0.009. This value is more consistent with reality, since a tree that has "zero" DN, though logically a tree with such characteristics "there" should be "zero" carbon.

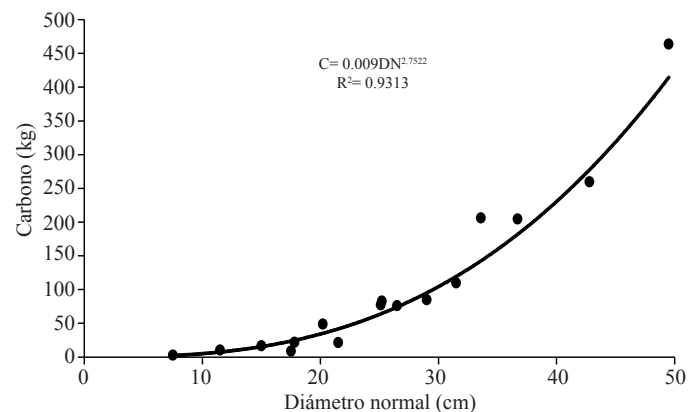


Figura 6. Dispersión de los valores observados, línea de tendencia generada y modelo ajustado para estimar el carbono en *Alnus jorullensis ssp. jorullensis* (C= carbono, DN= diámetro normal).

Figure 6. Dispersion of observed values, trend line generated and adjusted model to estimate carbon *Alnus jorullensis ssp. jorullensis* (C= carbon DN= normal diameter).

Finally, it can be observed that the model used for both species, has a coefficient of determination above 0.93, which indicates an adequate fit to the database that was used and the range of variation of the sizes of the trees were measured therefore it is reliable to use the normal diameter variable (DN) to estimate the carbon content of biomass in trees or *Pinus montezumae* and *Alnus jorullensis ssp. jorullensis*.

Como se puede observar, el valor al que está elevada la “x” (2.7522), 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 si cambia es el de la interceptada, en este caso es 0.009. Éste 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 0.93, 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 *Pinus montezumae* y *Alnus jorullensis* ssp. *jorullensis*.

Conclusiones

En árboles de *Pinus montezumae* la mayor parte de la biomasa se ubica en el fuste (77.07%), mientras que en ramas se concentra 8.45% en follaje 9.01%. Para *Alnus jorullensis* ssp. *jorullensis* el fuste 63.77%, mientras que en ramas se concentra 20.99% y en follaje 11.46%.

Los modelos para estimar biomasa en *Alnus jorullensis* ssp. *jorullensis* ($B = 0.0195 \text{ DN}^{2.7519}$) y *Pinus montezumae* ($B = 0.013 \text{ DN}^{3.0462}$), se ajustaron con valores altos del coeficiente de determinación $R^2 = 0.9311$ y $R^2 = 0.9909$ respectivamente; lo que indica un nivel de confianza alto en la utilización de estos modelos para la estimación de biomasa en estas especies.

La misma aseveración se puede dar para los modelos para estimar carbono en *Alnus jorullensis* ssp. *jorullensis* ($C = 0.009 \text{ DN}^{2.7522}$) y *Pinus montezumae* ($C = 0.0065 \text{ DN}^{3.0484}$), que también se ajustaron con valores altos del coeficiente de determinación $R^2 = 0.9313$ y $R^2 = 0.9914$ respectivamente.

Literatura citada

Acosta-Mireles, M.; Vargas-Hernández, J.; Velásquez-Martínez, A. y Etchevers-Barra, 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.

Conclusions

In *Pinus montezumae* trees most of the biomass is found in the shaft (77.07%), while branches concentrated in foliage 8.45% 9.01%. For *Alnus jorullensis* ssp. *jorullensis* the shaft 63.77%, while concentrate branches and foliage 20.99% 11.46%.

The models for estimating biomass in *Alnus jorullensis* ssp. *jorullensis* ($B = 0.0195 \text{ DN}^{2.7519}$) and *Pinus montezumae* ($B = 0.013 \text{ DN}^{3.0462}$), adjusted with high values of the determination coefficient $R^2 = 0.9311$ and $R^2 = 0.9909$, respectively; indicating a high confidence in the use of these models for estimating biomass in these species.

The same statement can be given for models to estimate carbon *Alnus jorullensis* ssp. *jorullensis* ($C = 0.009 \text{ DN}^{2.7522}$) and *Pinus montezumae* ($C = 0.0065 \text{ DN}^{3.0484}$), which were also adjusted with high values of the determination coefficient $R^2 = 0.9313$ and $R^2 = 0.9914$ respectively.

End of the English version



- 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
- Brown, S.; Gillespie, A. J. R. and Lugo, A. E. 1989. Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. *Forest Sci.* 35:881-902.
- Cutini, A.; Chianucci, F.; Manetti, M. C. 2013. Allometric relationships for volume and biomass for stone pine (*Pinus pinea* L.) in Italian coastal stands. *iForest*. URL: <http://www.sisef.it/forest/contents/?id=ifor0941-006>.
- 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.
- Douterlungne, D.; Herrera-Gorocica, A. M.; Ferguson, B. G.; Ilyas Siddique, I. y Soto-Pinto L. 2013. Ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono de cuatro especies leñosas neotropicales con potencial para la restauración. *Agrociencia* 47(4):385-397.
- 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 No. 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 en Ciencias Agrícolas. 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. 365 p.
- Huxley, J. S. 1932. Problems of relative growth. The Dial Press, New York. 276 p.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 1995. The supplementary report to the IPCC Scientific Assessment. Cambridge University Press. Cambridge. UK. 878 p.
- Ketterings, Q. M.; Coe, R.; van Noordwijk, M.; Ambagau, Y. and Palm, C. A. 2001. Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forests. *For. Ecol. Manage.* 146(1-3):199-209.
- Lindner, M.; Maroschek, M.; Netherer, S.; Kremer, A.; Barbati, A.; García-Gonzalo, J.; Seidl, R.; Delzon, S.; Corona, P.; Kolström, M.; Lexer, M. J. and Marchetti, M. 2010. Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems. *For. Ecol. Manage.* 259(4):698-709.
- 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.
- Pacheco, A. G. 2011. Ecuaciones alométricas para estimar biomasa aérea por compartimientos en reforestaciones de *Pinus patula* Schl. et Cham en Xiacuí, Ixtlán Oaxaca. Tesis para obtener el grado de Ingeniería Forestal. Universidad de la Sierra de Juárez. 58 p.
- Pagiola, S.; Bishop, J. y Landell, M. Natasha. 2003. La venta de servicios ambientales forestales. Mecanismos basados en el mercado para la conservación y el desarrollo. Instituto Nacional de Ecología (INE)- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). México, D. F. 463 p.
- 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.
- Pilli, R.; Anfodillo, T. and Carrer, M. 2006. Towards a functional and simplified allometry for estimating forest biomass. *For. Ecol. Manage.* 237(1-3):583-593.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2013. Acuerdo por el que se expide la Estrategia Nacional de Cambio Climático. Diario Oficial de la Federación (DOF). 52 p.
- Ter-Mikaelian and Korzukhin. 1997. Biomasa equation for Sixty-five North American tree species. *For. Ecol. Manage.* 97:1-24.
- Vigil, N. N. 2010. Estimación de biomasa y contenido de carbono en *Cupressus lindleyi* Klotzsch ex Endl. En el campo forestal experimental "Las Cruces", Texcoco, México. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo (UACH). División de Ciencias Forestales. 61 p.
- Xu, L.; Myneni, R. B.; Chapin III, F. S.; Callaghan, T. V.; Pinzon, J. E.; Tucker, C. J.; Zhu, Z.; Bi, J.; Ciais, P.; Tømmervik, H.; Euskirchen, E. S.; Forbes, B. C.; Piao, S. L.; Anderson, B. T.; Ganguly, S.; Nemani, R. R.; Goetz, S. J.; Beck, P. S. A.; Bunn, A. G.; Cao, C. and JStroeve, C. 2013. Temperature and vegetation seasonality diminishment over northern lands. *Nature Climate Change.* 3: 581-585.