

ECUACIONES ALOMÉTRICAS Y ESTIMACIÓN DE INCREMENTOS EN BIOMASA AÉREA Y CARBONO EN UNA PLANTACIÓN MIXTA DE *Pinus devoniana* Lindl. y *P. pseudostrobus* Lindl., EN GUANAJUATO, MÉXICO

ALLOMETRIC EQUATIONS AND ESTIMATION OF ABOVEGROUND BIOMASS AND CARBON INCREMENTS IN A MIXED PLANTATION OF *Pinus devoniana* Lindl. AND *P. pseudostrobus* Lindl., IN GUANAJUATO, MÉXICO

Jorge Méndez-González^{1*}, S. Luis Luckie-Navarrete¹, M. Ángel Capó-Arteaga¹, J. Abel Nájera-Luna²

¹Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro No. 1923, 25315. Buenavista Saltillo, Coahuila. (jorgemendezgonzalez@gmail.com). ²Instituto Tecnológico de El Salto, Durango, México.

RESUMEN

Generar ecuaciones de biomasa es importante ya que permiten evaluar la estructura y condición de un bosque, cuantificar su productividad, determinar la cantidad de carbono fijado, la tasa de fijación de CO₂, y con ello valorar el impacto en la mitigación de gases efecto invernadero. El objetivo del presente estudio fue ajustar ecuaciones alométricas para cuantificar la acumulación de biomasa (B), carbono (C) y carbono equivalente (CO₂e) en una plantación mixta de 12 años de edad de *Pinus devoniana* Lindl. y *Pinus pseudostrobus* Lindl., en Jerécuaro, estado de Guanajuato, México. La biomasa de cada árbol, hojas más ramas (*Bhr*), fuste (*Bf*) y total (*Bt*), fue calculada usando la relación entre el peso seco y peso fresco, en 20 árboles de cada especie. Mediante análisis troncales y el modelo de Schumacher se obtuvo la tasa de incremento anual de B, C y CO₂e. Los resultados indican que las ecuaciones alométricas cuantifican eficientemente los componentes de biomasa, especialmente de *Bf* (R²>0.85) en *P. pseudostrobus*, mostrando esta especie los mayores incrementos en biomasa aérea. El 60.2 y 58.4 % de la biomasa aérea total fue registrada en el fuste; 39.8 y 41.6 % en las hojas y ramas de *P. devoniana* y *P. pseudostrobus*. Los valores calculados fueron 39.36 t B ha⁻¹, 19.68 t C ha⁻¹ y 72.02 t CO₂e ha⁻¹, después de 12 años de establecida la plantación. Según el modelo de Schumacher, la máxima productividad de biomasa aérea (*Bf* y *Bhr*) se alcanza a los 20 años de edad, lo que representa 3.96, 1.98 y 7.27 t ha⁻¹ año⁻¹ de B, C y CO₂e.

Palabras clave: *Pinus devoniana* Lindl., *Pinus pseudostrobus* Lindl., componentes de biomasa, fijación de carbono, modelos de crecimiento, productividad.

* Autor responsable ♦ Author for correspondence.

Recibido: Noviembre, 2010. Aprobado: Mayo, 2011.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 45: 479-491. 2011.

ABSTRACT

The generation of equations of biomass is important because they allow to evaluate the structure and condition of a forest, quantify its productivity, determine the amount of fixed carbon, the fixation rate of CO₂, and thus value the impact on the mitigation of greenhouse gases. The objective of the present study was to fit allometric equations to quantify the accumulation of biomass (B), carbon (C), and carbon equivalent (CO₂e) in a mixed plantation of 12 years of age of *Pinus devoniana* Lindl. and *Pinus pseudostrobus* Lindl., in Jerécuaro, state of Guanajuato, México. The biomass of each tree, leaves plus branches (*Bhr*), stem (*Bf*) and total (*Bt*) was calculated using the ratio between dry weight and fresh weight, in 20 trees of each species. Through stem analyses and the Schumacher model the rate of annual increment of B, C and CO₂e was obtained. Results indicate that the allometric equations efficiently quantify the components of biomass, especially of *Bf* (R²>0.85) in *P. pseudostrobus*, this species showing the highest increments in aboveground biomass. The total aboveground biomass, of 60.2 and 58.4 % was registered in the stem; 39.8 and 41.6 % in the leaves and branches of *P. devoniana* and *P. pseudostrobus*. Values calculated were 39.36 t B ha⁻¹, 19.68 t C ha⁻¹ and 72.02 t CO₂e ha⁻¹, after 12 years of the establishment of the plantation. According to the Schumacher model, the maximum productivity of aboveground biomass (*Bf* and *Bhr*) is reached at 20 years of age, which represents 3.96, 1.98 and 7.27 t ha⁻¹ year⁻¹ of B, C and CO₂e.

Key words: *Pinus devoniana* Lindl., *Pinus pseudostrobus* Lindl., biomass components, carbon fixation, growth models, productivity.

INTRODUCCIÓN

La función de los árboles en la captura de gas carbónico se evalúa debido a su potencial para modular el cambio climático y reducir el efecto invernadero (Brown, 2001; Ordóñez *et al.*, 2001). El incremento anual neto en la atmósfera de carbono equivalente (CO₂e), unidad que permite comparar el potencial de calentamiento global de los distintos gases de efecto invernadero (IPCC, 2007), es 3×10⁹ t (PNUMA, 1987). A pesar de ello, Myneni *et al.* (1997) y Field *et al.* (1998) indican que el crecimiento de las plantas aumenta especialmente en latitudes altas, debido a las tasas altas de CO₂ emitidas a la atmósfera (Bazzaz *et al.*, 1990), el cambio climático (Spiecker *et al.*, 1996) y los cambios en la temperatura del aire (Menzel y Fabian, 1999).

El incremento de bosques mediante forestación o reforestación es una opción para reducir la cantidad de CO₂ en la atmósfera (Ordóñez *et al.*, 2001) y contrarrestar el cambio climático (IPCC, 2007). En este sentido, la asimilación de CO₂ de los ecosistemas forestales tiene efectos importantes en el balance global del carbono (Dixon *et al.*, 1994; Brown, 2001). El CO₂ es fijado en moléculas de carbono en el proceso de fotosíntesis y constituye el 50 % de su biomasa seca (Gayoso y Schlegel, 2001; Figueroa *et al.*, 2005). Se deduce que la velocidad de fijación de CO₂ es proporcional a la tasa de crecimiento e incremento de biomasa. Paradójicamente, el CO₂ es el principal componente gaseoso responsable del efecto invernadero (71.5 %) que origina el cambio climático (Dixon *et al.*, 1994; IPCC, 2007).

Las plantaciones forestales son una de las estrategias para incrementar las tasas de captura de carbono rápida y eficientemente, con poco más de 190 millones de ha en el mundo (5 % del área forestal total) (FAO, 2010). La evaluación de biomasa mediante modelos matemáticos permite calcular los montos y fijación de carbono, y valorar el impacto en la mitigación de gases efecto invernadero (GEI); además, ayuda a tomar decisiones óptimas en la política ambiental y gestión silvícola. Por tanto, los objetivos de la presente investigación fueron evaluar: 1) modelos alométricos para cuantificar la biomasa aérea (B), carbono (C) y carbono equivalente (CO₂e) en una plantación mixta de *Pinus devoniana* Lindl. y *Pinus pseudostrobus* Lindl., de 12 años de edad; 2) los incrementos de estas variables a diferentes edades mediante

INTRODUCTION

The function of trees in the capture of carbonic gas is evaluated due to its potential for modeling climatic change and reducing the greenhouse effect (Brown, 2001; Ordóñez *et al.*, 2001). The net annual increment in the atmosphere of carbon equivalent (CO₂e), unit that makes it possible to compare the global warming potential of the different greenhouse gases (IPCC, 2007) is 3×10⁹ t (PNUMA, 1987). Despite this fact, Myneni *et al.* (1997) and Field *et al.* (1998) indicate that the growth of the plants increases especially at high altitudes, due to the high rates of CO₂ emitted to the atmosphere (Bazzaz *et al.*, 1990), climatic change (Spiecker *et al.*, 1996) and the changes in the temperature of the air (Menzel and Fabian, 1999).

The increment of forests by means of forestation or reforestation is an option for reducing the amount of CO₂ in the atmosphere (Ordóñez *et al.*, 2001) and offsetting climatic change (IPCC, 2007). In this sense, the assimilation of CO₂ of the forest ecosystems has important effects in the global balance of carbon (Dixon *et al.*, 1994; Brown, 2001). The CO₂ is fixed in carbon molecules in the process of photosynthesis and constitutes 50 % of its dry biomass (Gayoso and Schlegel, 2001; Figueroa *et al.*, 2005). It is deduced that the fixation velocity of CO₂ is proportional to the growth rate and increment of biomass. Paradoxically, the CO₂ is the principal gas component responsible for the greenhouse effect which, in turn, originates the climatic change (Dixon *et al.*, 1994; IPCC, 2007).

Forest plantations are one of the strategies for incrementing the capture rates of carbon quickly and efficiently, with little more than 190 million ha in the world (5 % of the total forest area) (FAO, 2010). The evaluation of biomass through mathematical models makes it possible to calculate the amounts and fixation of carbon, and value the impact on the mitigation of greenhouse gases (GEI); furthermore, it helps to make optimum decisions in environmental policy and forest management. Therefore, the objectives of the present investigation were to evaluate: 1) allometric models to quantify aboveground biomass (B), carbon (C) and carbon equivalent (CO₂e) in a mixed plantation of *Pinus devoniana* Lindl. and *Pinus pseudostrobus* Lindl., of 12 years of age; 2) the increments of these variables at different ages through

análisis troncales y modelos de crecimiento. La hipótesis fue que la tasa y patrones temporales de acumulación de biomasa es similar en ambas especies.

MATERIALES Y MÉTODOS

Características físicas y biológicas del área de estudio

El predio El Clarín, municipio de Jerécuaro, estado de Guanajuato, México, se ubica en la exposición norte y cima del macizo montañoso Cerro de las Escobas, a una altitud superior a 2850 m, al sureste del estado. El clima es templado subhúmedo, $C(W_1)$, precipitación mayor a 700 mm y temperatura media anual de 15.0 °C (García, 1988). *Quercus laurina*, *Q. mexicana* y *Q. macrophylla* representan las principales asociaciones vegetales y son parte del aprovechamiento forestal. Después de la tala y cosecha de estas especies se realizan plantaciones principalmente con *P. devoniana* y *P. pseudostrabus*, que representan poco más de 80 % de la frecuencia relativa. Estas especies poseen una distribución amplia y natural, confinada a la mayoría de los estados del centro del país (Perry, 1991). La plantación evaluada fue establecida en 1998, después se plantaron más árboles y en mayo de 2009, cuando se realizó este estudio, la edad era de 11 a 13 años. En el 2011 la permanencia promedio es de 560 árboles ha^{-1} de *P. devoniana* y *P. pseudostrabus*.

Muestreo de biomasa

La determinación de biomasa verde de los componente del árbol (hojas, ramas y fuste) se efectuó según lo descrito por Brown (1999) y Schlegel *et al.* (2000). Se seleccionaron 40 árboles (20 por especie) sin deformidades, representativos de las categorías de diámetro y altura, considerando los estratos dominantes y co-dominantes, y se midió el diámetro normal (D) y altura total (H). Luego, los árboles fueron derribados, troceados y separados en los componentes: hojas y ramas y fuste comercial (diámetro menor a 7 cm), y pesados en estado verde con básculas romanas (marca COR), de 10 y 120 kg de capacidad y 0.1 y 0.5 kg de precisión. De cada componente se obtuvieron submuestras que fueron secadas en el laboratorio para medir peso seco y la biomasa total del árbol.

Muestras para análisis troncales

El fuste de cada árbol se dividió en trozas de 1.20 m, iniciando a 0.30 m de altura, y se midió su diámetro mayor y menor (Prodan *et al.*, 1997). De cada troza se extrajo una rodaja de ~5 cm de espesor para realizar los análisis troncales.

stem analyses and growth models. The hypothesis was that the rate and temporal patterns of biomass accumulation is similar in the two species.

MATERIALS AND METHODS

Physical and biological characteristics of the study area

The El Clarín lot, municipality of Jerécuaro, state of Guanajuato, México, is located in the northern exposure and peak of the mountain range Cerro de las Escobas, at an altitude of more than 2850 m, at the southeast of the state. The climate is sub-humid temperate, $C(W_1)$, rainfall of more than 700 mm and mean annual temperature of 15.0 °C (García, 1988). *Quercus laurina*, *Q. mexicana* and *Q. macrophylla* represent the principal plant associations and are part of the forest use. After the cutting and harvest of these species, plantations are carried out principally with *P. devoniana* and *P. pseudostrabus*, which represent slightly more than 80 % of the relative frequency. These species have a wide and natural distribution, confined to most of the central states of the country (Perry, 1991). The plantation evaluated was established in 1998, afterwards more trees were planted and in May of 2009, when this study was carried out, the age was 11 to 13 years. In 2011 the average permanence is of 560 trees ha^{-1} of *P. devoniana* and *P. pseudostrabus*.

Sampling of biomass

The determination of green biomass of the tree components (leaves, branches and stem) was made according to the description of Brown (1999) and Schlegel *et al.* (2000). Forty trees were selected (20 per species) without deformities, representative of the categories of diameter and height, considering the dominant and co-dominant layers, and the normal diameter was measured (D) along with total height (H). Then, the trees were cut, sectioned and separated into the components: leaves and branches and commercial stem (diameter less than 7 cm), and weighed in green state with Roman scales (COR), of 10 and 120 kg capacity and 0.1 and 0.5 kg of precision. Subsamples were obtained of each component, which were dried in the laboratory to measure dry weight and total biomass of the tree.

Samples for stem analyses

The stem of each tree was divided into sections of 1.20 m, starting at 0.30 m height, and its maximum and minimum diameter was measured (Prodan *et al.*, 1997). A slice of ~5 cm thickness was extracted from each section for the stem analyses.

Obtención de biomasa por componente

El peso seco de las submuestras se obtuvo usando una estufa Hildebrand marca Brunner, a 95 °C durante 8 d (Raev *et al.*, 1997; Pacheco *et al.*, 2007). Finalmente, la biomasa seca de cada componente (hojas y ramas (*Bhr*) y de fuste (*Bf*) se determinó mediante la relación entre peso seco y peso fresco de las submuestras (Schlegel *et al.*, 2000).

Ajuste y selección de ecuaciones alométricas

Se ajustaron nueve ecuaciones alométricas propuestas por Gayoso *et al.* (2002), con el método de cuadrados mínimos (Cuadro 1), para estimar *Bhr*, *Bf* y la suma de ambas, *Bt*. Las ecuaciones se evaluaron con los siguientes estadísticos de bondad de ajuste: coeficiente de determinación (R^2) y error estándar (*Syx*).

Evaluación de carbono y carbono equivalente

La biomasa de cada componente se multiplicó por el factor 0.50 y se transformó a contenido de carbono; este factor corresponde a la fracción de carbono (%) en la biomasa seca de la madera de acuerdo con Gayoso *et al.* (2002), Figueroa *et al.* (2005) e IPCC (2007). El CO_2 e fijado en la biomasa seca se obtuvo con el producto del peso seco y el coeficiente resultante de la relación entre el peso de la molécula de CO_2 (44) y el peso del átomo de carbono (12) (Raev *et al.*, 1997; Pacheco *et al.*, 2007).

Análisis troncales para evaluar biomasa de fuste a diferentes edades

Las rodajas obtenidas fueron lijadas, digitalizadas con un escáner Epson Twain Pro 32 bit, analizadas con WinDendro™ para contar y medir sus anillos anuales y procesadas con Xlstem™ Ver. 1.3 para calcular edad, área basal, altura, volumen e incremento de biomasa a cualquier edad o sección (*s*). La biomasa del fuste de cada sección (*Bfs*) se calculó mediante el producto de $V_s \times DB$, donde, V_s es el volumen de la sección, y *DB* la densidad básica de la especie que es 0.450 en *P. devoniana* (Hidayat y Simpson, 1994) y 0.406 en *P. pseudostrobus* (Wright y Wessels, 1992).

Modelo de crecimiento y evaluación de incrementos en biomasa de fuste

La *Bfs* de cada especie, de árboles dominantes (AD) y codominantes (ACD) se evaluó con el modelo de Schumacher, expresado en su forma integral:

$$Y = \exp(\beta_0 + \beta_1 / E) \quad (1)$$

Cuadro 1. Ecuaciones alométricas usadas para evaluar componentes de biomasa aérea, en una plantación mixta de 12 años de edad de *Pinus devoniana* y *P. pseudostrobus* en Jerécuaro, Guanajuato, México.

Table 1. Allometric equations used to evaluate components of aboveground biomass, in a mixed plantation of 12 years of age of *Pinus devoniana* and *P. pseudostrobus* in Jerécuaro, Guanajuato, México.

Modelo	Ecuación
1	$Y = \beta_0 D^{\beta_1}$
2	$Y = \beta_0 + \beta_1 D + \beta_2 D^2$
3	$Y = \beta_0 + \beta_1 D^2 + \beta_2 H + \beta_3 D^2 H$
4	$Y = \beta_0 + \beta_1 D^2$
5	$Y = \beta_0 + \beta_1 D^2 H$
6	$Y = (\beta_0 + \beta_1 D)^2$
7	$Y = \text{Exp}(\beta_0 + \beta_1 \text{Ln} D)$
8	$Y = \text{Exp}(\beta_0 + \beta_1 \text{Ln}(D^2 H))$
9	$Y = \text{Exp}(\beta_0 + \beta_1 D)$

Y = biomasa de hojas y ramas (*Bhr*), biomasa de fuste (*Bf*) y biomasa total (*Bt*) en kg; *D* = diámetro normal (cm); *H* = altura total (m); β_0, \dots, β_3 = parámetros de regresión; *Exp* = base de los logaritmos neperianos; *Ln* = logaritmo natural; *Y* = biomass of leaves and branches (*Bhr*), biomass of stem (*Bf*) and total biomass (*Bt*) in kg; *D* = normal diameter (cm); *H* = total height (m); β_0, \dots, β_3 = parameters of regression; *Exp* = base of the neperian logarithms; *Ln* = natural logarithm.

Obtainment of biomass per component

The dry weight of the subsamples was obtained using a Hildebrand stove (Brunner), at 95 °C during 8 d (Raev *et al.*, 1997; Pacheco *et al.*, 2007). Finally, the dry biomass of each component (leaves and branches (*Bhr*) and of stem (*Bf*) was determined by means of the ratio between dry weight and fresh weight of the subsamples (Schlegel *et al.*, 2000).

Fit and selection of allometric equations

Nine allometric equations proposed by Gayoso *et al.* (2002) were fitted with the method of least squares (Table 1) to estimate *Bhr*, *Bf* and the sum of both, *Bt*. The equations were evaluated with the following statistics of goodness of fit: coefficient of determination (R^2), and standard error (*Syx*).

donde, Y = biomasa de fuste de cada sección (Bf_s , kg); β_0 y β_1 = parámetros de la regresión; \exp = base de los logaritmos neperianos; E = edad (años). El incremento corriente anual (ICA) e incremento medio anual (IMA) de Bf_s , se obtuvo derivando la Ecuación 1.

$$ICA: \frac{\partial Y}{\partial E} = -\frac{\beta_1}{E^2} \exp(\beta_0 + \beta_1 / E) \quad (2)$$

$$IMA: \frac{\partial Y}{\partial \beta_1} = -\frac{1}{E} \exp(\beta_0 + \beta_1 / E) \quad (3)$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A los 12 años de edad *P. devoniana* tuvo un diámetro mínimo de 13.0 y máximo de 23.0 cm, altura de 5.6 a 10.0 m, mientras que en *P. pseudostrobus* estos valores fueron 14.5 a 27.0 cm en diámetro y 7.4 a 12.6 m en altura. Los aumentos medios anuales fueron 1.53 y 1.56 cm año⁻¹ en diámetro y 67.67 y 81.83 cm año⁻¹ en altura, en *P. devoniana* y *P. pseudostrobus*.

Biomasa por componente en *P. devoniana* y *P. pseudostrobus*

Los estadísticos de ajuste de las ecuaciones alométricas indicaron que el componente mejor modelado fue Bf , en contraste con Bhr . Los modelos (m) 4, 5 y 7 se ajustaron adecuadamente a Bhr , Bf y Bt en *P. devoniana*; mientras que los modelos 1, 9 y 9 predicen eficientemente estas variables en *P. pseudostrobus* (Cuadro 2 y Figura 1). Los mejores ajustes se obtuvieron en *P. pseudostrobus* con R^2 promedio de 0.87 (en Bhr , Bf y Bt), y 0.73 en *P. devoniana* (Cuadro 2). Los parámetros de regresión de cada modelo por componente de biomasa se muestran en el Anexo 1.

Návar *et al.* (2001) reportan coeficientes de determinación más bajos ($R^2 < 0.66$, en Bhr) en plantaciones de *P. durangensis* y *P. cooperi*, pero Pacheco *et al.* (2007) registran $R^2 > 0.88$ en Bt de *P. greggii*. Algunos investigadores (Raev *et al.*, 1997; Brown, 1999; Gayoso y Schlegel, 2001) concuerdan que existe una alta correlación entre diámetro y volumen pero no entre diámetro y biomasa, que son patrones similares en casi todos los ecosistemas vegetales (Gayoso *et al.*, 2002).

Los valores promedio de Bhr y Bf fueron 39.8 y 60.1 % en *P. devoniana* y 41.6 y 58.3 % en *P. pseudostrobus*, que son similares a los reportados por Návar

Evaluation of carbon and carbon equivalent

The biomass of each component was multiplied by the factor 0.50 and was transformed to carbon content; this factor corresponds to the carbon fraction (%) in the dry biomass of the wood according to Gayoso *et al.* (2005) and IPCC (2007). The CO_2e fixed in the dry biomass was obtained with the product of the dry weight and the resulting coefficient of the ratio between the weight of the molecule of CO_2 (44) and the weight of the carbon atom (12) (Raev *et al.*, 1997; Pacheco *et al.*, 2007).

Stem analyses to evaluate stem biomass at different ages

The slices obtained were sanded, digitalized with an Epson Twain Pro 32 bit scanner, analyzed with WinDendro™ to count and measure the annual rings and processed with Xlstem™ Ver. 1.3 to calculate age, basal area, height, volume and increment of biomass at any age or section (s). The biomass of the stem of each section (Bf_s) was calculated by means of the product of $V_s \times DB$, where V_s is the volume of the section, and DB the basic density of the species which is 0.450 in *P. devoniana* (Hidayat and Simpson, 1994) and 0.406 in *P. pseudostrobus* (Wright and Wessels, 1992).

Growth model and evaluation of increments in biomass of stem

The Bf_s of each species, of dominant trees (DT) and co-dominant trees (CDT) was evaluated with the Schumacher model, expressed in its integral form:

$$Y = \exp(\beta_0 + \beta_1 / E) \quad (1)$$

where Y = biomass of stem of each section (Bf_s , kg); β_0 and β_1 = regression parameters; \exp = base of the neperian logarithms; E = age (years). The current annual increment (ACI) and mean annual increment (MAI) of Bf_s was obtained deriving Equation 1.

$$ICA: \frac{\partial Y}{\partial E} = -\frac{\beta_1}{E^2} \exp(\beta_0 + \beta_1 / E) \quad (2)$$

$$IMA: \frac{\partial Y}{\partial \beta_1} = -\frac{1}{E} \exp(\beta_0 + \beta_1 / E) \quad (3)$$

RESULTS AND DISCUSSION

At 12 years of age *P. devoniana* had a minimum diameter of 13.0 and maximum of 23.0 cm, height of 5.6 to 10.0 m, while in *P. pseudostrobus* these values were 14.5 to 27.0 cm in diameter and 7.4 to 12.6 m

Cuadro 2. Estadísticos de ajuste de ecuaciones alométricas a la biomasa de hojas y ramas, fuste y total, en una plantación mixta de 12 años de edad de *Pinus devoniana* y *P. pseudostrobus* en Jerécuaro, Guanajuato, México.**Table 2. Statistics of fit of allometric equations to biomass of leaves and branches, stem and total, in a mixed plantation of 12 years of age of *Pinus devoniana* and *P. pseudostrobus* in Jerécuaro, Guanajuato, México.**

Modelo	Hojas y ramas (<i>Bhr</i>)				Fuste (<i>Bf</i>)				Total (<i>Bt</i>)			
	<i>P. devoniana</i>		<i>P. pseudostrobus</i>		<i>P. devoniana</i>		<i>P. pseudostrobus</i>		<i>P. devoniana</i>		<i>P. pseudostrobus</i>	
	R ²	Syx	R ²	Syx	R ²	Syx	R ²	Syx	R ²	Syx	R ²	Syx
1	0.57	7.1	0.84	11.6	0.85	4.3	0.92	7.8	0.85	7.9	0.90	17.9
2	0.56	7.2	0.85	11.3	0.85	4.3	0.93	7.5	0.85	7.9	0.91	17.0
3	0.60	6.9	0.77	13.7	0.90	3.6	0.93	7.2	0.83	8.3	0.87	19.8
4	0.57	7.1	0.76	14.1	0.85	4.4	0.90	8.9	0.84	8.0	0.85	21.6
5	0.41	8.3	0.77	13.8	0.89	3.7	0.93	7.0	0.76	9.9	0.87	19.9
6	0.57	7.1	0.80	12.8	0.85	4.3	0.91	8.3	0.84	7.9	0.87	19.7
7	0.57	7.1	0.84	11.6	0.85	4.3	0.92	7.8	0.85	7.9	0.90	17.9
8	0.42	8.3	0.80	12.9	0.89	3.7	0.94	6.7	0.77	9.8	0.89	18.6
9	0.56	7.2	0.86	10.6	0.83	4.6	0.93	7.1	0.83	8.3	0.92	15.9
\bar{x}	0.54	7.4	0.81	12.5	0.86	4.1	0.92	7.6	0.82	8.4	0.89	18.7

R²= coeficiente de determinación; Syx= error estándar (kg) ♦ R² = coefficient of determination; Syx = standard error (kg).

et al. (2001), 36.3 y 64.5 % (*Bhr*) y 33.6 y 67.2 % (*Bf*) en *P. duranguensis* y *P. cooperi*, pero diferentes a los de Díaz *et al.* (2007) en *P. patula* (18.0 % en *Bhr* y 82.0 % en *Bf*); en estos mismos componentes, Gayoso (2001) señala 26.3 y 73.6 % en *Pinus radiata*. En *Pinus greggii* de 6 años esta proporción parece diferir: 49.0 % en *Bhr* y 51.0 % en *Bf* (Pacheco *et al.*, 2007). Estas diferencias se explican por la forma de crecimiento intrínseca de cada especie, competencia entre árboles (Zobel y Talbert, 1988) y condiciones climáticas del sitio (Bazzaz *et al.*, 1990).

Crecimiento e incremento en biomasa de *P. devoniana* y *P. pseudostrobus*

A diferencia de las ecuaciones alométricas, los mejores ajustes del modelo de Schumacher a la *Bfs* se registraron en *P. devoniana*, 95.7 y 81.2 % y sólo 82.4 y 65.7 % en *P. pseudostrobus*, para AD y ACD (Cuadro 3). En relación a los incrementos anuales (ICA e IMA) en la *Bfs*, se observaron diferencias importantes entre especies (Figura 2). *Pinus pseudostrobus* mostró los mayores rendimientos en B, C y CO₂e (1.6 veces más que *P. devoniana*) al momento de alcanzar el turno absoluto (~20 años).

El análisis de los resultados indica que a los 12 años la *Bfs* fue de 31.6 a 71.2 kg en *P. devoniana*, y de 29.4 a 122.1 kg en *P. pseudostrobus*, con una diferencia de 50.8 kg entre los máximos de ambas especies.

in height. The mean annual increases were 1.53 and 1.56 cm year⁻¹ in diameter and 67.67 and 81.83 cm year⁻¹ in height, in *P. devoniana* and *P. pseudostrobus*.

Biomass per component in *P. devoniana* and *P. pseudostrobus*

The statistics of fit of the allometric equations indicate that the best modeled component was *Bf*, in contrast with *Bhr*. The models (*m*) 4, 5 and 7 fit adequately to *Bhr*, *Bf* and *Bt* in *P. devoniana*; while the models 1, 9 and 9 efficiently predicted these variables in *P. pseudostrobus* (Table 2 and Figure 1). The best fits were obtained in *P. pseudostrobus* with R² average of 0.87 (in *Bhr*, *Bf* and *Bt*), and 0.73 in *P. devoniana* (Table 2). The regression parameters of each model per component of biomass are shown in Annex 1.

Navar *et al.* (2001) report lower coefficients of determination (R²<0.66, in *Bhr*) in plantations of *P. duranguensis* and *P. cooperi*, but Pacheco *et al.* (2007) register R²>0.88 in *Bt* of *P. greggii*. Some investigators (Raev *et al.*, 1997; Brown, 1999; Gayoso and Schlegel, 2001) concur that there is a high correlation between diameter and volume, but not between diameter and biomass, which are similar patterns in almost all of the plant ecosystems (Gayoso *et al.*, 2002).

The average values of *Bhr* and *Bf* were 39.8 and 60.1 % in *P. devoniana* and 41.6 and 58.3 % in *P.*

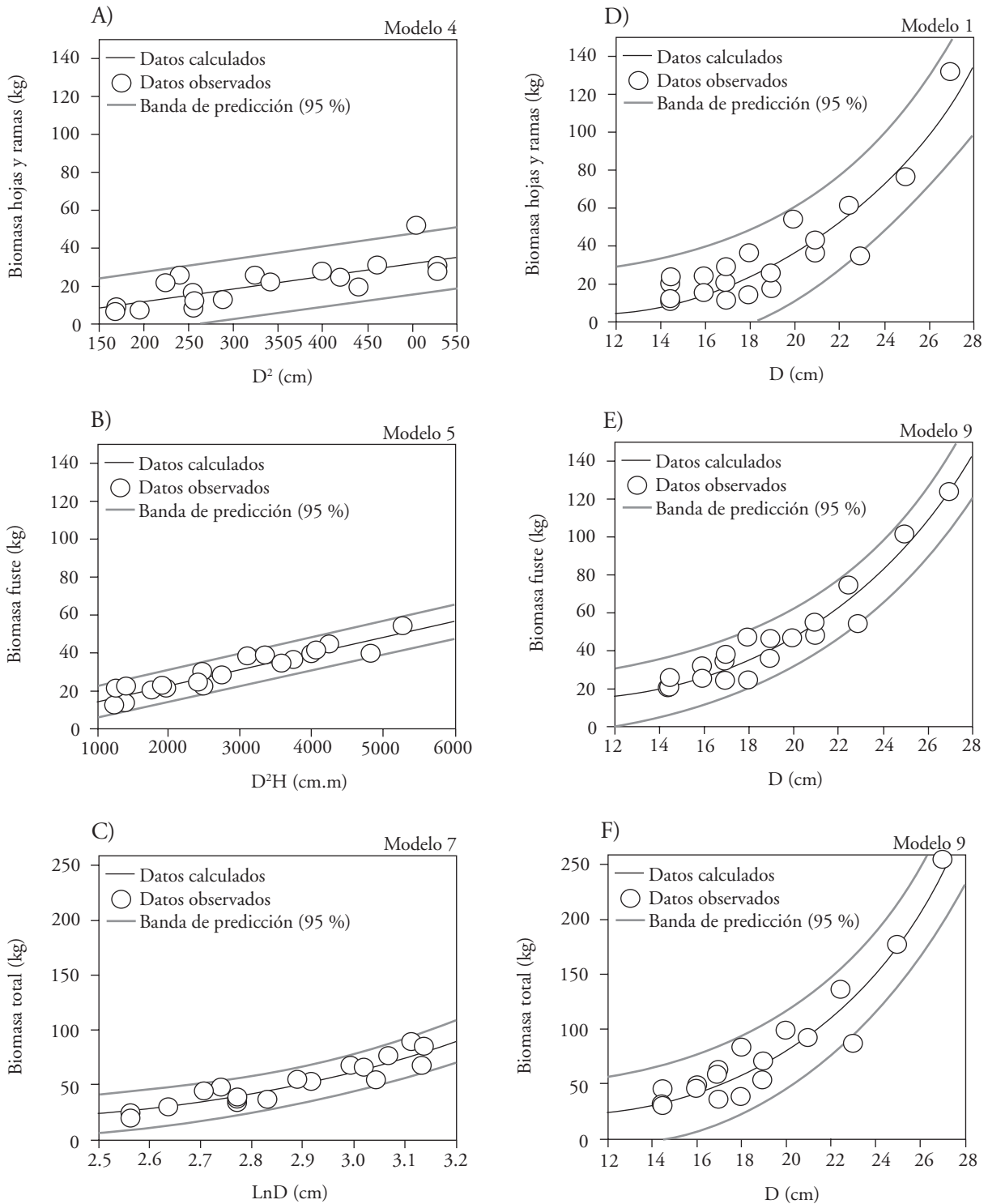


Figura 1. Biomasa de hojas y ramas, fuste y total, en una plantación mixta de 12 años de edad de *Pinus devoniana* (A-C) y *P. pseudostrobus* (D-F) en Jerécuaro, Guanajuato, México. En el eje de las X: D= diámetro normal (cm); H= altura total (m); Ln= logaritmo natural.

Figure 1. Biomass of leaves and branches, stem and total, in a mixed plantation of 12 years of age of *Pinus devoniana* (A-C) and *P. pseudostrobus* (D-F) in Jerécuaro, Guanajuato, México. In the X axis: D= normal diameter (cm); H= total height (m); NI=natural logarithm.

Cuadro 3. Estadísticos de ajuste del modelo de Schumacher a la biomasa de fuste de sección, en árboles dominantes y codominantes, de una plantación mixta de 12 años de edad de *Pinus devoniana* y *P. pseudostrabus* en Jerécuaro, Guanajuato, México.

Table 3. Statistics of fit of the Schumacher model to the biomass of stem section, in dominant and co-dominant trees, of a mixed plantation of 12 years of age of *Pinus devoniana* and *P. pseudostrabus* in Jerécuaro, Guanajuato, México.

Especie	Estrato	Modelo (Bfs)	n	R ²	CME	Syx	P>F
<i>Pinus devoniana</i>	AD	exp (5.5303 + (-17.7098 / E))	8	0.95	16.75	4.09	0.001
	ACD	exp (5.3580 + (-18.0385 / E))	20	0.81	54.48	7.38	0.001
<i>Pinus pseudostrabus</i>	AD	exp (6.0266 + (-19.7879 / E))	8	0.82	163.51	12.78	0.001
	ACD	exp (5.7366 + (-20.5653 / E))	20	0.65	187.20	13.68	0.001
<i>Pd</i> y <i>Pp</i>	AD y ACD	exp (5.5910 + (-19.6455 / E))	40	0.82	126.51	11.24	0.001

Pd= *Pinus devoniana*; *Pp*= *Pinus pseudostrabus*; AD= árboles dominantes; ACD= árboles codominantes; Bfs = biomasa de fuste de la sección (kg); E= edad (años); exp= base de los logaritmos neperianos; n= número de árboles; R²= coeficiente de determinación; CME= cuadrado medio del error; Syx= error estándar (kg); P>F= significancia del modelo ♦ *Pd* = *Pinus devoniana*; *Pp* = *Pinus pseudostrabus*; DT = dominant trees; CDT = co-dominant trees; Bfs = biomass of stem of the section (kg); E = age (years); exp = base of the neperian logarithms; n = number of trees; R² = coefficient of determination; MSE = mean square of the error; Syx = standard error (kg); P>F = significance of the model.

Según Díaz *et al.* (2007), en árboles de *P. patula* de 20 cm de diámetro la biomasa fue 113 kg, y Návar *et al.* (2001) reportan 80.1 a 110.5 kg en especies del genero *Pinus*. En el presente estudio la Bfs fue 59.9 kg en *P. devoniana* y 81.2 kg en *P. pseudostrabus* a un diámetro base de 20 cm, valores que son dependientes de

pseudostrabus, which are similar to those reported by Návar *et al.* (2001), 36.3 and 64.5 % (*Bhr*) and 33.6 and 67.2 % (*Bf*) in *P. durangensis* and *P. cooperi*, but different from those of Díaz *et al.* (2007) in *P. patula* (18.0 % in *Bhr* and 82.0 % in *Bf*); in these same components, Gayoso (2001) indicates 26.3 and

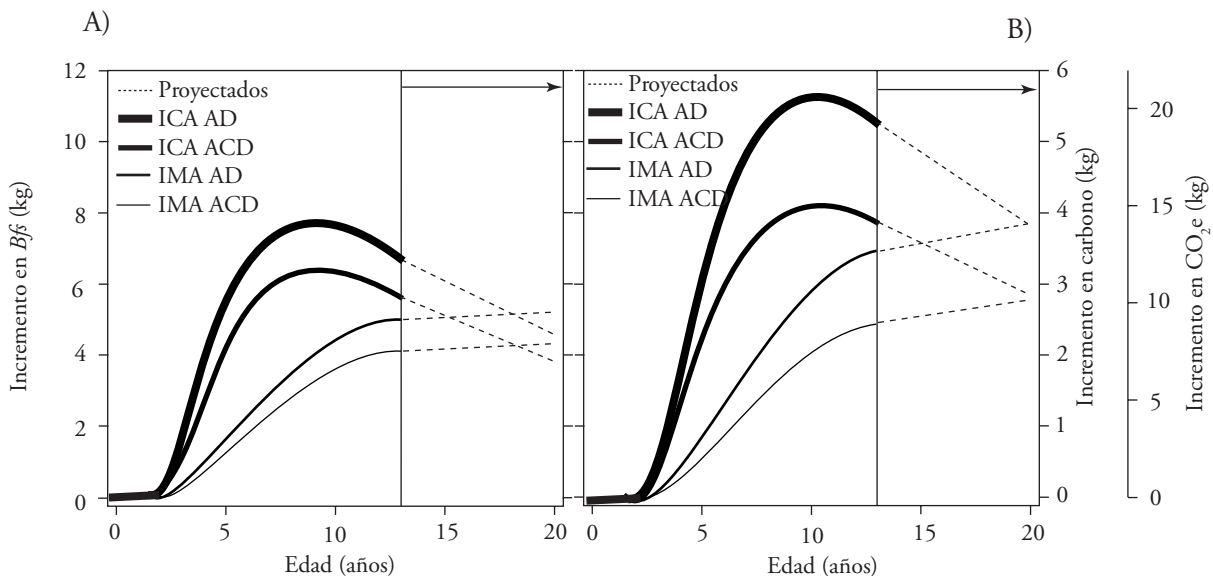


Figura 2. Cronología del incremento en biomasa de fuste de sección (Bfs), carbono (C) y carbono equivalente (CO_2e) por estrato, de una plantación mixta de 12 años de edad de *Pinus devoniana* (A) y *P. pseudostrabus* (B) en Jerécuaro, Guanajuato, México. ICA= incremento corriente anual ($kg\ año^{-1}$); IMA= incremento medio anual ($kg\ año^{-1}$); AD= árboles dominantes; ACD= árboles codominantes. Una flecha indica la proyección de la variable a la derecha de línea vertical.

Figure 2. Chronology of the increment in biomass of stem of section (Bfs), carbon (C) and carbon equivalent (CO_2e) per layer, of a mixed plantation of 12 years of age of *Pinus devoniana* (A) and *P. pseudostrabus* (B) in Jerécuaro, Guanajuato, México. ACI = annual current increment ($kg\ year^{-1}$); MAI = mean annual increment ($kg\ year^{-1}$); DT = dominant trees; CDT = co-dominant trees. An arrow indicates the projection of the variable to the right of the vertical line.

la especie, calidad del sitio, competencia y densidad de árboles.

El crecimiento en B, C y CO₂e en hojas y ramas, fuste y total, se obtuvo así:

$$[\exp(5.5910 + (-19.6455 / E))] + [(Bbr)] * [(N)] * [(FC)] * [(FCO_2e)] \quad (4)$$

donde, [1] es el modelo para estimar la *Bfs* de ambas especies (kg), *exp*= base de los logaritmos neperianos, *E*= edad (años); [2] es la *Bbr*= biomasa promedio de hojas y ramas, ~40 % del total (kg); [3] es el número de árboles ha⁻¹/1000, N; [4] es *FC*= factor de conversión a carbono, 0.5 (t); [5] es *FCO₂e*= factor de conversión a carbono equivalente, 3.7 (t), (Figura 3A). Con la derivación de las ecuaciones 2 y 3, se obtuvo el incremento anual de B, C y CO₂e (ICA e IMA) (Figura 3B).

Con esta base se calculó que el incremento corriente anual máximo (ICA) se alcanzó a los 9.8 años, lo que representó 5.83, 2.91 y 10.70 t ha⁻¹ año⁻¹ en

73.6 % in *Pinus radiata*. In *Pinus greggii* of 6 years this proportion seems to differ; 49.0 % in *Bbr* and 51.0 % in *Bf*(Pacheco *et al.*, 2007). These differences are explained by the form of intrinsic growth of each species, competition among trees (Zobel and Talbert, 1988) and climatic conditions of the site (Bazzaz *et al.*, 1990).

Growth and increment in biomass of *P. devoniana* and *P. pseudostrabus*

In contrast to the allometric equations, the best fits of the Schumacher model to the *Bfs* were registered in *P. devoniana*, 95.7 and 81.2 % and only 82.4 and 65.7 % in *P. pseudostrabus*, for DT and CDT (Table 3). With respect to the annual increments (ACI and MAI) in the *Bfs*, important differences were observed among species (Figure 2). *Pinus pseudostrabus* showed the highest yields in B, C and CO₂e (1.6 times more than *P. devoniana*) at the moment of reaching the absolute turn (~ 20 years).

The analysis of the results indicates that at 12 years the *Bfs* was 31.6 to 71.2 kg in *P. devoniana*,

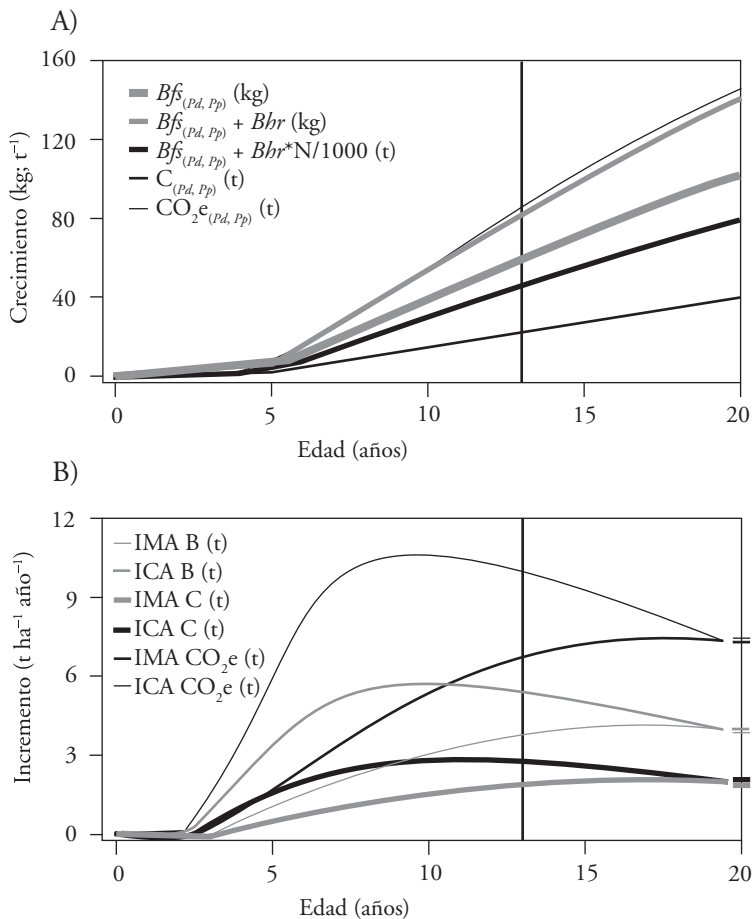


Figura 3. Crecimiento (A) e incremento (B) de biomasa de fuste (Bfs), carbono (C) y carbono equivalente (CO₂e) en una plantación mixta de 12 años de edad de *Pinus devoniana* (Pd) y *P. pseudostrabus* (Pp) en Jerécuaro, Guanajuato, México. N= número de árboles; ICA= incremento corriente anual (t ha año⁻¹); IMA= incremento medio anual (t ha año⁻¹); B= biomasa aérea total (t ha⁻¹). En la línea derecha perpendicular al eje de las X se muestra la proyección de cada variable.

Figure 3. Growth (A) and increment (B) of biomass of stem (Bfs), carbon (C) and carbon equivalent (CO₂e) in a mixed plantation of 12 years of age of *Pinus devoniana* (Pd) and *P. pseudostrabus* (Pp) in Jerécuaro, Guanajuato, México. N = number of trees; ACI = annual current increment (t ha year⁻¹), MAI = mean annual increment (t ha year⁻¹); B = total aboveground biomass (t ha⁻¹). In the right line perpendicular to the X axis the projection of each variable is shown.

B, C y CO₂e. El modelo de crecimiento predice que el turno absoluto se alcanzaría aproximadamente a los 20 años de edad, y se obtendría 3.96, 1.98 y 7.27 de B, C y CO₂e (t ha⁻¹ año⁻¹) cuando ICA=IMA (Figura 3B). En términos acumulativos (a los 20 años) estos valores ascenderían a 79.23, 39.61 y 145.40 t ha⁻¹ (Figura 3A). Algunos autores (Mohren y Golderijk, 1990; Mákelá, 1997; Nívar *et al.*, 2001) incluyen la cuantificación del incremento en biomasa, en modelos de flujo de carbono entre la vegetación, suelo y atmósfera, y se considera parte importante de los modelos de crecimiento, pero no así de los modelos alométricos.

Acumulación de biomasa, carbono y carbono equivalente a nivel plantación

Con los datos del inventario y los modelos alométricos que cuantifican la *Bt* en *P. devoniana* y *P. pseudostrobus* con *m7* y *m9*, se obtuvo una biomasa aérea total de 39.36 t ha⁻¹, que corresponde a 19.68 t C ha⁻¹ y 72.02 t CO₂e ha⁻¹ (*Bt*†, Cuadro 4). Se debe enfatizar que la *Bhr* y *Bf* † se calculó con *m4+m5* y con *m1+m9*, mientras que *Bt*† se obtuvo con *m7* y *m9* en *P. devoniana* y *P. pseudostrobus*. La biomasa acumulada total resultó diferente con ambos procedimientos debido a que los modelos alométricos para evaluar *Bhr* y *Bf* no son los mismos; es decir,

and of 29.4 to 122.1 kg in *P. pseudostrobus*, with a difference of 50.8 kg between the maximums of both species. According to Díaz *et al.* (2007), in trees of *P. patula* of 20 cm diameter, the biomass was 113 kg, and Nívar *et al.* (2001) report 80.1 to 110.5 kg in species of the genus *Pinus*. In the present study the *Bfs* was 59.9 kg in *P. devoniana* and 81.2 kg in *P. pseudostrobus* at a base diameter of 20 cm, values that are dependent on the species, site quality, competition and tree density.

The growth in B, C and CO₂e in leaves and branches, stem and total, was obtained as follows:

$$[\exp(5.5910 + (-19.6455 / E))] + [(Bhr)] * [(M)] * [(FC)] * [(FCO_2e)] \tag{4}$$

where [1] is the model for estimating the *Bfs* of both species (kg), *exp* = base of the neperian logarithms, *E* = age (years); [2] is the *Bhr*= average biomass of leaves and branches, ~40 % of the total (kg); [3] is number of trees ha⁻¹/1000, N; [4] is *FC* = factor of conversion to carbon, 0.5 (t); [5] is *FCO₂e*= factor of conversion to carbon equivalent, 3.7 (t) (Figure 3A). With the derivation of equations 2 and 3, the annual increment was obtained of B, C and CO₂e (ACI and MAI) (Figure 3B).

Cuadro 4. Acumulación de biomasa, carbono y carbono equivalente en una plantación mixta de 12 años de edad de *Pinus devoniana* y *P. pseudostrobus* en Jerécuaro Guanajuato, México.

Table 4. Accumulation of biomass, carbon and carbon equivalent in a mixed plantation of 12 years of age of *Pinus devoniana* and *Pinus pseudostrobus* in Jerécuaro, Guanajuato, México.

Especie	Características dasométricas				Componente				
	N (árboles ha ⁻¹)	\bar{D} (cm)	\bar{H} (m)	Elem. (t ha ⁻¹)	<i>Bhr</i> (t ha ⁻¹)	<i>Bf</i> (t ha ⁻¹)	<i>Bhr</i> y <i>Bf</i> † (t ha ⁻¹)	<i>Bt</i> † (t ha ⁻¹ año ⁻¹)	IMA de <i>Bt</i> †
<i>Pd</i> y <i>Pp</i>	564.0	18.5	8.9	B	19.4	22.4	41.8	39.3	3.2
				C	9.7	11.2	20.9	19.6	1.6
				CO ₂ e	35.5	41.0	76.6	72.0	6.0

Pd= *P. devoniana*; *Pp*= *P. pseudostrobus*; N= número de árboles; \bar{D} = diámetro promedio, \bar{H} = altura promedio; B= biomasa; C= carbono; CO₂e= carbono equivalente; *Bhr*= biomasa de hojas y ramas; *Bf*= biomasa de fuste; *Bt*= biomasa total; IMA= incremento medio anual. *Bhr* y *Bf*†= biomasa estimada con: modelo 4 + modelo 5 en *P. devoniana*; modelo 1 + modelo 9 en *P. pseudostrobus*, y transformado a C y CO₂e usando factores de conversión ♦ *Pd* = *P. devoniana*; *Pp* = *P. pseudostrobus*; N= number of trees; \bar{D} = average diameter, \bar{H} = average height; B = biomass; C = carbon; CO₂e = carbon equivalent; *Bhr* = biomass of leaves and branches; *Bf*= biomass of stem; *Bt* = total biomass; MAI = mean annual increment. *Bhr* and *Bf*† = biomass estimated with: model 4 + model 5 in *P. devoniana*; model 1 + model 9 in *P. pseudostrobus*, and transformed to C and CO₂e using conversion factors. *Bt*†= biomasa estimada con el modelo 7 en *P. devoniana* y modelo 9 en *P. pseudostrobus*, y transformado a C y CO₂e usando factores de conversión ♦ *Bt*†= biomass estimated with model 7 in *P. devoniana* and model 9 in *P. pseudostrobus*, and transformed to C and CO₂e using factors of conversion.

Anexo 1. Parámetros de regresión de modelos (m) de biomasa, en hojas y ramas (*Bhr*), fuste (*Bf*) y total (*Bt*) en una plantación mixta de 12 años de edad de *Pinus devoniana* y *P. pseudostrobus* en Jerécuaro, Guanajuato, México.
Annex 1. Parameters of regression of models (m) of biomass in leaves and branches (*Bhr*), stem (*Bf*) and total (*Bt*) in a mixed plantation of 12 years of age of *Pinus devoniana* and *P. pseudostrobus* in Jerécuaro, Guanajuato, México.

m	Hojas y ramas (<i>Bhr</i>)				Fuste (<i>Bf</i>)				Total (<i>Bt</i>)			
	β_0	β_1	β_2	β_3	β_0	β_1	β_2	β_3	β_0	β_1	β_2	β_3
<i>P. devoniana</i>												
1	0.044	2.117			0.156	1.808			0.182	1.936		
2	-31.378	3.349	-0.025		-34.236	4.125	-0.031		-65.614	7.475	-0.056	
3	-0.635	0.131	-0.522	-0.007	34.550	-0.058	-3.763	0.016	33.146	0.075	-4.189	0.009
4	-1.658	0.067			2.372	0.081			0.714	0.148		
5	4.660	0.006			6.183	0.009			10.843	0.014		
6	-0.319	0.266			0.485	0.271			0.168	0.379		
7	-3.127	2.118			-1.861	1.808			-1.705	1.936		
8	-2.903	0.752			-2.846	0.789			-2.186	0.773		
9	0.945	0.112			1.607	0.096			2.012	0.103		
<i>P. pseudostrobus</i>												
1	0.001	3.954			0.007	2.975			0.003	3.383		
2	214.074	-24.976	0.795		117.958	-14.254	0.533		332.032	-39.231	1.328	
3	98.597	-0.184	-12.350	0.034	42.396	-0.111	-5.193	0.026	140.733	-0.294	-17.518	0.059
4	-28.491	0.174			-20.478	0.180			-48.970	0.354		
5	-15.988	0.014			-8.425	0.015			-24.413	0.028		
6	-5.733	0.597			-3.310	0.519			-6.179	0.780		
7	-8.273	3.953			-5.027	2.974			-5.692	3.382		
8	-8.805	1.494			-6.027	1.194			-6.538	1.323		
9	-0.094	0.181			1.051	0.140			1.250	0.157		

no poseen propiedades de aditividad. Según Cunia y Briggs (1985), Parresol (1999) y Návar *et al.* (2001), la aditividad de los componentes de biomasa se asegura cuando se usa la misma variable independiente o el mismo modelo, por lo que sugieren utilizar este principio para cuantificar adecuadamente la biomasa.

CONCLUSIONES

Con las ecuaciones alométricas se calculó cada componente de biomasa, principalmente *Bt*, pero no ocurrió lo mismo con *Bhr*; por tanto, es preferible cuantificar *Bt* mediante la integración de *Bhr* y *Bf* o con modelos aditivos. El diámetro normal predice eficientemente la biomasa de hojas y ramas, fuste y total en ambas especies. Los análisis troncales permitieron cuantificar la biomasa aérea en términos de incrementos anuales. Se encontraron diferentes tasas de crecimiento e incremento de biomasa, carbono y carbono equivalente entre *Pinus devoniana* y *P. pseudostrobus*.

With this base it was calculated that the maximum annual current increment (ACI) was reached at 9.8 years, which represented 5.83, 2.91 and 10.70 t ha⁻¹ year⁻¹ in B, C and CO₂e. The growth model predicts that the absolute turn would be reached at approximately 20 years of age, and 3.96, 1.98 and 7.27 would be obtained of B, C and CO₂e (t ha⁻¹ year⁻¹) when ACI = MAI (Figure 3B). In accumulative terms (at 20 years) these values would ascend to 79.23, 39.61 and 145.40 t ha⁻¹ (Figure 3A). Some authors (Mohren and Goldewijk, 1990; Mákelá, 1997; Návar *et al.*, 2001) include the quantification of the increment in biomass, in models of carbon flow among vegetation, soil and atmosphere, and is considered an important part of the growth models, but not of the allometric models.

Accumulation of biomass, carbon and carbon equivalent at the plantation level

With the data of the inventory and the allometric models that quantify the *Bt* in *P. devoniana* and *P.*

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por la UAAAN mediante el proyecto No. 02-03 0207-2422. Agradecimientos especiales a la Facultad de Tecnología de La Madera, Universidad Michoacana, así como a los investigadores anónimos que revisaron el presente manuscrito.

LITERATURA CITADA

- Bazzaz F., A., J. Coleman S. and S. Morse R. 1990. Growth responses of seven major co-occurring tree species of the north-eastern United States to elevated CO₂. *Can. J. For. Res.* 20: 1479-1484.
- Brown, S. 1999. Guidelines for inventorying and monitoring carbon offsets in forest-based projects. Winrock International, Arlington, Virginia. USA. 11 p.
- Brown, S. 2001. Measuring carbon in forests: current status and future challenges. *Environ. Poll.* 116: 363-372.
- Cunia, T., and R. Briggs D. 1985. Forcing additivity for biomass tables: use of the generalized least square method. *Can. J. For. Res.* 15: 23-28.
- Díaz F., R., M. Acosta M., F. Carrillo A., E. Buendía R., E. Flores A., y J. Etchevers B. 2007. Determinación de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Pinus patula* Schl. et Cham. *Madera y Bosques* 13: 25-34.
- Dixon R., K., S. Brown, R. Houghton A., A. Solomon M., M. Trexler C., and J. Wisniewski. 1994. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science* 263: 185-190.
- FAO. 2010. Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales. Departamento Forestal. Viale delle Terme di Caralla. 00153. Roma, Italia. 346 p.
- Field C., B., M. Behrenfeld J., J. Randerson T., and P. Falkowski. 1998. Primary production of the biosphere: integrating terrestrial and oceanic components. *Science* 281: 237-240.
- Figueroa N., C., J. D. Etchevers B., A. Velázquez M., y M. Acosta M. 2005. Concentración de carbono en diferentes tipos de vegetación de la Sierra norte de Oaxaca. *Terra* 2: 57-64.
- García, E. 1988. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Climas, Clasificación de Köppen, modificado por García. Carta de Climas, escala 1:1 000 000. México.
- Gayoso, J., y B. Schlegel. 2001. Proyectos forestales para la mitigación de gases efecto invernadero. Una tarea pendiente. *Ambiente y Desarrollo* 1: 41-49.
- Gayoso, J., J. Guerra, y D. Alarcón D. 2002. Contenido de carbono y funciones de biomasa en especies nativas y exóticas. Proyecto FONDEF. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 157 p.
- Hidayat, S., and W. Simpson. 1994. Use of green moisture content and basic specific gravity to group tropical woods for kiln drying. *Res. Note FPL-RN-0263*. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 39 p.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2007. Informe de síntesis. Contribución de los grupos de trabajo I, II y III al cuarto informe de evaluación del grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático. Pachauri, R. K., y A. Reisinge (eds). Ginebra, Suiza. 104 p.
- pseudostrobus* with m_7 and m_9 , a total aboveground biomass of 39.36 t ha⁻¹ was obtained, which corresponds to 19.68 t C ha⁻¹ and 72.02 t CO₂e ha⁻¹ ($Bt\ddagger$, Table 4). It should be emphasized that the Bhr and $Bf\ddagger$ was calculated with $m_4 + m_5$ and with $m_1 + m_9$, whereas $Bt\ddagger$ was obtained with m_7 and m_9 in *P. devoniana* and *P. pseudostrobus*. The total accumulated biomass was different with both procedures due to the fact that the allometric models for evaluating Bhr and Bf are not the same; that is, they do not have properties of additivity. According to Cunia and Briggs (1985), Parresol (1999) and Nívar *et al.* (2001), the additivity of the biomass components is assured when the same independent variable or the same model is used, thus they suggest using this principal to adequately quantify the biomass.

CONCLUSIONS

With the allometric equations each biomass component was calculated, principally Bt ; therefore it is preferable to quantify Bt through the integration of Bhr and Bf or with additive models. The normal diameter efficiently predicts the biomass of leaves and branches, stem and total in both species. The stem analyses made it possible to quantify the aboveground biomass in terms of annual increments. Different growth rates and increments of biomass, carbon and carbon equivalent were found between *Pinus devoniana* and *P. pseudostrobus*.

—End of the English version—

-----*-----

- Mákelá, A. 1997. A carbon balance model of growth and self-pruning in tree based on structural relationships. *For. Sci.* 43: 7-24.
- Menzel, A., and P. Fabian. 1999. Growing season extended in Europe. *Nature* 397: 659.
- Mohren, G. M. J., and C. G. M. K Goldewijk. 1990. CO2FIX: a dynamic model of the CO₂-fixation in forest stands. De Dorschkamp. Research institute for forestry and urban ecology. Report No. 624. 35 p.
- Myneni R., B., C. Keeling D., C. Tucker J., G. Asrar, and R. Nemani R. 1997. Increased plant growth in the northern high latitudes from 1981 to 1991. *Nature* 386: 698-702.
- Nívar C., J. J., N. González B., y J. Graciano L. 2001. Ecuaciones para estimar componentes de biomasa en plantaciones forestales de Durango, México. *In: Simposio internacional medición y monitoreo de la captura de carbono en ecosistemas forestales*. Valdivia, Chile. 12 p.

- Ordóñez J. A., B. J. De Jong, y O. Masera. 2001. Almacenamiento de carbono en un bosque de *Pinus pseudostrobus* en Nuevo San Juan, Michoacán. *Madera y Bosques* 7: 27-47.
- Pacheco E., F. C., A. Aldrete, A. Gómez G., A. Fierros G., V. M. Cetina A., y H. Vaquera H. 2007. Almacenamiento de carbono en la biomasa aérea de una plantación joven de *Pinus greggii* Engelm. *Rev. Fitotec. Mex.* 30: 251-254.
- Parresol, B. R. 1999. Assessing tree and stand biomass: a review with examples and critical comparisons. *For. Sci.* 4: 573-594.
- Perry, J. P. 1991. *The Pines of México and Central America*. Timber Press, Portland, Oregon, USA. 231 p.
- PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente). 1987. Los gases de efecto invernadero, PNUMA/ Foro Ambiental SIMUVIMA Biblioteca No. 1. Nairobi.
- Prodan, M., R. Peters, F. Cox, y R. Real. 1997. *Mensura Forestal*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, CATIE. San José, Costa Rica. 561 p.
- Raev, I., ü., Asan, and O. Grozev. 1997. Acumulación de CO₂ en la parte aérea de la biomasa de los bosques de Turquía y Bulgaria, en las últimas décadas. *In: XI Congreso Forestal Mundial*. Antalya, Turquía. 1: 4.
- Schlegel, B., J. Gayoso, y J. Guerra. 2000. Manual de procedimientos y muestreos de biomasa forestal. Proyecto Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques de Chile y promoción en el mercado mundial. FONDEF- UACH- INFOR. 20 p.
- Spiecker, H., K. Mielikainen, M. Kohl, and J. Skovsgaard P. (eds). 1996. *Growth Trends in European Forests*. Springer-Verlag, Berlin, Germany. 372 p.
- Wright, J. A., and A Wessels. 1992. Laboratory scale pulping of *Pinus pseudostrobus*, *P. maximinoi* and *P. patula*. *IPEF, International*, Piracicaba 2: 39-44.
- Zobel, B., y J. Talbert. 1988. *Técnicas de Mejoramiento Genético de Árboles Forestales*. Ed. Limusa. México. 545 p.