

Ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en aile obtenidas mediante un método no destructivo*

Allometric equations for estimating biomass and carbon alder obtained by a nondestructive method

Manuel de J. Díaz-Ríos¹, Antonio Vázquez-Alarcón², Miguel Uribe-Gómez^{2§}, Alejandro Sánchez Vélez², Alejandro Lara Bueno² y Artemio Cruz León²

¹Posgrado en Ciencias Agroforestería para el Desarrollo Sostenible-Universidad Autónoma Chapingo. Carretera. México - Texcoco km 38.5. Chapingo, Texcoco 56230, Estado de México. Tel: 595 952 540. ²Universidad Autónoma Chapingo. Carretera. México- Texcoco, km 38.5, Chapingo, Texcoco. C. P. 56230, Estado de México. Tel 595 952 1540. (manueldiazrios@gmail.com; antoniovazquez@gmail.com; cienfuegos9@hotmail.com; etnoagronomia@gmail.com; alarab_11@hotmail.com). [§]Autor para correspondencia: migueluribe123@gmail.com.

Resumen

En San Pablo Ixayoc, Texcoco, Estado de México, México, se seleccionaron 10 árboles de aile (*Alnus acuminata* K.) de un bosque de galería con el objetivo de determinar su contenido aéreo de biomasa y carbono mediante un método no destructivo. Para determinar la biomasa de las copas: las ramas se clasificaron en cuatro categorías diamétricas, se podaron algunas ramas por copa y fueron separadas en madera y hojas, estos componentes fueron pesados individualmente y se obtuvo el peso fresco promedio (kg) por componente y tipo de rama. Se estimó: el porcentaje de humedad de la madera (49%) y hojas (62%), la biomasa promedio en peso seco (kg) por componente según el tipo de rama, y se extrapola la información al inventario de ramas por copa. Para calcular la biomasa de los fustes: $B = DM(1/4\pi(DAP)^2 \cdot AFl \cdot Ffp)$, se calculó: densidad de la madera ($DM = 0.62 \text{ Mg m}^{-3}$), volumen de fustes, alturas de fuste limpio (AFl) y el factor de forma ($Ffp = 0.66$). Se emplearon dos modelos: $Y = B_0 + B_1X_i$ (lineal) y $Y = b \cdot X^k$ (exponencial), el mejor modelo fue el exponencial. Las ecuaciones alométricas quedaron expresadas como $B = 0.0012DAP^{1.7877}$ y $CCA = 0.0006DAP^{1.7755}$, ambas con coeficientes de determinación $R^2 = 0.95$, donde B es biomasa (Mg; toneladas por metro cúbico), DAP es diámetro a la

Abstract

In San Pablo Ixayoc, Texcoco, Mexico State, Mexico, 10 trees of alder (*Alnus acuminata* K.) of a gallery forest in order to determine their aerial biomass and carbon content using a nondestructive method they were selected. To determine the biomass of the cups: the branches were classified into four diametric categories, some branches by the glass were pruned and were separated into wood and leaves, these components were weighed individually and the average fresh weight (kg) was obtained by component and type branch. It was estimated the percentage of wood moisture (49%) and sheets (62%), the average biomass dry weight (kg) per component depending on the type of industry, and the information was extrapolated to the inventory of branches by the glass. To calculate the biomass of boles: $B = DM(1/4\pi(DAP)^2 \cdot AFl \cdot Ffp)$, was calculated: wood density ($DM = 0.62 \text{ Mg m}^{-3}$), volume of shafts, shaft heights clean (AFl) and form factor ($Ffp = 0.66$). Two models were used: $Y = B_0 + B_1X_i$ (linear) and $Y = b \cdot X^k$ (exponential), the best model was the exponential. The allometric equations were expressed as $B = 0.0012DAP^{1.7877}$ and $CCA = 0.0006DAP^{1.7755}$, both with coefficients of determination $R^2 = 0.95$, where B is biomass (Mg; tons per cubic meter), DAP is diameter at breast height (cm) and

* Recibido: marzo de 2016
Aceptado: mayo de 2016

altura de pecho (cm) y CCA es contenido de carbono por árbol (Mg). La distribución porcentual de biomasa fue: 64.92, 27.06 y 8.02 y de carbono: 65.12, 27.15 y 7.72 para fustes, ramas y hojas respectivamente.

Palabras clave: bosque de galería, biomasa de fuste, copa, densidad de la madera, factor de forma.

Introducción

El bióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y el óxido nitroso (N₂O), gases de efecto invernadero, se han incrementado en la atmósfera desde tiempos pre-industriales debido a factores antropogénicos y este incremento contribuye al cambio climático; el CO₂ en específico, se incrementó en 40%; pasó de 278 ppm alrededor de 1750 a 390.5 ppm en 2011 (IPCC, 2013). Las causas del incremento en la concentración de gases de carbono en la atmósfera están bien documentadas, en el caso del CO₂ son el uso industrial y doméstico de combustibles que contienen carbono (petróleo, carbón, gas natural y leña), la deforestación -que provoca la descomposición de la materia orgánica- y la quema de la biomasa vegetal (Jaramillo, 2004). De acuerdo con Maass (2009), el incremento de CO₂ en la atmósfera produce un aumento en la retención de la radiación emitida por la superficie terrestre, alterando el régimen térmico e induciendo el calentamiento global del planeta mediante el efecto invernadero.

El efecto invernadero se debe a los gases atmosféricos llamados justamente de efecto invernadero o termoactivos, los más importantes son el vapor de agua (H₂O) y el CO₂ (Garduño, 2004). La importancia del vapor de agua y del CO₂ en la atmósfera es tal que sin su presencia la temperatura promedio actual del planeta sería aproximadamente 33 °C más fría y por lo tanto el planeta estaría congelado (Schlesinger, 1997). El CO₂ es un componente natural del aire y siempre ha existido en la atmósfera, lo que ha hecho el hombre es acrecentarlo y esto es lo que conlleva al aumento del efecto invernadero (Garduño, 2004).

Para determinar la biomasa de los árboles y generar sus ecuaciones alométricas se utilizan métodos directos o destructivos que implican la destrucción de los árboles evaluados, ya que como lo indican Fehse, *et al.* (2002) los métodos directos se basan en el derribo y pesaje de la vegetación. Por ello, debido a que no siempre es posible derribar y destruir los árboles a evaluar para generar sus

CCA is carbon per tree (Mg). The percentage distribution of biomass was: 64.92, 27.06 and 8.02 and carbon: 65.12, 27.15 and 7.72 for stems, branches and leaves respectively.

Keywords: form factor, glass, gallery forest, stem biomass, wood density.

Introduction

The carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄) and nitrous oxide (N₂O), greenhouse gases have increased in the atmosphere since pre-industrial times due to anthropogenic factors and this increase contributes to climate change; CO₂ specific, increased by 40%; went from 278 ppm in 1750 to 390.5 ppm in 2011 (IPCC, 2013). The causes of the increase in the concentration of carbon gases in the atmosphere are well documented in the case of CO₂ are industrial and domestic use of carbon-containing fuels (oil, coal, natural gas and wood), deforestation which causes the organic-matter decomposition and burning of plant biomass (Jaramillo, 2004). According to Maass (2009), the increase of CO₂ in the atmosphere causes an increase in the retention of the radiation emitted by the earth's surface, altering the thermal regime and inducing global warming through the greenhouse effect.

The greenhouse effect is due to atmospheric gases just called greenhouse or greenhouse, the most important are water vapor (H₂O) and CO₂ (Garduño, 2004). The importance of water vapor and CO₂ in the atmosphere is such that without their presence the current average temperature of the planet would be about 33 °C colder and therefore the planet would be frozen (Schlesinger, 1997). The CO₂ is a natural component of air and has always existed in the atmosphere, what man has done is increase it and this is what leads to increased greenhouse effect (Garduño, 2004).

To determine the biomass of trees and their allometric equations generate direct or destructive methods involving destruction of trees evaluated are used, since as indicated Fehse, *et al.* (2002) direct methods are based on the demolition and weighing vegetation. Therefore, because it is not always possible to tear down and destroy trees to evaluate their allometric equations to generate most of the work on the subject Acosta *et al.* (2002); Díaz *et al.* (2007); Juárez (2008); Avendaño *et al.* (2009); have used destructive to estimate biomass and have focused primarily assess species

ecuaciones alométricas, la mayoría de los trabajos acerca del tema Acosta *et al.* (2002); Díaz *et al.* (2007); Juárez (2008); Avendaño *et al.* (2009); han utilizado métodos destructivos para estimar la biomasa y se han enfocado en evaluar principalmente especies de interés maderable, se consideró importante estimar la biomasa y carbono mediante un método no destructivo para una especie de escasa importancia comercial, pero de gran importancia ambiental, como lo son las especies de la vegetación riparia, ya que aunque que se asume que esta vegetación juega un papel crucial en el ciclo del carbono es poca la información disponible sobre los almacenes de este elemento en dichos ecosistemas.

El objetivo de esta investigación fue generar las ecuaciones alométricas de biomasa y carbono mediante un método no destructivo para la especie arbórea (*Alnus acuminata* K.) de un transecto del bosque de galería del río Texcoco.

Materiales y métodos

El trabajo de campo se desarrolló en un transecto del bosque de galería del río Texcoco, localizado específicamente en la sección del río que atraviesa la comunidad de San Pablo Ixayoc, municipio de Texcoco, Estado de México, México. El transecto fue seleccionado bajo el criterio mejor estado de conservación y abundancia de la vegetación riparia, midió 960 m de longitud, inició en el puente Zacasolco y terminó en el puente Aclamaxa. Las coordenadas geográficas de ambos puntos son los 19° 28' 44.9" y los 19° 28' 56.6" de latitud norte y los 98° 47' 55.7" y los 98° 48' 43.8" de longitud oeste, ubicados a 2 512 y 2 463 msnm respectivamente.

El clima del área de estudio es semifrío con una temperatura media anual entre 5 y 12 °C. La temperatura media del mes más frío varía de -3 a 18 °C y la del mes más cálido entre 6.5 y 22 °C siendo este el mes más húmedo de los climas semifríos subhúmedos con lluvias en verano. La precipitación del mes más seco es menor a 40 mm y el porcentaje de lluvia invernal menor a 5 mm. En la zona la precipitación total anual varía a lo largo del gradiente altitudinal, registrándose precipitaciones de 800 mm en la parte baja y de hasta 1 200 mm en la parte más alta donde se encuentra el bosque de pino y pradera alpina (INEGI, 2001).

La vegetación arbórea del área de estudio varía también según el gradiente altitudinal, a la altura de San Pablo Ixayoc se presentan los bosques de encino, dominados por diferentes

of timber interest methods, it was considered important to estimate biomass and carbon using a nondestructive method for a kind of scarce commercial importance, but of great environmental importance, as they are species of riparian vegetation, because although it is assumed that this vegetation plays a crucial role in the carbon cycle is little information available on the stores of this element in these ecosystems.

The objective of this research was to generate allometric equations and biomass carbon by a nondestructive method for tree species (*Alnus acuminata* K) a transect gallery forest river Texcoco.

Materials and methods

Fieldwork was conducted in a forest transect gallery Rio Texcoco, located specifically in the section of the river that runs through the community of San Pablo Ixayoc, municipality of Texcoco, Estado de Mexico, Mexico. The transect was selected under the criterion best condition and abundance of riparian vegetation, measured 960 m in length, began in the Zacasolco bridge and ended up in the Aclamaxa bridge. The geographical coordinates of both points are 19° 28' 44.9" and 19° 28' 56.6" north latitude and 98° 47' 55.7" and 98° 48' 43.8" W, located at 2 512 and 2 463 m respectively.

The climate of the study area is semicold with an average annual temperature between 5 and 12 °C. The average temperature of the coldest month ranges from -3 to 18 °C and the hottest month between 6.5 and 22 °C being the wettest semicold sub-humid climates with summer rains month. The precipitation of the driest month is less than 40 mm and the percentage of winter rain less than 5 mm. In the area the total annual rainfall varies along the altitudinal gradient, registering rainfall of 800 mm at the bottom and up to 1 200 mm at the top where the pine forest and alpine meadow (INEGI, 2001).

The arboreal vegetation of the study area also varies depending on the altitudinal gradient, at the height of San Pablo Ixayoc forests of oak, dominated by different species of the genus *Quercus* (oak), these forests are as a transition between the present coniferous forests and jungles can reach from 4 to 30 m in height; They can be open or very dense and develop in different ecological conditions (Martínez, 2010).

especies del género *Quercus* (encinos o robles), estos bosques se encuentran como una transición entre los bosques de coníferas y las selvas pudiendo alcanzar desde los 4 hasta los 30 m de altura; pueden ser abiertos o muy densos y se desarrollan en diversas condiciones ecológicas (Martínez, 2010). El área de trabajo se localiza sobre la cordillera Sierra Nevada, se presentan los suelos Feozem en la parte alta baja y Cambisol en la parte más alta ambos de textura media (INEGI, 2001).

Se realizó un barrido florístico cuantitativo del transecto, para ello se delimitaron parcelas de muestreo de 600 m² (12 m de ancho por 50 m de largo), estas se establecieron de manera longitudinal y zigzagueante de acuerdo al cauce del río y abarcaban tanto la corriente de agua, que en esa época del año (nov. - oct., 2012) medía entre 1 y 1.5 m de ancho, así como ambas franjas del bosque de galería. En cada parcela de muestreo se contabilizaron todas las especies arbóreas presentes con un diámetro a la altura de pecho (DAP), medido a 1.3 m, mayor a 5 cm y se calcularon sus índices de valor de importancia relativa (IVIR) mediante la siguiente ecuación tomada de Stiling (1999).

$$IVIR = \frac{Dr + Pr + Fr}{3}$$

Donde: IVIR= índice de valor de importancia relativa; Dr= densidad relativa; Pr= predominio relativo; y Fr= frecuencia relativa.

$$Dr = \frac{D}{D1} (100)$$

Donde: D= densidad de cada especie; D1= densidad de todas las especies.

$$Pr = \frac{P}{P1} (100)$$

Donde: P= área basal de cada especie; P1= área basal de todas las especies.

$$Fr = \frac{F}{F1} (100)$$

Donde: F= número de parcelas en que ocurre cada especie; F1= número de parcelas muestreadas.

Las ramas se clasificaron en cuatro categorías diamétricas: delgadas, medianas, gruesas y extra gruesas. Se realizó un inventario de ramas por copa, se contabilizó el número de ramas presente en estas, se registró su categoría diamétrica respectiva y se pudo en cada copa una rama de cada categoría diamétrica existente empleando una segueta forestal.

The work area is located on the Sierra Nevada mountain range, the Feozem soils occur in the top and bottom Cambisol in the top two of medium texture (INEGI, 2001).

A quantitative floristic sweep transect was performed for this sample plots of 600 m² (12 m wide by 50 m long) were defined, these were established longitudinal and zigzagging manner according to the river and covered both the current water, which at that time of year (November- October, 2012) measured between 1 and 1.5 m wide, and two strips of gallery forest. In each sample plot all tree species present with a diameter at breast height (DAP), measured at 1.3 m, greater than 5 cm and value indices of relative importance (IVIR) were calculated using the following equation counted taken from Stiling (1999).

$$IVIR = \frac{Dr + Pr + Fr}{3}$$

Where: IVIR= index value relative importance; Dr= relative density; Pr= relative predominance; and Fr= relative frequency.

$$Dr = \frac{D}{D1} (100)$$

Where: D= density of each species; D1= density of all species.

$$Pr = \frac{P}{P1} (100)$$

Where: P= basal area of each species; P1= basal area of all species.

$$Fr = \frac{F}{F1} (100)$$

Where: F= number of plots in each species occurs; F1= number of sampled plots.

The branches were classified into four diametric categories: thin, medium, thick and extra thick. An inventory of branches by the glass was made, the number of branches present in these are recorded, their respective diameter class was recorded and pruned in each cup a branch of each existing diameter class using a hacksaw forest.

In the tree 1 only one branch pruned as this thin branches presented only in 2 two branches were pruned, this appeared thin and medium branches. Tree 3 to 8 per copy three branches were cut, these trees had thin, medium and thick branches. Trees 9 and 10 presented the four categories of

En el árbol 1 sólo se podó una rama ya que este presentó únicamente ramas delgadas, en el 2 se podaron dos ramas, este presentaba ramas delgadas y medianas. Del árbol 3 al 8 se cortaron tres ramas por ejemplar, estos árboles contaban con ramas delgadas, medianas y gruesas. Los árboles 9 y 10 presentaron las cuatro categorías de ramas, pero las primeras tres categorías formaban parte de la cuarta, por ello se consideró que estos árboles sólo presentaban el tipo de ramas extra gruesas, de esta categoría solo se cortó una rama por árbol.

En total se podaron 23 ramas: 8 delgadas, 7 medianas, 6 gruesas y 2 extra gruesas, todas fueron separadas en los componentes madera de las ramas (mr) y hojas (h). Los componentes de cada rama se pesaron con una báscula de reloj de 15 kg de capacidad y sus valores se agruparon y promediaron por tipo de rama para generar el peso fresco (PF) por componente según cada categoría diamétrica. Con esos valores y el inventario de ramas por árbol se calculó el aporte en peso fresco de cada componente a la biomasa de cada copa.

En campo se colectó una muestra de hojas de 500 g por árbol y de las 23 ramas se extrajo una rodaja basal de madera de aproximadamente 5 cm de grosor. En el laboratorio se obtuvo el PF de las rodajas de madera con una báscula marca Volke SF- 400 con capacidad de 5 kg y se colocó todo el material vegetal en una estufa de secado a 90 °C hasta que alcanzó un peso constante o peso seco (PS), esto sucedió a las 24 h en las muestras de hojas, a las 48 h en las rodajas con diámetros entre 5 y 20 cm y a las 96 h en las rodajas con diámetros mayores a 20 cm.

Los valores del PF y PS por componente se utilizaron para determinar su contenido de humedad en porcentaje (CH%). Los contenidos de humedad resultantes se promediaron por componente y los resultados se asumieron como su respectivo contenido promedio de humedad en porcentaje. Con los porcentajes promedio de humedad y el inventario de ramas se determinó el contenido de biomasa en peso seco de cada componente por copa (Cuadro 1) empleando para ello la siguiente fórmula:

$$B = (Pf - (Pf * CH\%)) / 100$$

Donde: B= biomasa en peso seco; Pf= Peso fresco; CH %= contenido de humedad en porcentaje.

branches, but the first three categories were part of the fourth, for it was considered that these trees only had the kind of extra thick branches, this category only cut one branch per tree.

The 23 total branches pruned: 8 thin, 7 medium, 6 thick and 2 extra thick, all were separated on the wood components of the branches (mr) and leaves (h). The components of each branch were weighed with a scale clock 15 kg capacity and their values were pooled and averaged by type of branch to generate fresh weight (PF) for each component according to diameter class. With these values and the inventory of tree branches the contribution was calculated in fresh weight of each component biomass of each cup.

Field sample leaves 500 g per tree and branches 23 a basal slice of wood of about 5 cm thick was extracted was collected. In the laboratory the PF was obtained from slices of wood with a scale mark Volke SF- 400 with capacity of 5 kg and all plant material was placed in a drying oven at 90° C until it reached a constant weight or dry weight (PS), this happened at 24 h in leaf samples at 48 h in slices with diameters between 5 and 20 cm and 96 h in slices with diameters larger than 20 cm.

The values PF and PS per component were used to determine moisture content in percentage (CH%). Moisture content resulting component were averaged and the results are assumed as their respective average moisture content percentage. With the average percentages of moisture and branches stock biomass content was determined by dry weight of each component by the glass (Table 1) by using the following formula:

$$B = (Pf - (Pf * CH\%)) / 100$$

Where: B= biomass dry weight; Pf= Fresh weight; CH%= percentage moisture content.

Adding biomass dry weight of the wood of the branches (Bmr) and leaves (Bh) total biomass was obtained dry weight of the respective cup (BC) (Table 1).

Of the 23 slices of wood were selected at random per tree was determined volume using sand (ground commercial mixture of stone Company Cantocreto Palsa SA de CV) and a plastic container so neiloide (basal

Al sumar la biomasa en peso seco de la madera de las ramas (Bmr) y de las hojas (Bh) se obtuvo la biomasa total en peso seco de la respectiva copa (BC) (Cuadro 1).

diameter: 16 cm, upper diameter: 13 cm, height: 11.5 cm) which it determines the volume (1 905.77 cm³) using the formula:

Cuadro 1. Características dasométricas y contenido de biomasa y carbono de 10 árboles de aile (*Alnus acuminata* K).
Table 1. Characteristics and dasometric biomass and carbon content 10 alder trees (*Alnus acuminata* K).

Árbol	DAP	At (m)	Af (m)	BMR (mg)	Bf (mg)	Bc (mg)	BF (mg)	BTa (mg)
1	0.16	7	5.6	0.01	0	0.01	0.05	0.05
2	0.29	15	9.75	0.1	0.04	0.14	0.26	0.4
3	0.37	16.5	7.65	0.2	0.06	0.27	0.34	0.61
4	0.44	19.5	12.05	0.43	0.13	0.56	0.75	1.31
5	0.5	20	11	0.53	0.16	0.68	0.88	1.57
6	0.55	19.5	13.1	0.38	0.13	0.51	1.27	1.78
7	0.62	18	9.5	0.35	0.1	0.45	1.17	1.62
8	0.72	18.5	3.93	0.47	0.12	0.59	0.65	1.25
9	1	25	7.85	1.25	0.25	1.49	2.52	4.02
10	1.05	23.5	8.6	1.07	0.21	1.28	3.05	4.33

DAP= diámetro a la altura de pecho (1.3 m), At= altura total, Af= altura de fuste limpio, BMR= biomasa de la madera de las ramas, Bf= biomasa del follaje, Bc= biomasa de la copa, BF= biomasa del fuste, BTa= biomasa total por árbol.

De las 23 rodajas de madera se seleccionó al azar una por árbol y se les determinó su volumen empleando arena (mezcla comercial de piedra molida de la empresa Cantocreto Palsa S. A de C. V.) y un recipiente de plástico de forma neiloide (diámetro basal: 16 cm, diámetro superior: 13 cm, altura: 11.5 cm) al cual se le determinó su volumen (1 905.77 cm³) mediante la siguiente fórmula:

$$V = \frac{1}{3} \pi h (R^2 + r^2 + Rr)$$

Donde: V= volumen (cm³); $\pi=3.1416$; h= altura; R= radio mayor; r= radio menor.

El procedimiento consistió en tamizar con una malla No. 60 una cantidad de arena del doble del volumen del contenedor, obteniéndose 3 500 g de arena tamizada que fueron depositados en una cubeta de plástico. Después en el contenedor neiloide se vertieron los 3 500 g de arena tamizada y el exceso de material formó un montículo que, sin presionarlo, fue desbastado con una regla metálica hasta el ras del contenedor, todo el material desbastado fue colectado

$$V = \frac{1}{3} \pi h (R^2 + r^2 + Rr)$$

Where: V= volume (cm³); $\pi= 3.1416$; h= height; R= radius greater; r= smallest radius.

The procedure was to sift through a mesh No. 60 an amount of sand twice the volume of the container to give 3 500 g of sifted sand were deposited in a plastic bucket. After the neiloide container 3 500 g of sieved sand was poured and the excess material formed a mound, without pressing, was abraded with a metal ruler to flush the container, all the abraded material was collected and discarded. Then the container was weighed along with the sand that was inside after roughing (2 842.1 g) and this material was returned to the plastic bucket. Subsequently, for each volume determination in neiloide container is poured directly from the pail a sand layer about 5 cm thick and without pressing was placed on this slice of wood to be evaluated, then it poured into the container all the remaining sand in the bucket.

y desechado. En seguida se pesó el contenedor junto con la arena que quedó en su interior después del desbaste (2 842.1 g) y este material fue regresado a la cubeta de plástico. Posteriormente, por cada determinación de volumen, en el contenedor neiloide se vertía directamente de la cubeta una capa de arena de aproximadamente 5 cm de espesor y sin presionarla se colocaba sobre esta la rodaja de madera a evaluar, después se vertía al interior del contenedor toda la arena restante en la cubeta.

Los fustes se subdividieron ascendentemente en secciones lo más cilíndricas posible y procurando que el cambio de dimensiones entre el diámetro basal y apical de cada sección fuera lo menos drástico posible. Los extremos de cada sección fueron marcados sobre los fustes con líneas horizontales de aproximadamente 15 cm hechas con una segueta forestal. Se midió el diámetro basal y apical de cada sección y el promedio de estos se consideró como el diámetro general de la sección respectiva mientras que la longitud existente entre ambos diámetros se consideró como su altura. Con estos datos se calculó el volumen de cada sección como si estas hubieran sido de forma cilíndrica perfecta, empleando para ello la siguiente fórmula:

$$V = \pi r^2 h$$

Donde: V= volumen; $\pi=3.1416$; r= radio; h= altura

La suma de las longitudes individuales de las secciones en que se subdividió el fuste se asumió como la altura de fuste limpio (Afl), y la suma de los volúmenes individuales de sus respectivas secciones se asumió como su volumen real o total. Con estos datos se determinó el factor de forma de los fustes el cual es un factor de reducción que indica la conicidad de un árbol y se expresa como el volumen real del árbol dividido por el volumen de un sólido cilíndrico de referencia cuyas dimensiones corresponden al DAP y altura de fuste limpio del árbol que representa (Romahn *et al.*, 1994).

La biomasa de los fustes (BF) (Cuadro 1) se obtuvo con la siguiente fórmula propuesta por Fehse *et al.* (2002):

$$BF = DM(1/4\pi(DAP)^2 * Afl * Ffp)$$

Donde: BF= biomasa del fuste (Mg); DM= densidad de la madera de la especie ($Mg\ m^{-3}$); DAP= diámetro a la altura del pecho (m); Afl= altura de fuste limpio (m); Ffp= factor de forma promedio de la especie.

The shafts were subdivided upwardly in cylindrical sections as possible and ensuring that the dimensional change between the basal and apical diameter of each section was at least possible dramatic. The ends of each section were scored on the shafts with horizontal lines of approximately 15 cm made forest hacksaw. The basal and apical diameter of each section and the average of these measured was taken as the overall diameter of the respective section while the existing length between both diameters was regarded as its height. With these data, the volume of each section is calculated as if they would have been perfect cylindrical shape, using the following formula:

$$V = \pi r^2 h$$

Where: V= volume; $\pi= 3.1416$; r= radius; h= height

The sum of the individual lengths of the sections in which the shaft is subdivided assumed as the height of clear bole (Afl), and the sum of the individual volumes of the sections was assumed as their actual or total volume. With these data the form factor of the shafts which is a reduction factor which indicates the taper of a tree and is expressed as the actual volume divided by the volume of a cylindrical solid reference tree determined dimensions corresponding to DAP height and clear bole of the tree representing (Romahn *et al.*, 1994).

The biomass of stems (BF) (Table 1) was obtained with the following formula proposed by Fehse *et al.* (2002):

$$BF = DM(1/4\pi(DAP)^2 * Afl * Ffp)$$

Where: BF= stem biomass (Mg); DM= density of the wood species ($Mg\ m^{-3}$); DAP= diameter at breast height (m); Afl= clear bole height (m); Ffp= average shape factor of the species.

Adding biomass drink (BC) to the biomass of the respective shaft (BF) was obtained the total biomass per tree (BTA).

Additionally, the percentage of carbon from the wood of the branches and leaves, for that, of the 10 trees evaluated quantified they chose five covering equally the range of DAP and analyzed by each tree a representative sample of the wood of the branches and one of the sheets. From each sample, 100 g of plant material is milled to pulverize using a mill Thomas Wiley Mill Model ED-5; in the case of wood slices, these first had to be converted into thin

Al sumar la biomasa de la copa (BC) a la biomasa del fuste respectivo (BF) se obtuvo la biomasa total por árbol (BTA).

Adicionalmente se cuantificó el porcentaje de carbono de la madera de las ramas y las hojas, para ello, de los 10 árboles evaluados se eligieron cinco cubriendo equitativamente el rango de DAP y se analizó por cada árbol una muestra representativa de la madera de las ramas y una de las hojas. De cada muestra se molieron 100 g de material vegetal hasta pulverizarlo empleando un molino Thomas Wiley Mill Modelo ED-5; en el caso de las rodajas de madera, estas primero tuvieron que ser convertidas en astillas delgadas usando un formón de carpintero y un mazo. Las 10 muestras se analizaron en el autodeterminador automático de carbono marca Shimadzu Modelo TOC SSM 5050A de acuerdo a los procedimientos del Laboratorio de Fertilidad de Suelos del Colegio de Postgraduados (Etchevers, 1992).

El contenido de carbono de cada muestra se usó para obtener el porcentaje promedio de carbono por componente. Debido a que no se derribaron árboles, el promedio de carbono de la madera de las ramas se empleó como el porcentaje promedio de carbono de los fustes. Con los valores de carbono por componente y los datos de biomasa en peso seco de la copa y de los fustes se determinó el contenido de carbono de estas estructuras mediante la siguiente expresión tomada de Díaz *et al.* (2007):

$$CCC = BTC * \% C$$

Donde: CCC= contenido de carbono del componente; BTC= biomasa total del componente (kg); (% C= porcentaje de carbono del componente. Al sumar el contenido de carbono de la copa al contenido de carbono del fuste respectivo se obtuvo el contenido de carbono total por árbol (CCA) (Cuadro 1). Para generar las ecuaciones alométricas de biomasa y carbono se emplearon dos modelos: un lineal y un exponencial, como lo indican Rüginitz *et al.* (2008); Gayoso (2002) respectivamente y expresados de la siguiente manera:

$$\text{Modelo 1: } Y = B_0 + B_1 X_i \quad i=1, 2, 3 \dots n$$

Donde: Y= biomasa (Mg); X= DAP (cm) y B_0 y B_1 son los parámetros del modelo.

$$\text{Modelo 2: } Y = b X^k$$

Donde: Y= biomasa (kg); X= DAP (cm); y b y k son los parámetros de la función.

slivers carpenter using a chisel and mallet. The 10 samples were analyzed in automatic carbon autodeterminador brand Model Shimadzu TOC 5050A SSM according to the procedures of the Laboratory of Soil Fertility Postgraduate College (Etchevers, 1992).

The carbon content of each sample was used to obtain the average percentage of carbon component. Because no trees are felled, the average carbon from the wood of the branches was used as the average percentage of carbon shafts. With carbon values per component and data of biomass dry weight of the cup and shanks the carbon content of these structures it was determined by the following expression taken from Díaz *et al.* (2007):

$$CCC = BTC * \% C$$

Where: CCC= carbon content of the component; BTC= total biomass of component (kg); (% C= carbon percentage component. By adding the carbon content of the cup to the carbon content of the respective stem the total carbon content per tree (CCA) (Table 1) was obtained. Allometric equations to generate biomass and carbon two models were used: linear and exponential, as indicated Rüginitz *et al.* (2008); Gayoso (2002) and expressed respectively as follows:

$$\text{Model 1: } Y = B_0 + B_1 X_i \quad i=1, 2, 3 \dots n$$

Where: Y= biomass (Mg); X= DAP (cm) and B_0 and B_1 are the model parameters.

$$\text{Model 2: } Y = b X^k$$

Where: Y= biomass (kg); X= DAP (cm); and b and k are the function parameters.

The fit of the models to generate proposals allometric equations was performed using the SAS statistical analysis program (2002).

Results and discussion

The 762 trees were inventoried belonging to 9 species with the following IVIR, alder (*Alnus acuminata* K.); 36.81%, ash (*Flaxinus uhdei* W): 14.73%, oak (*Quercus rugosa* N): 14.12%, weeping willow (*Salix* spp): 11.92%, tepozan (*Buddleia cordata* K): 7.62%, pepper tree (*Schinus molle*

El ajuste de los modelos para generar las ecuaciones alométricas propuestas se realizó empleando el programa de análisis estadístico SAS (2002).

Resultados y discusión

Se inventariaron 762 árboles pertenecientes a 9 especies con los siguientes IVIR, aile (*Alnus acuminata* K.): 36.81%, fresno (*Flaxinus uhdei* W.): 14.73%, encino (*Quercus rugosa* N.): 14.12%, sauce llorón (*Salix* spp.): 11.92%, tepozán (*Buddleia cordata* K.): 7.62%, pirul (*Schinus molle* L.): 6.37%, cedro (*Cupressus lusitanica* M.): 4.63%, tejocote (*Crataegus* spp.): 3.33% y eucalipto (*Eucaliptus* spp.): 0.46%.

Respecto a la biomasa de las copas, las ramas de categoría diamétrica: delgadas, medianas, gruesas y extra gruesas presentaron diámetros basales que midieron entre 5 y 10, 10 y 15, 15 y 20, y entre 20 y 25 cm respectivamente, con un peso fresco promedio de la madera de 3.5, 15.2, 49.5 y 174.6 kg y de las hojas de 2.5, 7.5, 23.5 y 46.6 kg respectivamente. Mientras que sus valores promedio en peso seco para la madera de las ramas y las hojas fueron de 1.79, 7.75, 25.25, y 89.05 kg y 0.95, 2.85, 8.93 y 17.71 kg respectivamente. La madera de las ramas y las hojas presentaron porcentajes de humedad que variaron de 43 a 57% y de 55 a 68% con promedios de 49 y 62% respectivamente. La madera de las ramas aportó una mayor cantidad de biomasa a la copa en comparación con las hojas, en promedio la madera de las ramas aportó a cada árbol 0.42 Mg de biomasa y las hojas 0.1 Mg.

Respecto a la biomasa del fuste, el número mínimo y máximo de secciones en que estos fueron delimitados varió de 4 a 7, en todas el diámetro basal fue mayor al apical, no hubo dos secciones que midieran lo mismo ni dentro de un mismo árbol ni dentro de todos los árboles, la sección más corta midió 30 cm de longitud y la más larga 3.5 m. Entre mayor fue la altura de los fustes mayor fue también el número de secciones en que estos se delimitaron, la altura de fuste limpio vario de 3.93 a 13.10 m y el factor de forma (Ff_p) de 0.5 a 0.75 con un valor promedio de 0.66. Los resultados mostraron, con excepción de los árboles 7 y 8, que el volumen de los fustes limpios no fue proporcional a su longitud si no a su DAP, entre mayor fue el DAP mayor fue también su volumen. Los volúmenes variaron de 0.08 a 4.38 m³ para los árboles con menor y mayor DAP respectivamente y el volumen promedio fue de 1.66 m³. Su biomasa varió de 0.05 a 3.05 Mg para los árboles con el menor y mayor DAP respectivamente.

L): 6.37%, cedar (*Cupressus lusitanica* M): 4.63%, hawthorn (*Crataegus* spp): 3.33% and eucalyptus (*Eucaliptus* spp): 0.46%.

With regard to the biomass of the tops, branches of diameter category: thin, medium, thick and extra thick showed basal diameters measured between 5 and 10, 10 and 15, 15 and 20, and between 20 and 25 cm respectively, with an average wood 03.05, 15.2, 49.5 and 174.6 kg and leaves 2.5, 7.5, 23.5 and 46.6 kg fresh weight respectively. While their average values for wood dry weight of the branches and the leaves were 1.79, 7.75, 25.25, and 89.05 kg and 0.95, 2.85, 8.93 and 17.71 kg respectively. The wood of the branches and leaves had humidity which ranged from 43-57% and 55-68% with averages of 49 and 62% respectively. Wood of branches provided a greater biomass compared to the cup with the leaves, on average wood of branches provided to each tree biomass 0.42 Mg and 0.1 Mg leaves.

Regarding stem biomass, the minimum and maximum number of sections in which they were defined ranged from 4 to 7, all basal diameter was greater than apical, no two sections that measured the same or within a tree or all trees within the shortest section measured 30 cm long and the longest 3.5 m. The higher was the height of the highest bole was also the number of sections in which they were defined, the height of clear bole varied from 3.93 to 13.10 m and the form factor (Ff_p) of 0.5 to 0.75 with an average value of 0.66. The results showed, with the exception of shafts 7 and 8, the volume of clean shafts was not proportional to length if not DAP, the greater was the largest volume was also DAP. The volumes ranged from 0.08 to 4.38 cubic meters for trees with lower and higher respectively DAP and the average volume was 1.66 m³. Biomass ranged from 0.05 to 3.05 Mg for trees with the lowest and highest DAP respectively.

The percentage of biomass in trees was distributed as follows: 64.92, 27.06 and 8.02 in the shaft, the wood of the branches and leaves respectively. The carbon content varied from 48.2 to 50.3% and 47.1% to 46.5 in the wood of the branches and foliage with averages of 48.9% and 47.1% respectively. These results differ to those reported in similar jobs where the foliage has a higher carbon content (Díaz *et al.*, 2007; Juárez, 2008; Gómez *et al.*, 2011). This could be due to the high proportion (50%) of small branches in samples analyzed foliage. By multiplying the values of biomass dry weight of the wood

El porcentaje de la biomasa en los árboles se distribuyó de la siguiente manera: 64.92, 27.06 y 8.02 en el fuste, la madera de las ramas y las hojas respectivamente. El contenido de carbono varió de 48.2 a 50.3% y de 46.5 a 47.1% en la madera de las ramas y el follaje con promedios de 48.9% y 47.1% respectivamente. Estos resultados varían a los reportados en trabajos similares donde el follaje presenta mayor contenido de carbono (Díaz *et al.*, 2007; Juárez, 2008; Gómez *et al.*, 2011). Esto pudo deberse a la alta proporción (50%) de ramillas en las muestras de follaje analizadas. Al multiplicar los valores de la biomasa en peso seco del componente madera de las ramas y follaje por sus respectivos porcentajes promedio de contenido de carbono se obtuvo el contenido de carbono de estos componentes por árbol (CCMR y CCf) y al sumar estos se definió el contenido de carbono de cada copa (CCc) (Cuadro 1).

El contenido de carbono de los fustes (CCF) se obtuvo al multiplicar el valor de su biomasa por el porcentaje promedio del contenido de carbono en la madera de las ramas. Se utilizó este último porcentaje ya que al no haberse derribado árboles no se contaba con muestras de madera del fuste y en general el contenido de carbono en los fustes siempre es más similar al de las ramas en comparación con el del follaje (Gómez *et al.*, 2001; Díaz *et al.*, 2007; Juárez, 2008). Finalmente la suma del contenido de carbono de la copa (CCc) y del fuste (CCF) generó el valor del contenido de carbono en cada árbol (CCa) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Contenido de carbono en 10 árboles de aile (*Alnus acuminata* K.).

Table 1. Carbon content in 10 alder trees (*Alnus acuminata* K.).

Árbol	DAP (m)	CCMR (Mg)	CCf (Mg)	CCc (Mg)	CCF (Mg)	CCa (Mg)
1	0.16	0	0	0	0.02	0.03
2	0.29	0.05	0.02	0.07	0.13	0.2
3	0.37	0.1	0.03	0.13	0.16	0.3
4	0.44	0.21	0.06	0.27	0.37	0.64
5	0.5	0.26	0.07	0.33	0.43	0.77
6	0.55	0.19	0.06	0.25	0.62	0.87
7	0.62	0.17	0.05	0.22	0.58	0.79
8	0.72	0.23	0.06	0.29	0.32	0.61
9	1	0.61	0.12	0.73	1.24	1.96
10	1.05	0.52	0.1	0.62	1.49	2.12

DAP= diámetro a la altura de pecho (1.3 m); CCMR= contenido de carbono en la madera de las ramas; CCf= contenido de carbono en el follaje; CCc= contenido de carbono de la copa; CCF= contenido de carbono del fuste; CCa= contenido de carbono por árbol.

Las ecuaciones alométricas generadas con los valores del DAP de los 7 árboles y determinadas mediante el modelo lineal presentaron un coeficiente de determinación altamente satisfactorio ($R^2= 0.99$) y quedaron expresadas como:

component of the branches and foliage by their respective percentages average carbon content carbon content of these components per tree (CCMR and CCf) was obtained and by adding these defined the carbon content of each cup (CCc) (Table 1).

The carbon content of the shanks (CCF) was obtained by multiplying the value of their biomass by the average percentage of carbon content in the wood of the branches. This percentage was used since not been felled trees not had samples of stem wood and overall carbon content in the shafts is always more similar to the branches compared to the foliage (Gómez *et al.*, 2001; Díaz *et al.*, 2007; Juárez, 2008). Lastly, the sum of the carbon content of the cup (CCc) and the shaft (CCF) generated the value of the carbon content in each tree (CCa) (Table 1).

The allometric equations generated with DAP values of the 7 trees and determined by the linear model showed a highly satisfactory coefficient of determination ($R^2= 0.99$) and were expressed as:

$$B= 0.0516DAP - 1.0939 \text{ and } CCA= 0.0252DAP - 0.531$$

Where: B and CCA are biomass content (Mg) and tree carbon (Mg) respectively and DAP is the diameter at breast height (1.3 m). However, both equations generated

negative values of biomass and carbon to use them in DAP less than 23 cm, unlike the equations generated by the exponential model although ratios lower determination ($R^2= 0.95$) these did not generate negative values to use

$$B = 0.0516DAP - 1.0939 \text{ y } CCA = 0.0252DAP - 0.531$$

Donde: B y CCA son el contenido de biomasa (Mg) y carbono por árbol (Mg) respectivamente y DAP es el diámetro a la altura de pecho (1.3 m). Sin embargo, ambas ecuaciones generaron valores negativos de biomasa y carbono al emplearlas en DAP menores a 23 cm, a diferencia de las ecuaciones generadas con el modelo exponencial que aunque con coeficientes de determinación menores ($R^2 = 0.95$) estas no generaron valores negativos al emplearlas en DAP menores a 23 cm. La ecuación alométrica para estimar biomasa en aile (*Alnus acuminata* K.) utilizando el modelo exponencial, quedó expresada como:

$$B = 0.0012DAP^{1.7877}$$

Donde: B es el contenido de biomasa por árbol (Mg) y DAP es el diámetro a la altura de pecho.

Los parámetros del modelo exponencial y la dispersión de puntos de los valores de biomasa observados se presentan en la Figura 1. Al ajustar la ecuación para determinar la biomasa en función del DAP se presentó un coeficiente de determinación de 0.95.

La ecuación alométrica para estimar el contenido de carbono en aile (*Alnus acuminata* K.) con el modelo exponencial, quedó expresada como:

$$CCA = 0.0006DAP^{1.7755}$$

Donde: CCA es el contenido de carbono por árbol (Mg) y DAP es el diámetro a la altura de pecho.

Los parámetros del modelo exponencial y la dispersión de puntos de los valores de carbono observados se presentan en la Figura 2. Al ajustar la ecuación para determinar el contenido de carbono en función del DAP se presentó un coeficiente de determinación de 0.95.

El alto IVIR del aile (36.81%) estuvo influenciado por sus porcentajes de densidad (27.82%) y frecuencia relativa (26.32%), pero fundamentalmente fue determinado por su porcentaje de predominio (56.30%), esto indicó un desarrollo sobresaliente de sus fustes en comparación con los de las otras ocho especies. Estos valores coincidieron con lo observado en campo donde sus DAP fueron desde los 5 hasta los 105 cm, y la altura de un gran número de sus elementos fue mayor a 20 m, mientras que en fresno (*Flaxinus uhdei*

them DAP less than 23 cm. Allometric equation to estimate biomass in alder (*Alnus acuminata* K.) using the exponential model was expressed as:

$$B = 0.0012DAP^{1.7877}$$

Where: B is the content of biomass per tree (Mg) and DAP is the diameter at breast height.

Exponential model parameters and the scattering points biomass values observed are presented in Figure 1. By adjusting the equation to determine the biomass according to the DAP was presented a determination coefficient of 0.95.

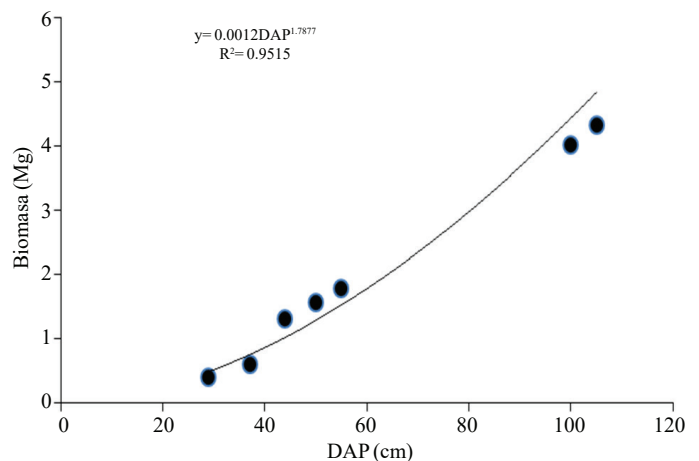


Figura 1. Dispersión de los valores de *Alnus acuminata* K. y la línea de regresión generada con los datos de contenido de biomasa utilizando el modelo exponencial.

Figure 1. Dispersion values of *Alnus acuminata* K. and the regression line generated with the content data using the exponential model biomass.

The allometric equation to estimate the carbon content alder (*Alnus acuminata* K.) with the exponential model was expressed as:

$$CCA = 0.0006DAP^{1.7755}$$

Where: CCA is the carbon content per tree (Mg) and DAP is the diameter at breast height.

Exponential model parameters and the scattering points observed values carbon presented in Figure 2. By adjusting the equation to determine the carbon content depending on the DAP was presented a determination coefficient of 0.95.

W.), la especie con el segundo mayor IVIR (14.73 %), los DAP de la especie sólo midieron de 5 a 74.80 cm y su altura en general fue menor a la de los ailes. El marcado desarrollo de los ailes se atribuyó a que por su altura captaban mayor radiación solar y podían fotosintetizar más, además de encontrarse creciendo en un medio ambiente favorable para su crecimiento, ya que como lo señala Rzedowski (1978), al igual que en muchas otras partes del mundo, los bosques de *Alnus* (“aile”) en México son de dos afinidades ecológicas principales: viven a lo largo de arroyos y pequeños ríos, o bien constituyen comunidades sucesionales, surgidas como consecuencia de la destrucción de otros tipos de bosque.

Los valores de biomasa observados en las copas y derivados del aporte de madera de las ramas y hojas mantuvieron el patrón reportado en otros trabajos (Acosta *et al.*, 2002; Díaz *et al.*, 2007; Avendaño *et al.*, 2009) en donde estos aumentan de forma directa al incrementarse los valores dasométricos de los árboles. Sin embargo, se considera que para obtener una mayor precisión al determinar la biomasa de la copa mediante el método empleado es conveniente podar un mayor número de ramas por copa en vez de solo podar una por categoría diamétrica o en su defecto realizar una clasificación más eficiente de ramas como puede ser el combinar con el diámetro la variable longitud de ramas.

La biomasa contenida en el fuste aumentó al aumentar su DAP más que su altura y este patrón se conservó en la mayoría de los árboles excepto en el 7 y 8. El fuste del árbol 7, a pesar de tener 10 cm más de DAP que el árbol 6, presentó un contenido de biomasa (1.17 Mg) ligeramente menor al del árbol 6 (1.27 Mg). El árbol 8 a pesar de su DAP de 0.72 m se vio severamente afectado por la escasa longitud de su fuste (3.93 m) lo que incidió para que este presentara una marcada disminución en la biomasa de esta estructura, ya que aunque por su DAP se esperaba que su fuste presentara mayor altura y en consecuencia alrededor de 1.5 Mg de biomasa, en realidad solo presentó 0.65 Mg; es decir, la mitad de lo esperado.

Esto pudo deberse a que muchos árboles a pesar de tener un DAP pronunciado sus fustes en un cierto punto tienden a bifurcarse o en algún punto de su desarrollo pudieron ser podados por los pobladores de la comunidad. Sin embargo, se mantuvo el patrón reportado en trabajos relacionados al tema (Acosta *et al.*, 2002; Díaz *et al.*, 2007; Avendaño *et al.*, 2009) en donde se reporta que el aporte del fuste a la biomasa del árbol aumenta de forma directa al incrementarse los valores dasométricos de los árboles. Respecto al factor de forma obtenido (0.66) se consideró que al ser menor a 1 fue calculado

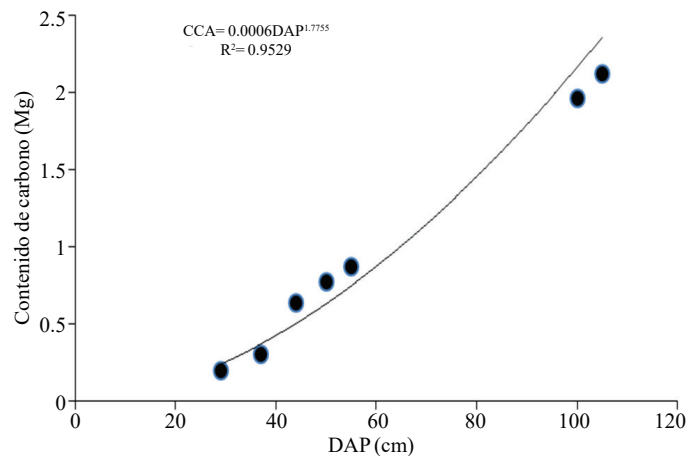


Figura 2. Dispersión de los valores de *Alnus acuminata* K. y la línea de regresión generada con los datos de contenido de carbono utilizando el modelo exponencial.

Figure 2. Dispersion values of *Alnus acuminata* K. and the regression line generated with carbon content data using the exponential model.

The high IVIR of alder (36.81%) was influenced by their percentages density (27.82%) and relative frequency (26.32%), but fundamentally was determined by the percentage of predominance (56.30%), this indicated an outstanding development of their shanks compared with the other eight species. These values coincided with that observed in the field where his DAP were from 5 to 105 cm, and the height of a large number of its elements was greater than 20 m, while ash (*Flaxinus uhdei* W), the species the second largest IVIR (14.73%), the DAP of the species measured only 5 to 74.80 cm and its height was generally lower than in the alders. The marked development of the alders was attributed to its height captured more solar radiation and could photosynthesize more besides found growing in a favorable environment for growth, since as noted Rzedowski (1978), as in many other parts of the world, forests of *Alnus* (alder) in Mexico are two main ecological affinities: live along streams and small rivers, or are successional communities arising as a result of the destruction of other forest types.

Biomass values observed in the cups and derivatives supply of wood from branches and leaves maintained reported in other work pattern (Acosta *et al.*, 2002; Díaz *et al.*, 2007; Avendaño *et al.*, 2009) where these increases directly with increasing the values of trees dasometric form. However, it is considered that for greater accuracy in determining the biomass of the glass by the method employed is desirable to prune more branches by the glass instead of just trimming

de manera satisfactoria ya que como lo señala Romahn *et al.* (1994), tratándose de fustes el valor del coeficiente mórfico o factor de forma siempre es menor que la unidad.

El contenido de carbono total por árbol tendió a incrementarse al aumentar el DAP, la altura total del árbol (At) y la altura de fuste limpio (Afl), estos valores fluctuaron de 0.03 a 2.12 Mg para los árboles con el mayor y menor DAP respectivamente. El fuste aportó la mayor parte del carbono a los árboles en comparación con la copa, en promedio el fuste aportó 0.54 y la copa 0.29 Mg por árbol (1), estas proporciones coinciden con las reportadas en trabajos referentes al tema (Díaz *et al.*, 2007; Juárez, 2008; Gómez *et al.*, 2011). Por lo que se consideró que no hubo un efecto adverso al utilizar el porcentaje de carbono de las ramas para estimar el porcentaje de este elemento en los fustes.

Respecto al contenido promedio de carbono en la madera de las ramas y las hojas los valores obtenidos (48.9 y 47.1%), variaron ligeramente a los reportados en trabajos similares en donde las hojas presentan mayor contenido de carbono (Díaz *et al.*, 2007; Juárez, 2008; Gómez *et al.*, 2011). Esto pudo deberse a la alta proporción de ramillas, alrededor de 50%, en las muestras de hojas analizadas en este trabajo. Sin embargo, se conservó el patrón observado en relación al aporte parcial de carbono por parte del fuste, ramas y hojas al contenido total de este elemento en el árbol.

La eliminación de los árboles 1, 7 y 8 del análisis, generó ecuaciones alométricas con mayores coeficientes de determinación en ambos modelos. Los coeficientes de determinación obtenidos, mayores a 0.9, indicaron que en la determinación de biomasa y carbono en *Alnus acuminata* K. es confiable tomar el DAP como variable explicatoria. Se consideró que el mejor modelo para generar las ecuaciones alométricas fue el exponencial, coincidiendo con Gayoso (2002) quien señala que existe preferencia por este modelo debido a que expresa una proporcionalidad de los incrementos relativos entre dos componentes del árbol, aunado a que es ampliamente consistente para distintas formas de crecimiento

Conclusiones

El aile (*Alnus acuminata* K.) fue la especie arbórea con el mayor IVIR (36.81%) del transecto del bosque de galería estudiado.

one by diameter class or failing to perform a more efficient classification branches as can be combined with the variable length diameter branches.

The biomass contained in the shaft increased by increasing DAP than its height and this pattern was retained in most of the trees except 7 and 8. The shaft of the shaft 7, despite having 10 cm over the DAP shaft 6, presented a biomass content (1.17 Mg) slightly lower than the shaft 6 (1.27 Mg). The shaft 8 despite its DAP of 0.72 m was severely affected by the low length of its stem (3.93 m) which affected so that this presented a marked decline in the biomass of this structure, because although its DAP expect his shaft submit higher and consequently about 1.5 Mg biomass actually presented only 0.65 Mg; i.e. half expected.

This might be because many trees despite having a pronounced DAP their stems at some point tend to bifurcate or at some point in their development could be pruned by the residents of the community. However, the pattern reported in work related to the topic (Acosta *et al.*, 2002; Díaz *et al.*, 2007; Avendaño *et al.*, 2009) remained where it is reported that the contribution of the stem to the tree biomass increases directly by increasing the values of trees dasometric form. Regarding the form factor obtained (0.66) was considered to be less than 1 was calculated as satisfactorily as noted Romahn *et al.* (1994), in the case of shafts of morphic coefficient value or form factor it is always less than unity.

The total carbon content per tree tended to increase with increasing DAP, total tree height (At) and the height of clear bole (Afl), these values ranged from 0.03 to 2.12 Mg for trees with the largest and smallest DAP respectively. The shaft contributed the most carbon to trees compared to the cup, on average bole contributed 0.54 and cup 0.29 Mg per tree (1), these ratios are consistent with those reported in work relating to the subject (Díaz *et al.*, 2007; Juárez, 2008; Gómez *et al.*, 2011). So it was considered that there was no adverse when using the carbon percentage branches to estimate the percentage of this element in the shanks effect.

Compared to the average carbon content in the wood of the branches and leaves the values obtained (48.9 and 47.1%) varied slightly to those reported in similar jobs where the leaves have higher carbon content (Díaz *et al.*, 2007; Juárez, 2008; Gómez *et al.*, 2011). This could be due to the high proportion of small branches, about 50%, in leaf samples analyzed in this paper. However, the pattern observed in

El método del recipiente de volumen conocido y arena empleando para determinar el volumen de las muestras de madera fue efectivo debido a que la arena se amoldó eficazmente a cualquier forma de las muestras y la cantidad de arena desplazada fue siempre similar al volumen de la muestra evaluada.

El método no destructivo empleado para el cálculo de la biomasa fue eficaz al haber permitido determinar esta variable sin necesidad de derribar los árboles y al haberse mantenido el patrón observado en estudios similares en donde el fuste es la estructura que aporta al árbol la mayor cantidad de biomasa y carbono, seguido de la madera de las ramas y las hojas.

Los coeficientes de determinación obtenidos (R^2) mayores a 0.9 indican que las ecuaciones determinadas para estimar biomasa y carbono para *Alnus Acuminata* K. son confiables para dicha especie en condiciones semejantes y dentro de rango de DAP evaluados.

El modelo exponencial fue el que mejor estimó el contenido de biomasa y carbono ya que no genera valores negativos al emplearlo en arboles con DAP menores a 23 cm. El contenido promedio de carbono en la especie fue de 48.84%.

Agradecimiento

El autor principal agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada para la realización de los estudios de Maestría en Ciencias.

Literatura citada

- Acosta, M. M.; Vargas, J. H.; Velázquez, M. A. y Etchevers J. D.B. 2002. Estimación de la biomasa aérea mediante el uso de relaciones alométricas en seis especies arbóreas en Oaxaca, México. *Agrociencia* 36(6):725-736.
- Avendaño, H. D. M.; Acosta, M. M.; Carrillo, A. F. y Etchevers, J. D. B. 2009. Estimación de biomasa y carbono en un bosque de *Abies religiosa*. *Rev. Fitotec. Mex.* 32(3):233-238.
- Cruz, R. A. 2004. La importancia del hilite blanco (*Alnus acuminata* subsp. *arguta* (Schlecht.) Furlow) (Betulacea) en la sombra de cafetales de Xochitlán de Vicente Suárez, Puebla, México. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). México, D. F.
- Díaz, F. R.; Acosta, M. M.; Carrillo, A. F.; E. Buendía, R.; Flores A. E. J. y Etchevers, D. B. 2007. Determinación de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Pinus patula* Schl. *Et Cham. Madera y Bosques.* 13(1):25-34.

relation to the partial contribution of carbon by the stem, branches and leaves to the total content of this element in the tree was preserved.

Removing the shafts 1, 7 and 8 of analysis, allometric equations generated with higher coefficients of determination in both models. The coefficients of determination obtained greater than 0.9, indicated that in determining biomass and carbon in *Alnus acuminata* K. is reliable take the DAP as explanatory variable. It was considered that the best model to generate allometric equations was exponential, coinciding with Gayoso (2002) who notes that there is a preference for this model because it expresses a proportionality of relative increases between two tree components, coupled with that is widely consistent for different forms of growth.

Conclusions

The alder (*Alnus acuminata* K.) was the tree species with the highest IVIR (36.81%) of gallery forest transect studied.

The method of container of known volume and sand employed to determine the volume of the wood samples was effective because the sand is effectively molded to any shape of the samples and the amount of sand displaced was always similar to the volume of sample assessed.

The non-destructive method used for calculating biomass was effective by permitting determine this variable without tearing down the trees and to the pattern observed in similar studies where the stem is the structure that gives the tree as many have remained biomass and carbon, followed by wood branches and leaves.

The obtained coefficients of determination (R^2) greater than 0.9 indicate that certain equations to estimate biomass and carbon *Alnus Acuminata* K. are reliable for that species under such conditions and within range of DAP evaluated.

The exponential model was the best estimated the biomass and carbon content as it does not generate negative values when using it in trees with lower DAP to 23 cm. The average carbon content in the species was 48.84%.

End of the English version



- Bárcenas-Pazos, M. G. 1995. Caracterización tecnológica de veinte especies maderables de la Selva Lacandona. *Maderay Bosques*. 1(1):9-38.
- Etchevers, B. J. D. 1992. Manual de métodos para análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes, análisis rutinarios en estudios y programas de fertilidad. Laboratorio de Fertilidad, Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México. 29 p.
- Fehse, J.; Hofstede, R. Aguirre, N.; Paladines, C.; Kooijman, A. and Sevink, J. 2002. High altitude tropical secondary forests: a competitive carbon sink? *Forest Ecology and Management*. 163(1):9-25.
- Garduño, R. 2004. ¿Qué es el efecto invernadero? *In: cambio climático: una visión desde México*. Martínez, J. y Fernández, A. (Eds.). INE-SEMARNAT. D. F., México. 77-85 pp.
- Gayoso, J. 2002. Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques de Chile y promoción en el mercado mundial. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 53 p.
- Gómez-Díaz, J. D.; Etchevers-Barra, J. D.; Monterroso, S-Rivas, A. I.; Campo-Alvez, J. y Tinoco-Rueda, J. A. 2011. Ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Quercus magnoliaefolia*. *Revista Chapingo, serie ciencias forestales y del ambiente*. 17(2):261-272.
- INEGI. 2001. Síntesis de Información Geográfica del Estado de México. D. F., México. 139 p.
- IPCC. 2013. *Climate change 2013: The physical science basis*. Working group I contribution to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: WMO-UNEP. Cambridge University Press. New York, USA. 1534 p.
- Jaramillo, V. J. 2004. El ciclo global del carbono. *In: cambio climático: una visión desde México*. Martínez, J. y Fernández, A. (Eds.). INE-SEMARNAT. D. F., México. 77-85 pp.
- Maass, F. S. 2009. Estimación de la captura de carbono en zonas forestales: El caso del Parque Nacional Nevado de Toluca. Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM). Toluca, Estado de México, México. 136 p.
- Martínez, R. V. 2010. Almacenamiento de carbono en los sistemas forestales y agrícolas de la falda oeste del cerro Tláloc. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Autónoma Chapingo (UACH). Chapingo, Estado de México. 68 p.
- Romahn de la V. C. F.; Ramírez- Maldonado, H. y Treviño- García, J. L. 1994. Dendrometría. Universidad Autónoma Chapingo (UACH). Chapingo, Estado de México. 354 p.
- Rzedowski, J. 1978. *Vegetación de México*. Editorial Limusa. D. F., México. 432 p.
- Schlesinger, W. H. 1997. *Biogeochemistry: an analysis of global change*. Academic Press. USA. 588 p.
- Statistical Analysis System Institute Inc (SAS). 2002. *User's Guide*. Version 9.0 for Windows. Cary, N. C., USA. 595 p.
- Stiling, P. 1999. *Ecology: Theories and applications*. Prentice Hall. New Jersey, USA. 840 p.