



Artículo / Article

Estimación de biomasa aérea en plantaciones de *Cedrela odorata* L. y *Swietenia macrophylla* King

Aerial biomass estimation in *Cedrela odorata* L. and *Swietenia macrophylla* King plantations

Agustín Rueda Sánchez¹, Agustín Gallegos Rodríguez², Diego González Eguiarte², J. Ariel Ruiz Corral¹, Juan de Dios Benavides Solorio¹, Eduardo López Alcocer² y Miguel Acosta Mireles³

Resumen

Se evaluaron las capacidades de producción de biomasa y de captura de carbono en plantaciones de *Cedrela odorata* y *Swietenia macrophylla* con 12 años en el estado de Jalisco. En campo fueron seleccionados y derribados 15 árboles de cada especie para determinar la biomasa y el carbono en el estrato aéreo; se tomaron muestras del fuste, de las ramas (brazuelo y leña) y del follaje de cada individuo para conocer su peso fresco; en el laboratorio se secaron para obtener el peso seco y con estos datos se calculó la biomasa total de cada ejemplar a partir de la relación peso seco: peso fresco. Para realizar las estimaciones se ajustaron ecuaciones de regresión tipo polinomial y potencial, el diámetro normal y la altura fueron las variables independientes. Al peso seco de cada componente del árbol se le aplicó un índice de captura de carbono de 0.4269 y con ello se obtuvo el potencial de captura de carbono atmosférico. Para *C. odorata* el total de biomasa promedio por espécimen fue de 34 kg, en la que se distribuye 75 % de la biomasa en el fuste, 11 % en el brazuelo, 9 % en ramas (leña) y 5 % en el follaje. Para *S. macrophylla* el total de biomasa promedio por espécimen fue de 26 kg, del cual 47 % se distribuye en el fuste, 19 % en el brazuelo, 23 % en ramas y 10 % en el follaje.

Palabras clave: Biomasa, carbono, *Cedrela odorata* L., ecuaciones alométricas, Jalisco, *Swietenia macrophylla* King.

Abstract

This study was conducted with the aim of assessing the ability of biomass production and carbon sequestration by plantations of *Cedrela odorata* and *Swietenia macrophylla* in a plantation established 12 years ago in the state of Jalisco, Mexico. At Costa de Jalisco Experimental Site of the *Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias* (INIFAP) and 15 trees of each species were selected and felled and the biomass and carbon in the aerial stratum were determined. Samples were taken from the stem, branches (twigs and firewood) and foliage of each of the selected trees and fresh weight was determined in the field from both species; the samples were dried in a laboratory to obtain the dry weight and estimate the total biomass of each tree using the ratio dry weight: fresh weight of samples. To estimate the biomass and carbon and polynomial regression equations were fit; the independent variables were normal diameter and tree height. To the dry weight of each tree component was applied a carbon sequestration index of 0.4269, thereby determining the potential for atmospheric carbon sequestration. For *C. odorata*, the total average biomass per tree was 34 kg, 75 % of which belongs to the biomass in the stem, 11 % in the trunk, 9 % in branches (wood) and 5 % in foliage. For *S. macrophylla*, the total average biomass per tree was 26 kg, which are distributed as 47 % in the stem, 19 % in the trunk, 23 % in branches and 10 % in the foliage.

Key words: Biomass, carbon, *Cedrela odorata* L., allometric equations, Jalisco, *Swietenia macrophylla* King.

Fecha de recepción/date of receipt: 6 de octubre de 2010; Fecha de aceptación/date of receipt: 8 de julio de 2014

¹ Campo Experimental Centro Altos de Jalisco, CIRPAC-INIFAP. Correo-e: rueda.agustin@inifap.gob.mx.

² Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CUCBA), Universidad de Guadalajara.

³ Campo Experimental Valle de México, INIFAP.

Introducción

El planeta experimenta un cambio climático global que consiste en el calentamiento promedio del globo de 0.6 °C (en los últimos 170 años), su origen es el incremento en la concentración de gases efecto invernadero (GEI) en la atmósfera que resulta de actividades fundamentalmente antropogénicas (IPCC, 2007). De los GEI, el dióxido de carbono contribuye con más de 65 % al efecto invernadero y su contenido en la atmósfera ha aumentado de 280 (en 1860) a 360 ppm en menos de 150 años (IPCC, 2007).

El balance entre la emisión y la captura de carbono de los ecosistemas es fundamental para el equilibrio del clima en la Tierra, los árboles guardan una estrecha relación con este, ya que pueden actuar como un sumidero neto de carbono. Se estima que en los próximos cien años la vegetación terrestre en buen estado de conservación sería capaz de reducir de 20 a 50 % de las emisiones netas de CO₂ (Masera, 2001).

Es importante que la captura de carbono en ecosistemas cultivados o inducidos sea considerada uno de los criterios de selección de especies para llevar a cabo programas de reforestación y plantaciones forestales productivas; en México estas investigaciones aún son incipientes.

Los bosques capturan carbono cuando la fotosíntesis es mayor que la suma de la respiración autotrófica y heterotrófica (Brown, 1997). La biomasa es la energía solar que las plantas convierten en materia orgánica y se puede recuperar, ya sea por combustión directa o al transformarla en otros combustibles (Parde, 1980); para estimar la producción de biomasa en individuos arbóreos frecuentemente se utilizan funciones alométricas (Gayoso *et al.*, 2002) que son ampliamente aplicadas en diversos estudios forestales, por su flexibilidad. Las variables explicativas más comunes son el diámetro a la altura del pecho (DAP), el diámetro a la altura del tocón (DAT), la altura total (HT) y diferentes combinaciones de ellas (Prado *et al.*, 1987).

Masera (2001) menciona que la captura unitaria de carbono se puede obtener a partir de mediciones del carbono contenido en todos y cada uno de los reservorios presentes en el área.

El total de carbono capturado (CT) (toneladas de carbono por hectárea) se expresa formalmente como:

$$CT = C_v + C_d + C_s + C_p + C_f \quad (1)$$

Donde:

CT = Carbono total capturado o acumulado
C_v = Carbono contenido en la vegetación
C_d = Carbono contenido en la materia en descomposición
C_s = Carbono contenido en el suelo

Introduction

The planet is experiencing a global climatic change that consists in an average heating of .6 °C (in the last 170 years), and that is originated in the increment in the greenhouse effect gases (GEG) in the atmosphere as a result, mainly, from antropic activities (IPCC, 2007). Of GEG, carbon dioxide puts in more than 65 % to the greenhouse effect and its proportion has passed from 280 (in 1860) to 360 ppm in less than 150 years (IPCC, 2007).

The balance between the emission and the sequestration of carbon of the ecosystems is crucial for the weather equilibrium on Earth and the trees keep a close relationship with it, since they can act as a net carbon deposit. It is expected that in the next 100 years, the terrestrial vegetation that is in a good conservation condition would be able to reduce from 20 to 50 % of the net CO₂ net emissions (Masera, 2001).

It is important that carbon sequestration in cultivated or induced ecosystems be considered one of the criteria of selection of species to carry out reforestation and productive forest plantations; this is a rather new research field in Mexico.

Forest capture carbon when photosynthesis is greater than the sum of the autotrophic and heterotrophic respiration (Brown, 1997). Biomass is the solar energy that plants transform into organic matter and it can be recovered by direct combustion or in other fuels (Parde, 1980); to estimate the biomass production in trees, allometric functions are frequently used (Gayoso *et al.*, 2002), which are broadly applied to several forest studies, as they are very flexible. The most common explanatory variables are the diameter at breast height (DBH), diameter at stump height (DSH), total height (TH) and their different combinations (Prado *et al.*, 1987).

Masera (2001) states that unitary carbon sequestration can be obtained from measuring the carbon content in each and every one of the present reservoirs in an area.

The total of captured carbon (CT) (tons of carbon per hectare) is formally expressed as:

$$CT = C_v + C_d + C_s + C_p + C_f \quad (1)$$

Where:

CT = Total captured or accumulated carbon
C_v = Carbon contained in the vegetation
C_d = Carbon contained in debris
C_s = Carbon contained in the soil
C_p = Carbon contained in woody products
C_f = Saved carbon from replacement of fossil fuels

C_p = Carbono contenido en productos de madera
 C_f = Carbono ahorrado por sustitución de combustibles fósiles

Adicionalmente, si se desea considerar el horizonte de tiempo, es posible aplicar la siguiente fórmula:

$$CT = \int_0^t [C_v(t) + C_d(t) + C_s(t) + C_p(t) dt / t + \sum C_f(t)] \quad (2)$$

Donde:

CT = Carbono total capturado o acumulado
 C_v = Carbono contenido en la vegetación
 C_d = Carbono contenido en la materia en descomposición
 C_s = Carbono contenido en el suelo
 C_p = Carbono contenido en productos de madera
 C_f = Carbono ahorrado por sustitución de combustibles fósiles
 t = Tiempo
 dt = Descomposición en el tiempo

Existen varios métodos de estimación en función del tipo de reservorio; la selección de uno u otro dependerá del tipo de información disponible en el momento y de la precisión requerida. Masera (2001) indica que el carbono retenido en la vegetación es la suma de la biomasa aérea y la de las raíces. Dado que los datos de biomasa se colectan destructivamente, es común solo tener datos secundarios (la altura y el diámetro de los árboles); en estos casos es posible estimar el carbono que contiene la biomasa al utilizar una serie de ecuaciones alométricas de regresión.

El objetivo del presente estudio fue evaluar la capacidad de producción de biomasa y de captura de carbono en plantaciones de *Cedrela odorata* L. y *Swietenia macrophylla* King en el trópico subhúmedo del estado de Jalisco.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El trabajo de campo se realizó en el Sitio Experimental Costa de Jalisco del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), localizado en el municipio La Huerta, Jalisco, en las coordenadas 19°31'15" latitud norte y 104°32'00" longitud oeste, a una altitud de 298 m. El clima de la región según el sistema Köppen modificado por García (1973), es un A_w que se define como cálido subhúmedo con lluvias de verano, con precipitación media anual de 1 100 mm, temperaturas medias máximas de 34 °C y medias mínimas de 12 °C. El tipo de suelo es Feozem haplico, con pH 6.7 (Benavidez *et al.*, 2009).

Adicionalmente, cuando la línea de tiempo es tomada en cuenta, es posible utilizar la siguiente fórmula:

$$CT = \int_0^t [C_v(t) + C_d(t) + C_s(t) + C_p(t) dt / t + \sum C_f(t)] \quad (2)$$

Where:

CT = Total captured or accumulated carbon
 C_v = Carbon contained in the vegetation
 C_d = Carbon contained in debris
 C_s = Carbon contained in the soil
 C_p = Carbon contained in woody products
 C_f = Saved carbon from replacement of fossil fuels
 t = Time
 dt = Debris in time

There are several estimation methods in regard to the kind of sink; the choice of one or the other depends on the kind of available information at the time and the demanded accuracy. Masera (2001) points out that the retained carbon in vegetation is the sum of the aerial biomass and that of the roots. Since the biomass data are destructively collected, it is common to have only secondary data (height and diameter of the trees); in these cases it is possible to estimate the amount of carbon that biomass contains when using a series of regression allometric equations.

The aim of this study was to assess the ability of biomass production and of carbon sequestration in *Cedrela odorata* L. and *Swietenia macrophylla* King plantations in the subhumid tropic of Jalisco state.

Materials and Methods

Study area

Field work was made at Costa de Jalisco Experimental Site of the Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), found in La Huerta municipality, Jalisco, between the geographical coordinates 19°31'15" north and 104°32'00" west, at an altitude of 298 m. The climate of the region, according to Köppen's system adjusted by García (1973), is A_w that is described as subhumid warm with summer rains, with 1 100 mm as annual average precipitation, 34 °C as maximum average temperatures and minimal means of 12 °C. Haplic feozem is the type of soil, with 6.7 pH (Benavidez *et al.*, 2009).

Selection and felling of sample trees

The individuals that were used were obtained from a 12 year forest plantation established on 1.8 hectares. The data record took place between July and November 2006, when the trees had all their leaves.

Selección y derribo de árboles muestra

Los individuos utilizados se obtuvieron de una plantación forestal de 12 años de establecida con 1.8 hectáreas de superficie. El registro de datos se llevó a cabo entre julio y noviembre de 2006, cuando los ejemplares portaban todo su follaje.

Se escogieron al azar 15 árboles de cada una de las especies, ya marcados para ser derribados para realizar el aclareo que se hace en estas plantaciones, como parte de su manejo. De acuerdo con Schlegel *et al.* (2000), los estudios de biomasa en general utilizan de 20 a 40 especímenes para zonas amplias; en localidades específicas 15 es un número suficiente.

Muestreo de biomasa aérea

El muestreo fue completamente aleatorio y se definió por clases diamétricas y se procuró incluir a todas las categorías representadas en ambas especies; a cada árbol derribado se le midió el diámetro normal (DN) y, posteriormente, se le seccionó en trozas comerciales de varias longitudes, de acuerdo con las diferentes conformaciones del fuste de cada ejemplar. De cada una de ellas se seleccionó una muestra que consistió en una rodaja de 5 cm de espesor, aproximadamente, la primera de las cuales se tomó de la sección que corresponde a la parte baja de la primera troza y las demás, de la parte más gruesa de las restantes; después, se midió cada troza.

Se separaron las ramas del follaje y se pesaron de manera independiente, de lo que se obtuvo de una a tres muestras para cada componente, en función del tamaño del árbol. En total se reunieron 157 muestras distribuidas de la siguiente manera: 69 del fuste (rodajas), 32 del follaje, 26 de los brazos y 30 de las ramas (Cuadro 1).

El peso fresco se determinó con básculas de reloj Tecnocor 200-D de 200 kg de capacidad, para las trozas, las ramas y el follaje se utilizó una con 500 kg de capacidad y para las muestras que se obtuvieron de las trozas (rodajas), de las ramas, de los brazos y del follaje, se usó una Torino AP-20 de 20 kg de capacidad.

15 trees at random were chosen from each one of the species, and they were already marked to be cleared out as regularly done in plantations as part of their management. According to Schlegel *et al.*, (2000), biomass studies, in general, use from 20 to 40 specimens for wide zones; in specific locations, 15 is enough.

Aerial biomass sampling

Sampling was completely at random and was determined by the diametric categories, and it was intended to include all of those represented in both species; to each felled tree was measured its normal diameter (ND) and, later, it was cut into commercial logs of various lengths, according to the different make-up of each of the stems. From each of the, was selected a sample that was a slice 5 cm thick, more or less, the first of which was taken from the section of the lower part of the first log and the others, from the thickest of the rest, each log was measured afterwards.

Branches were put apart from foliage and they were weighted in a separate form, and thus, from one to three samples of each element were obtained, according to the size of the tree. A total of 157 samples were distributed as follows: 69 from the stem (slices), 32 from foliage, 26 from twigs and 30 from branches (Table 1).

Fresh weight was determined with clock balances Tecnocor 200-D 200 kg; for logs, branches and foliage a 500 kg was used and for the samples taken from the logs (slices), branches, twigs and foliage, a balance Torino AP-20, 20 kg device was used.

Sample processing

Samples were exposed to sunlight for 30 days to avoid the attack of fungi; afterwards, they were dried until they achieved a constant weight in an electric laboratory kiln (O.R.L. S-343); the slices, twigs and branches were kept at 70 °C for 12 days and the foliage between 35 and 40 °C for 5 days. When dry weight became constant, all the samples were weighted in grams in order to get more accurate measurements.

Cuadro 1. Número de muestras utilizadas.

Especie	Rodajas (Fuste)	Follaje	Brazuelo	Ramas	Total de muestras
<i>Cedrela odorata</i> L.	49	15	12	15	91
<i>Swietenia macrophylla</i> King	20	17	14	15	66
Total	69	32	26	30	157

Table 1. Number of used samples.

Species	Slices (Trunk)	Foliage	Twigs	Branches	Total of samples
<i>Cedrela odorata</i> L.	49	15	12	15	91
<i>Swietenia macrophylla</i> King	20	17	14	15	66
Total	69	32	26	30	157

Procesamiento de muestras

Las muestras fueron expuestas al sol durante 30 días para evitar el ataque de hongos, posteriormente se secaron a peso constante en una estufa de secado eléctrico de laboratorio O.R.L. S-343; en el caso de rodajas, brazuelos y ramas se mantuvieron a una temperatura de 70 °C durante 12 días y el follaje se conservó entre 35 y 40 °C durante 5 días. Cuando el peso seco fue constante, todas las muestras fueron pesadas en gramos, para mayor precisión.

Determinación de biomasa

Para conocer la biomasa total de cada componente (fuste o rodajas, brazuelo, ramas y follaje) se empleó el factor que resultó de la relación peso seco: peso fresco de la muestra de cada componente, después se multiplicó por el peso fresco de todo el componente. La suma de la biomasa total del fuste (trozas) y de la copa (brazuelo, ramas y follaje) dio como resultado la biomasa aérea total de cada árbol.

Análisis de datos

Se ajustaron modelos matemáticos lineales y no lineales para explicar la variación de la biomasa total por árbol a partir de las variables independientes diámetro a la altura del pecho (DAP) y altura del árbol. Los ajustes se realizaron con una hoja de cálculo Excel (Microsoft Office, 2007). Para seleccionar los modelos mejor ajustados se utilizó el coeficiente de determinación (R^2).

Determinación del contenido de carbono

Diversos estudios han empleado la biomasa de los árboles para estimar el contenido de carbono; esto se logra a partir de la multiplicación de la cantidad disponible en alguna superficie por el factor de conversión de biomasa a carbono, que va desde 0.40 hasta 0.55; este intervalo corresponde a la proporción de carbono que cualquier especie vegetal contiene (Jo y Mc Pherson, 1995; Callo, 2001); el factor empleado fue de 0.4269 (Jo y Mc Pherson, 1995).



Biomass determination

In order to know the total biomass of each part (stem or slices of it, twigs, branches and foliage) the factor that came from the relation between dry weight and fresh weight of the sample of each of them was used; such number was multiplied by the fresh weight of the whole structure. The sum of the total stem biomass (logs) and the crown (twigs, branches and foliage) resulted in the total aerial biomass of each tree.

Data analysis

Linear and non-linear mathematic models were fit to explain the total biomass variation per tree from the diameter at breast height (DBH) and tree height independent variables. The fit were made with an Excel (Microsoft Office, 2007) sheet. In order to choose the best fit models, the determination coefficient (R^2) was used.

Determination of carbon content

Several studies have started from the tree biomass as an indicator of carbon content; the available amount of this element is multiplied by the conversion factor from biomass to carbon, that goes from 0.40 to 0.55, range that is the rate of carbon that any vegetal species has (Jo y Mc Pherson, 1995; Callo, 2001); and the applied factor was 0.4269 (Jo and Mc Pherson, 1995).

For estimate the aerial carbon content of both species by the following expression:

$$CCC = BTC * 0.4269 \quad (3)$$

Where:

- CCC = Carbon content per component (stem, branches, foliage) in kg.
- BTC = Total biomass of the component (kg)
- 0.4269 = Conversion factor (Jo and Mc Pherson, 1995)

The carbon of each component of biomass was summed to obtain the total content of carbon of the global biomass of each tree.

Para estimar el contenido de carbono en la biomasa de los componentes de los árboles de cada especie, se empleó la siguiente expresión:

$$CCC = BTC * 0.4269 \quad (3)$$

Donde:

CCC = Contenido de carbono por componente (fuste, ramas, follaje) en kg.

BTC = Biomasa total del componente (kg)

0.4269 = Factor de conversión (Jo y Mc Pherson, 1995).

Se sumó el carbono de cada componente de la biomasa para obtener el contenido total de carbono de la biomasa global de cada árbol.

Resultados y Discusión

Estimación de biomasa y carbono aéreo

El diámetro normal (DN) de los árboles de *C. odorata* midió en promedio 14.3 cm, con variación entre los 8.5 y los 22 cm, la desviación estándar fue de 3.82 y la mayor parte de los individuos se distribuyó dentro de las categorías diamétricas de 10 a 15 y de 15 a 20 cm (Cuadro 2).

El DN de *S. macrophylla* osciló entre 6.4 y 17.5 cm, tuvo una media de 10.2 cm y su desviación estándar fue 3.11; la mayoría de los ejemplares se situaron en las categorías de diámetro de 5 a 10 y 10 a 15 cm (Cuadro 2).

Cuadro 2. Distribución del arbolado por categoría diamétrica de las especies forestales en estudio.

Table 2. Woodland distribution by diametric category of the forest species in the study.

Categoría diamétrica (cm)	<i>Cedrela odorata</i> L. (No. árboles)	<i>Swietenia macrophylla</i> King (No. árboles)
5 a 10	1	7
10 a 15	8	7
15 a 20	5	1
20 a 25	1	0
Total	15	15
DAP *	14.3	10.2

* DAP = Diámetro a la altura del pecho (promedio)

* DAP = Diameter at breast height (average)

Para *C. odorata*, la biomasa de cada ejemplar osciló en un intervalo de 8.6 a 114.9 kg, la media fue de 33.7 kg y la desviación estándar, 28.3 kg; 95 % (31.8 kg) de la biomasa se distribuyó en los componentes que conforman la madera, de la siguiente forma: 74.7 % (25.2 kg) en el fuste, 10.6 % (3.6 kg) en el brazuelo y 9.2 % (3.1 kg) para leña, 5 % restante (1.8 kg) se

Resultados y Discusión

Biomass and aerial carbon estimation

The normal diameter (DN) of the *C. odorata* trees measured, in average, 14.3 cm, with variation between 8.5 and 22 cm; standard deviation was 3.82 and most of the individuals were distributed in the diametric categories from 10 to 15 and from 15 to 20 cm (Table 2).

The DN of *S. macrophylla* oscillated between 6.4 and 17.5 cm, with a mean of 10.2 cm and a standard deviation of 3.11; most samples were in the diametric categories from 5 to 10 and from 10 to 15 cm (Table 2).

For *C. odorata*, the biomass of each specimen varied in an interval from 8.6 to 114.9 Kg, the mean was 33.7 kg and standard deviation 28.3 kg; 95 % (31.8 kg) of biomass was distributed in components that make-up timber as follows: 74.7 % (25.2 kg) in the stem, 10.6 % (3.6 kg) in twigs and 9.2 % (3.1 kg) in firewood, the resting 5 % (1.8 kg) concentrated in foliage (Table 3). Average total biomass per *C. odorata* tree (33.7 kg), multiplied by the 1 111 ind ha⁻¹ sums up a total of 37.44 ton ha⁻¹ after 12 years of having established the plantation.

In the case of *S. macrophylla*, biomass production per individual varied from 6.3 and 92.1 kg, an average of 25.9 kg and a standard deviation of 22.3 kg. 90 % (23.2 kg) of biomass was distributed in the woody components, as follows: 47.5 % (12.3 kg) in the stem, 19.3 % (5.0 kg) in twigs and 22.8 % (5.9 kg) in firewood, the resting 10 % (2.6 kg) was part of foliage (Table 3).

The average total biomass per tree was 26.0 kg, which when multiplied by the 1 111 ind ha⁻¹ sums up a total of 28.886 ton ha⁻¹, also after 12 years of having established the plantation.



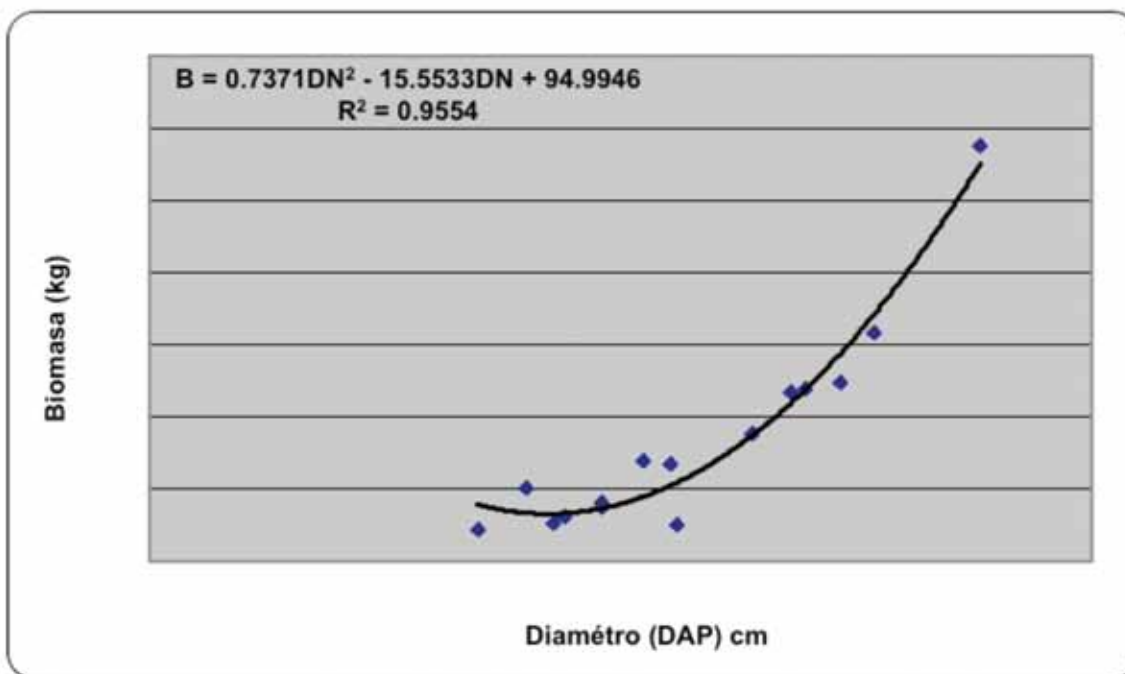


Figura 1. Relación entre el diámetro a la altura del pecho y la biomasa por clase diamétrica en *Cedrela odorata* L.
Figure 1. Relation between DBH and biomass by diametric class in *Cedrela odorata* L.

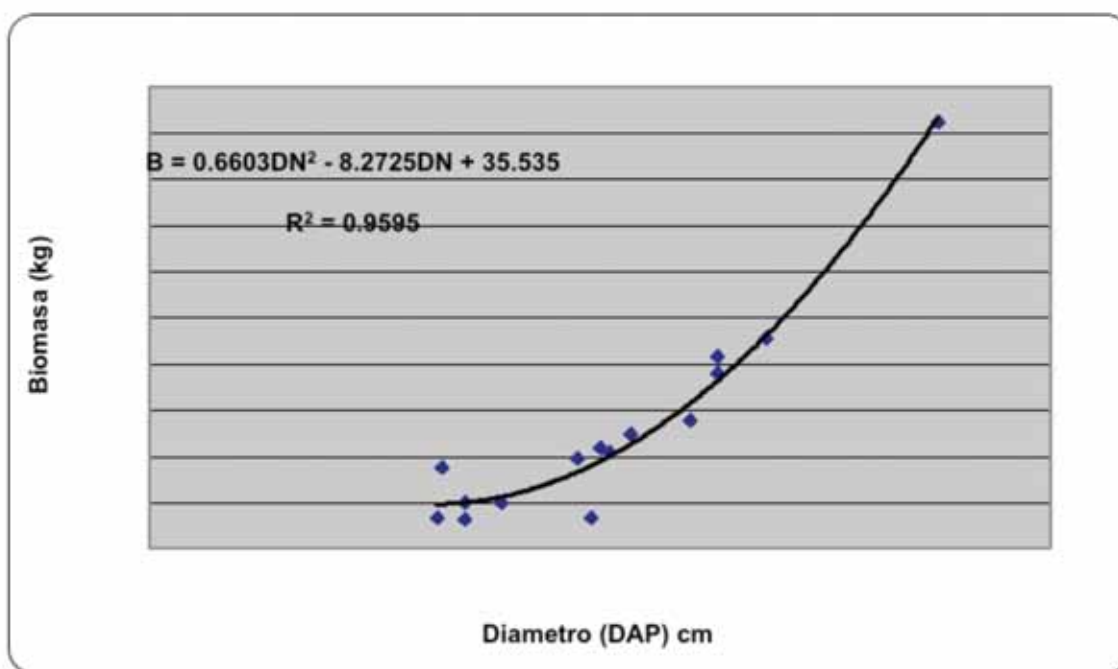


Figura 2. Relación entre el diámetro a la altura del pecho y la biomasa por clase diamétrica en *Swietenia macrophylla* King.
Figure 2. Relation between DBH and biomass by diametric class in *Swietenia macrophylla* King.

concentró en el follaje (Cuadro 3). La biomasa total promedio por árbol de *C. odorata* (33.7 kg), multiplicada por los 1 111 ind ha⁻¹ arroja un total de 37.44 ton ha⁻¹ a los 12 años de establecida la plantación.

En el caso de *S. macrophylla*, la producción de biomasa por individuo tuvo una variación entre los 6.3 a los 92.1 kg, un promedio de 25.9 kg y una desviación estándar de 22.3 kg. 90 % (23.2 kg) de la biomasa estuvo distribuida en los componentes maderables, de la siguiente manera: 47.5 % (12.3 kg) en el fuste, 19.3 % (5.0 kg) en el brazuelo y 22.8 % (5.9 kg) para leña, 10 % restante (2.6 kg) formó parte del follaje (Cuadro 3). La biomasa total promedio por árbol fue de 26.0 kg, que al multiplicarse por los 1 111 ind ha⁻¹ da un total de 28.886 ton ha⁻¹, a 12 años de haber establecido la plantación.

Para estimar el contenido del carbono aéreo de ambas especies, se aplicó el factor de conversión 0.4269 de Jo y Mc Pherson (1995) a los valores de biomasa obtenidos (Cuadro 3).

Cuadro 3. Distribución de biomasa promedio por componente y especie.
Table 3. Average biomass distribution by component and species.

Parte del árbol	<i>Cedrela odorata</i> L.		<i>Swietenia macrophylla</i> King	
	Biomasa (kg)	Carbono (kg)	Biomasa (kg)	Carbono (kg)
Fuste	25.2	10.8	12.3	5.3
Brazuelo	3.6	1.5	5.0	2.1
Leña	3.1	1.3	5.9	2.5
Follaje	1.8	0.8	2.6	1.1
Total	33.7	14.4	25.8	11.0

Modelos ajustados

Al analizar la correspondencia entre la biomasa y las variables independientes DAP y altura de árbol se observó que la última no explicó la variación de la biomasa, por lo que los tipos de modelos explorados se trabajaron únicamente con la variable DAP.

La relación de DAP y la biomasa es de tipo curvilíneo (figuras 1 y 2), el modelo que mejor la representó, en las dos especies, se describe en el Cuadro 4; ambos modelos presentan una r^2 mayor que 0.8, lo cual, de acuerdo con Alder (1980) y Gujarati (1999), corresponde a modelos confiables para estimar la biomasa aérea.



To estimate the aerial carbon content of both species, the 0.4269 Jo and Mc Pherson (1995) conversion factor to the obtained biomass values (Table 3).

Fitted models

To analyze the correspondence between biomass and the independent variables (DBH and tree height) it was observed that the latter did not explain the variation in biomass, thus, the kind of tested models were tried only with DBH.

The relation of DBH and biomass is a curve (figures 1 and 2) and the model that best represented it, in both species, is described in Table 4; both of them show a r^2 over 0.8, which, according to Alder (1980) and Gujarati (1999), are reliable models to estimate aerial biomass.



The results of aerial biomass of *C. odorata* and *S. macrophylla* prove that it is higher in the first one and that there is variation in terms of its distribution by component (Table 3), which could be explained from the fact that the trees of both species did not coincide in their diametric classification, since most of the trees of the first one belonged to the 10 to 15 cm and 15 to 20 cm, while those of *S. macrophylla* were better represented in the 5 to 10 and the 10 to 15 cm classes, even though both plantations had the same age (Table 2).

Differences were more evident in the stem, which is shown, in an interspecific way, in the carbon content, both total and at the trunk (Table 3), since for *C. odorata*, the average total carbon in wood per tree was 14.4 kg (10.8 kg in the stem) and for *S. macrophylla*, it was 11.0 kg (5.3 kg in the stem); this can be explained by the growth rate of each species, that in *S. macrophylla* is smaller than in *C. odorata*, and it is very probable that in a projection on a long term, this same characteristics would keep the same at the end of the harvest turn in both taxa.

Cuadro 4. Modelos para estimar la biomasa aérea (B) para un árbol en función de su diámetro normal (DN) para dos especies tropicales.

Table 4. Models to estimate aerial biomass (B) for a tree according to their DBH for two tropical species.

Especie	Modelo	R ²
<i>Cedrela odorata</i> L.	$B = 0.7371 \text{ DN}^2 - 5.5533 \text{ DN} + 94.9946$	0.9554
<i>Swietenia macrophylla</i> King	$B = 0.6603 \text{ DN}^2 - 8.2725 \text{ DN} + 35.535$	0.9595

Los resultados de biomasa aérea de *C. odorata* y *S. macrophylla* demuestran que hay mayor cantidad en *C. odorata* y hay variación en cuanto a su distribución por componente (Cuadro 3), lo cual se puede explicar a partir de que los árboles de las dos especies no coincidieron en su acomodo en las categorías diamétricas, los de *C. odorata*, en su mayoría, pertenecieron a las clases de 10 a 15 y de 15 a 20 cm, mientras que en *S. macrophylla* las de 5 a 10 y de 10 a 15 cm estuvieron mejor representadas, aun cuando ambas plantaciones tienen la misma edad (Cuadro 2).

Las diferencias fueron más evidentes en el fuste, lo cual se refleja, de manera interespecífica en el contenido de carbono, tanto total como a nivel del fuste (Cuadro 3), ya que para *C. odorata* el carbono total promedio en madera por árbol fue de 14.4 kg (10.8 kg en el fuste) y para *S. macrophylla* fue de 11.0 kg (5.3 kg en el fuste), esto puede relacionarse con la tasa de crecimiento de cada especie, que en *S. macrophylla* es menor que en *C. odorata* y es muy probable que en una proyección a largo plazo, esas mismas características se mantuvieran al final del turno de aprovechamiento de ambos taxa.

Conclusiones

La cantidad de biomasa aérea y de carbono varió en función de la clasificación diamétrica y de la especie, las principales diferencias interespecíficas se observaron en el fuste.

Se observó una elevada correlación entre el diámetro normal y la biomasa, lo cual permitió obtener modelos alométricos con alta confiabilidad para estimar la biomasa aérea; tanto *S. macrophylla* como *C. odorata* se ajustaron mejor a un modelo de tipo polinomial.

Existe una ventaja comparativa de *C. odorata* sobre *S. macrophylla* en los primeros 12 años de desarrollo, en cuanto a crecimiento, producción de biomasa y captura de carbono.

La metodología utilizada permite un alto nivel de detalle a un costo relativamente bajo, más aún si se aprovecha el derribo de árboles planificado en las actividades de aclareo y poda en plantaciones comerciales, tales características hacen del método una buena alternativa para la estimación de biomasa y carbono en plantaciones forestales de especies tropicales.

Conclusions

The amount of aerial biomass and carbon varied according to the diametric classification and that of the species; the major interspecific differences were observed in the stem.

From the strong observed correlation between the normal diameter and the biomass, it was possible to obtain highly reliable allometric models to estimate aerial biomass, both in *S. macrophylla* as well as in *C. odorata*, in which a polynomial model had a better fit.

There is a comparative advantage of *C. odorata* over *S. macrophylla* in the first 12 years old in terms of growth, biomass production and carbon sequestration.

The methods here used allow a more accurate degree of approach at a rather low cost, even more if the planned tree felling in clearing and commercial plantation pruning are used; such conditions favor the method as a good option to estimate biomass and carbon in forest plantations of tropical species. The kind of information that was produced may be useful to assess and quantify an important part of the additional benefits they provide, for the payment of environmental services in particular.

End of the English version



El tipo de información que se generó puede ser útil para evaluar y cuantificar parte importante de los beneficios adicionales que se generan en las plantaciones forestales, especialmente por el pago de servicios ambientales. 



Referencias

- Alder, D. 1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento con referencia especial a los trópicos. Vol.2 Predicción del rendimiento. Commonwealth Forestry Institute. ONU. Roma, Italia. 209 p.
- Benavidez S., J. de D., G. Benavidez U. y A. Rueda S. 2009. Evaluación del crecimiento en altura y diámetro de una plantación experimental en seis especies tropicales en La Huerta, Jalisco. Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. CIRPAC-INIFAP. Tepatitlán de Morelos, Jal., México. Folleto Técnico Núm. 2. 61 p.
- Brown, S. 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forest: a primer. In: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Forestry paper 134. Rome, Italy. 55 p.
- Callo C., D. A. 2001. Cuantificación de carbono secuestrado por algunos sistemas agroforestales y testigos en tres pisos ecológicos de la amazonia del Perú. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, Edo. de Méx. México. 72 p.
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Segunda edición. Instituto de Geografía, UNAM, México, D.F., México. 146 p.
- Gayoso, J., J. Guerra y D. Alarcón. 2002. Contenido de carbono y funciones de biomasa en especies nativas y exóticas. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 53 p.
- Gujarati, D. N. 1999. Econometry. Mc. Graw-Hill Book Company. New York, NY, USA. pp. 120-131.
- Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC). 2007. Cambio climático 2007: Informe de Síntesis. In: Pachauri, R. K. y A. Reisinger A. (eds.). Contribución de los Grupos de Trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. IPCC, Ginebra, Suiza. 104 p.
- Jo, H. y E. Mc Pherson. 1995. Carbon storage and flux in urban residential Greenspace. *Journal of Environmental Management*. 45: 109-133.
- Masera, R. 2001. Carbon sequestration dynamics in forestry projects: The CO2FIX V.2 Model approach. Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales. 18 al 20 de octubre del 2001. Valdivia, Chile. 13 p.
- Microsoft Office. 2007. Excel Ver. 2007. Redmond, WA, USA. s/p.
- Parde, J. 1980. Forest Biomass. *Forestry Products Abstract*. Review article. Commonwealth Forestry Bureau. 3(8): 165-184.
- Prado, J., P. Infante, M. Arriaga y S. Aguirre. 1987. Funciones de biomasa para seis especies arbustivas de la zona árida de Chile. *Ciencia e Investigación Forestal* 1(2): 11-20.
- Schlegel B., J. Gayoso y J. Guerra. 2000. Manual de procedimientos: muestreos de biomasa forestal. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 26 p.

