

ESTIMACIÓN DEL DIÁMETRO, ALTURA Y VOLUMEN A PARTIR DEL TOCÓN PARA ESPECIES FORESTALES DE DURANGO

DIAMETER, HEIGHT AND VOLUME ESTIMATION FROM THE STUMP OF FOREST SPECIES OF DURANGO STATE

Gerónimo Quiñónez Barraza¹, Francisco Cruz Cobos¹, Benedicto Vargas Larreta² y Francisco Javier Hernández²

RESUMEN

Cuando una masa forestal ha sido aprovechada mediante un programa de manejo y solo se tiene como evidencia las dimensiones de los tocones, es posible estimar a través de relaciones alométricas el diámetro y la altura, así como el volumen de los árboles en pie. En el presente trabajo se describe un experimento en el que se ajustaron 12 modelos matemáticos para predecir el diámetro normal, la altura total y el volumen del fuste, a partir del diámetro del tocón para *Pinus arizonica*, *P. ayacahuite*, *P. durangensis*, *P. leiophylla*, *P. teocote* y *Quercus sideroxyla* en el ejido San Diego de Tezains, municipio Santiago Papasquiaro, Durango, que se ubica en la región noroeste del estado, en la Sierra Madre Occidental. Para ello, se utilizó una muestra de 267 árboles derribados y se emplearon modelos lineales y no lineales. El ajuste de los modelos indica que existe una tendencia lineal entre las variables diámetro normal y altura total, en función del diámetro del tocón; mientras que para el volumen del fuste, la relación es logarítmica. Así mismo, se observó que existe similitud entre especies, con respecto a las relaciones de las variables estudiadas. Las ecuaciones obtenidas pueden aplicarse en la reconstrucción de escenarios después de una intervención silvícola o la ocurrencia de fenómenos naturales catastróficos.

Palabras clave: Altura de fuste, diámetro del tocón, diámetro normal, modelo matemático, relaciones alométricas, volumen de fuste.

ABSTRACT

When a forest mass has been harvested following a management program and the size of the stumps are the only evidence, it is possible to estimate diameter, height and volume of standing trees by allometric relationships. In this paper is described an experiment in which 12 mathematical models were fitted to predict normal diameter, total height and stem volume from the diameter of the stump of *Pinus arizonica*, *P. ayacahuite*, *P. durangensis*, *P. leiophylla*, *P. teocote* and *Quercus sideroxyla* in San Diego de Tezains, Santiago Papasquiaro municipality, which is located at the northwestern region of the state of Durango and belongs to the Sierra Madre Occidental. A sample of 267 felled trees and linear and non-linear models were used. The fitting of models indicates that there is a linear tendency between normal diameter and total height, in terms of stump diameter, while for the volume of the stump, there is a logarithmic relationship. Also, a similitude among species in regard to the relations of the studied variables was observed. The resulting equations may be applied in the reconstruction of scenes after a forestry intervention occurs or when a catastrophic event takes place.

Key words: Height of stem, breast-high diameter, diameter of the stump, mathematical model, allometric relationships, volume of the stem.

Fecha de recepción: 12 de abril de 2010.

Fecha de aceptación: 1 de febrero de 2012.

¹ Colegio de Postgraduados, Campus Montecillos. Correo- e: geronimo2723@yahoo.com.mx

² Instituto Tecnológico de El Salto.

INTRODUCCIÓN

Los bosques son valorados, desde el punto de vista económico, en función de la cantidad de madera que producen; por lo tanto, una de las actividades más comunes en biometría forestal es la estimación del volumen de los árboles, mediante ecuaciones que lo predicen con base en algunas variables independientes de fácil medición en el campo. Estos modelos son herramientas matemáticas fundamentales para calcular las existencias volumétricas y, por consiguiente, se convierten en una consideración básica para la toma de decisiones en el manejo forestal (Robinson y Wood, 1994).

El diámetro normal es una variable que sirve para determinar el volumen individual o de una masa forestal, para definir la estructura del bosque o para seleccionar los árboles que se deben medir en un inventario, de acuerdo a un diseño de muestreo. Después del aprovechamiento, cuando un árbol ha sido cortado, solo permanece su tocón como un indicador de sus dimensiones, y este puede utilizarse como variable predictiva del diámetro normal o de su volumen (McClure, 1968).

Báes y Gra (1990) plantearon tres aspectos por los cuales es necesario conocer la relación entre el diámetro del tocón y el diámetro a 1.30 m: 1) para cuantificar el volumen extraído por cortas furtivas con el uso de tablas de volumen locales, 2) cuando la información no se obtuvo o se perdió, lo que permite conocer la distribución de los diámetros y área basal de parcelas y rodales y 3) para estimar la cantidad de madera extraída en grandes extensiones.

La literatura sobre la predicción del volumen del árbol en función del diámetro del tocón es escasa. La mayoría de los trabajos desarrollados presentan tablas, gráficos o ecuaciones que predicen el diámetro normal (McClure, 1968; Bylin, 1982; Weigel y Johnson, 1997). En estos casos la estimación del volumen se realiza en dos fases: primero se calcula el diámetro normal y enseguida se obtiene el volumen del árbol con una tarifa de cubicación local (Bylin, 1982). Sin embargo, existen ocasiones en que se carece de ella, por lo que se debe usar otra herramienta para la determinación directa del volumen. Así, Myers (1963), Nyland (1977), Bylin (1982) y Parresol (1998) relacionaron el diámetro del tocón con el volumen del árbol en diferentes especies forestales de Norteamérica. En México, el único trabajo sobre el tema es el de Corral-Rivas *et al.* (2007), quienes calcularon el diámetro normal y el volumen del fuste para *Pinus cooperi* C.E. Blanco en la región forestal de El Salto, Durango.

El objetivo del presente estudio fue determinar el modelo matemático que estima mejor el diámetro normal, la altura total y el volumen del fuste en función del diámetro del tocón para *Pinus arizonica* Engelm., *P. durangensis* Martínez, *P.*

INTRODUCTION

Forests are appreciated, from an economic viewpoint, in terms of the amount of Wood that they produce; thus, one of the regular activities in forest biometry is the estimation of tree volume, by means of equations that predict it based upon some independent variables of easy measurement in the field. These models are essential mathematic tools to calculate volumetric stock and, consequently, they become a basic consideration for decision taking in forest management (Robinson y Wood, 1994).

Normal diameter (dbh) is a useful variable to determine tree or forest mass volume, in order to define the structure of the forest or to select the trees that must be measured in an inventory, according to the sampling system. After harvest, when a tree has been cut, only the stump stays as an indicator of its size, and it can be used as a predictive variable of the normal diameter or of its volume (McClure, 1968).

Báes and Gra (1990) proposed three aspects which makes mandatory to know the relation between the diameter of the stump and the 1.30 m diameter: 1) to quantify the extracted volume from illegal cuttings with the use of local volume tables; 2) when the information was not attained or if it was lost, which allows to know the distribution of diameters and basal area of lots and stands and 3) to estimate the amount of wood extracted in great areas.

Literature about the prediction of tree volume from the diameter of the stump is scarce. Most of the contributions have tables, graphics or equations that predict normal diameter (McClure, 1968; Bylin, 1982; Weigel and Johnson, 1997). In these cases, volume estimation is performed in two phases: first is calculated normal diameter and then tree volume is obtained with a local cubication tariff (Bylin, 1982). However, there are times in which it is not available, which makes it necessary to use another tool for direct volume determination. Thus, Myers (1963), Nyland (1977), Bylin (1982) and Parresol (1998) related the diameter of the stump with tree volume in different forest species of North America. In Mexico, the only work related to this topic is that of Corral-Rivas *et al.* (2007), who calculated normal diameter and stem volume for *Pinus cooperi* C.E. Blanco in the forest region of El Salto, in Durango State.

The aim of the actual study was to determine the mathematical model that better estimates normal diameter, total height and stump volume from diameter of the stump for *Pinus arizonica* Engelm., *P. durangensis* Martínez, *P. teocote* Schied. ex Schltdl. et Cham., *P. leiophylla* Schiede ex Schltdl. et Cham., *P. ayacahuite* Ehrenb. ex Schltdl. and *Quercus sideroxyla* Bonpl.

teocote Schied. ex Schltdl. et Cham., *P. leiophylla* Schiede ex Schltdl. et Cham., *P. ayacahuite* Ehrenb. ex Schltdl. y *Quercus sideroxyla* Bonpl.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio

El ejido San Diego de Tezains se ubica en la región noroeste del estado de Durango, en la Sierra Madre Occidental, entre las coordenadas 24° 48' 16.98" N y 25° 13' 38.91" N, 106° 12' 37.63" W y 106° 12' 25.58" W y está comprendido en los municipios de Tepehuanes, Topia, Canelas, Otáez y Santiago Papasquiaro, con su mayor superficie (Figura 1).

MATERIALS AND METHODS

Study area

San Diego de Tezains ejido belongs to the Northwestern region of the State of Durango, and to the Sierra Madre Occidental; it is between 24° 48' 16.98" N and 25° 13' 38.91" N, 106° 12' 37.63" W and 106° 12' 25.58" W and is part of several municipalities, Tepehuanes, Topia, Canelas, Otáez and Santiago Papasquiaro, being the latter where it displays its greatest territory (Figure 1).

The types of climates in the area are temperate or mild, humid warm and subhumid temperate, with 1,375 mm as average annual precipitation (García, 1981). Average temperatures

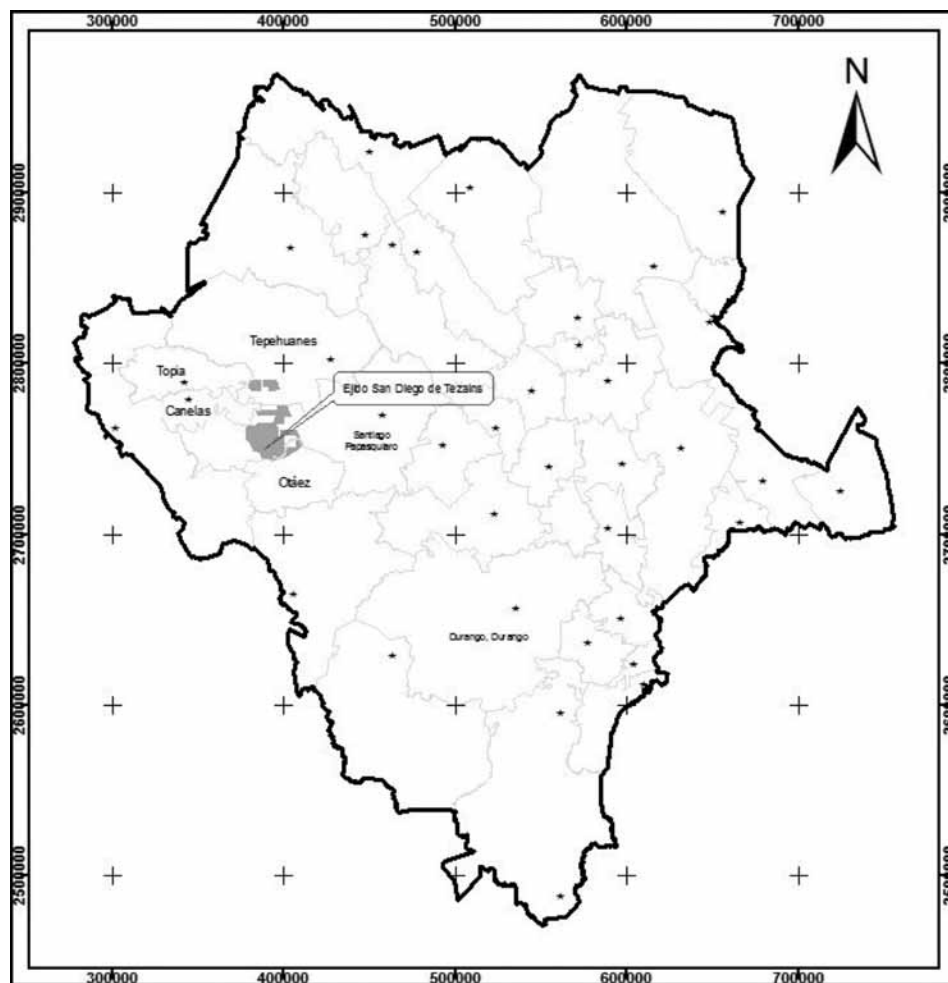


Figura 1. Ubicación del área de estudio en el estado de Durango.

Figure 1. Location of the study area in Durango State.

Los tipos de climas en el área corresponden al templado, cálido húmedo y templado subhúmedo; con una precipitación media anual de 1,375 mm (García, 1981). Las temperaturas medias varían desde 8 °C en las zonas más altas hasta 24 °C en las partes bajas, en las cuales la altitud media apenas llega a 600 m. (INEGI, 1993a, b, c, d, e). Las asociaciones de suelo predominantes son Litosol, Cambisol, Luvisol, Regosol, Feozem, cromicos, háplicos y eutricos. Los tipos de vegetación predominante son los bosques de pino-encino (Programa de Manejo Forestal, 2006).

Métodos

Se utilizó una base de datos de 267 individuos derivados de los análisis troncales hechos en el 2006: *Pinus arizonica* (Pa, 46), *P. durangensis* (Pd, 73), *P. teocote* (Pt, 54), *P. leiophylla* (Pl, 30), *P. ayacahuite* (Pay, 27) y *Quercus sideroxila* (Qs, 37). Los árboles fueron seleccionados con base en un diseño de muestreo aleatorio estratificado y se consideró el número mínimo de individuos por categoría diamétrica para cada especie, de acuerdo a la estructura arbórea del área. El modelo se generó con información de sitios permanentes de investigación silvícola, que se establecieron para desarrollar el sistema biométrico del programa de manejo forestal, en el cual se sugiere un mínimo de 15 árboles para la categoría representativa, 10 dominantes y cinco intermedios o suprimidos.

Para la toma de datos se derribó cada ejemplar a la altura mínima posible de corte del tocón; se extrajeron tres secciones hasta llegar al diámetro normal (1.30 m), las dos primeras de 30 cm de altura y la tercera de 0.70cm. Posteriormente, se obtuvieron secciones de 2 m de longitud de manera subsecuente hasta la punta del árbol. Por individuo se midió el diámetro normal, la longitud total y de cada sección los diámetros y longitudes. Los volúmenes de las trozas se calcularon con la fórmula de Smalian [1] y la parte final con la del cono [2]:

$$V = \frac{S_1 + S_2}{2} h \quad [1]$$

$$V = \frac{S_b \cdot h}{3} \quad [2]$$

Donde:

S_1 = Superficie menor (m²)
 S_2 = Superficie mayor (m²)
 S_b = Superficie de la base (m²)
 h = Longitud (m)
 V = Volumen (m³)

Se sumaron los volúmenes individuales de cada sección para determinar el volumen total del fuste limpio.

vary from 8 °C at the highest zones up to 24 °C in the lower parts, where average altitude hardly gets to 600 m (INEGI, 1993). The prevailing soil associations are chromic, haplic and eutric Litosol, Cambisol, Luvisol, Regosol and Feozem and pine-oak forest are the dominant types of vegetation (Programa de Manejo Forestal, 2006).

Methods

A total of 267 individuals of a data base from the trunk analysis made in 2006 were used; they were composed as follows: *Pinus arizonica* (Pa, 46), *P. durangensis* (Pd, 73), *P. teocote* (Pt, 54), *P. leiophylla* (Pl, 30), *P. ayacahuite* (Pay, 27) and *Quercus sideroxila* (Qs, 37). Trees were selected based upon a stratified random sampling system and a minimum number of individuals by diametric category for each species, according to the tree structure of the area. The model was generated with information of permanent plots for forestry research which were established to develop the biometric system of the forest management program, in which it is suggested a minimal number of 15 trees for each representative category, 10 dominant and 5 in-between or suppressed.

In order to take data, each tree was felled at the minimum possible cutting height of the stump; three sections were removed up to the normal diameter (1.30 m); the first two of 30 cm and the third one, of 70 cm tall. Later, 2 m long sections were subsequently taken until de peak of the tree was reached. Normal diameter, total length and of each section, diameters and lengths were measured for each individual. The volume of logs was calculated by the Smalian [1] formula and that of the final part with, that of the cone [2]:

$$V = \frac{S_1 + S_2}{2} h \quad [1]$$

$$V = \frac{S_b \cdot h}{3} \quad [2]$$

Where:

S_1 =Smaller area (m²)
 S_2 =Bigger area (m²)
 S_b =Area of the base (m²)
 h =Length (m)
 V =Volume (m³)

Individual volumes of each section were added in order to determine total volume of the clean stem.

Modelos utilizados

Los modelos empleados fueron los recomendados por Diéguez *et al.* (2003), Benítez *et al.* (2004) y Corral-Rivas *et al.* (2007) (Cuadro 1).

Used Models

The models here used were recommended by Diéguez *et al.* (2003), Benítez *et al.* (2004) and Corral-Rivas *et al.* (2007) (Table 1).

Cuadro 1. Modelos predictivos del diámetro normal (dn), altura total (ht) y volumen del fuste (vf) en función del diámetro del tocón (dtoc).

Table 1. Predictive model of normal diameter (dn), total height (ht) and stem volume.

Relación	Modelo	Ecuación
(dn - dtoc)	M1	$dn = a + b (dtoc) + \epsilon$
	M2	$dn = a + b (dtoc)^2 + \epsilon$
	M3	$dn = a + b_1 (dtoc) + c (dtoc)^2 + \epsilon$
	M4	$\ln (dn) = a + b \ln (dtoc) + \epsilon$
(ht - dtoc)	M5	$ht = a + b (dtoc) + \epsilon$
	M6	$ht = a + b (dtoc)^2 + \epsilon$
	M7	$ht = a + b (dtoc) + c (dtoc)^2 + \epsilon$
	M8	$\ln (ht) = a + b \ln (dtoc) + \epsilon$
(vf - dtoc)	M9	$v = a + b (dtoc) + \epsilon$
	M10	$v = a + b (dtoc)^2 + \epsilon$
	M11	$v = a (dtoc)^b + \epsilon$
	M12	$\ln (v) = a + b \ln (dtoc) + \epsilon$

Los modelos M1 - M10 y M12 son lineales en sus parámetros, por lo que su ajuste se realizó con el método de mínimos cuadrados, mediante el procedimiento REG del programa estadístico SAS (SAS Institute INC, 2003). Para el modelo M11 se usó el procedimiento no lineal MODEL, del mismo programa.

M1 - M10 and M12 are linear models in their parameters; therefore, they were fitted with the least square method, by the REG of the SAS program (SAS Institute INC, 2003). In the case of M11 the MODEL non-linear procedure, of the same program, was used.

Ajuste de los modelos

Hair *et al.* (1999) señalaron que no siempre las ecuaciones que mejor se ajustan a la muestra producen las estimaciones más precisas de los valores reales, por lo que el objetivo de un análisis de regresión no es determinar el mejor ajuste solo para la muestra, sino desarrollar el modelo que describa con mayor certidumbre a la población en su conjunto. Por esta razón una medida utilizada para evaluar el valor teórico de la regresión es el error o residuo, es decir, la diferencia entre la variable dependiente efectiva y su valor predictivo. El análisis de los residuos permite calcular los estadísticos más

Fitting models

Hair *et al.* (1999) pointed out that not always the equations that better fit the sample bring the best estimations for the real values, so, the aim of a regression analysis is not to determine the best fit just for the sample, but to design the model that best describes the population as a group. This is why a measure used to assess the theoretical value of the regression is the error or residual, that is, the difference between the effective dependent variable and its predictive value. Residual analysis allows to calculate the most regular statistics; in this context, the fitness ability was analyzed from residuals, and of four statistics frequently used during the generation of forest

comunes; en este contexto, la capacidad de ajuste se analizó a partir de los residuos y de cuatro estadísticos utilizados con frecuencia durante la generación de modelos forestales (Prodan *et al.*, 1997; Gadow y Hui, 1999; Castedo y Álvarez, 2000; Diéguez *et al.*, 2003; Corral-Rivas *et al.*, 2007): Sesgo Promedio ($\bar{E}$), Raíz del Error Medio Cuadrático (REMC), Coeficiente de Determinación Ajustado (R^2_{adj}) y el Coeficiente de Variación (CV).

$$\bar{E} = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y}_i)}{n} \right] \quad [3]$$

$$REMC = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n - p}} \quad [4]$$

$$R^2_{adj} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y}_i)^2} * \left(\frac{n - 1}{n - p} \right) \quad [5]$$

$$CV = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{(Y_i - \bar{Y})^2}{n - 1} \right)}{\bar{Y}}} \quad [6]$$

Donde:

$Y_i, \hat{Y}_i, \bar{Y}$ = Valores observado, predicho y medio de la variable dependiente
 n = Número de observaciones
 p = Número de parámetros del modelo

El sesgo promedio indicó la desviación del modelo con respecto a los valores observados, la raíz del error cuadrático medio la precisión de las estimaciones, el coeficiente de determinación ajustado reflejó la variabilidad total explicada por el modelo, con base en el número total de parámetros a estimar, y el coeficiente de variación explicó la variabilidad relativa con respecto a la media, lo cual sirvió para la rápida comparación de los modelos propuestos (Diéguez *et al.*, 2003).

models (Prodan *et al.*, 1997; Gadow and Hui, 1999; Castedo and Álvarez, 2000; Diéguez *et al.*, 2003; Corral-Rivas *et al.*, 2007): Average bias ($\bar{E}$), Root-mean-square-error (REMC), Fitted Coefficient of Determination (R^2_{adj}) and Coefficient of Variation (CV).

$$\bar{E} = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y}_i)}{n} \right] \quad [3]$$

$$REMC = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n - p}} \quad [4]$$

$$R^2_{adj} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y}_i)^2} * \left(\frac{n - 1}{n - p} \right) \quad [5]$$

$$CV = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{(Y_i - \bar{Y})^2}{n - 1} \right)}{\bar{Y}}} \quad [6]$$

Where:

$Y_i, \hat{Y}_i, \bar{Y}$ = Observed, predicted and mean of the dependent values
 n = Number of the observations
 p = Number of the parameters of the model

The average bias indicated the deviation of the model in regard to the observed values; Root-mean-square-error (REMC), the precision of estimations; the Fitted Coefficient of Determination (R^2_{adj}) showed the total variability explained by the model, based upon the total number of parameters to be estimated, and the Coefficient of Variation (CV) explained the relative variability in regard to the mean, which served for the fast comparison of the models that were proposed (Diéguez *et al.*, 2003).

Data were graphically analyzed in order to detect atypical values or strange tendencies: residuals against the predicted values of the dependent variable. Such analysis

Con la finalidad de detectar los valores atípicos o tendencias extrañas en los datos, estos se analizaron, gráficamente: los residuos contra los valores predichos de la variable dependiente. Dicho análisis fue muy útil para determinar si los ajustes corresponden con los datos (Huang, 2002).

RESULTADOS

En el Cuadro 2 se presentan los estadísticos de diámetro del tocón (dtoc), diámetro normal (dn), altura total (ht) y volumen del fuste (vf) de la base de datos utilizada.

Cuadro 2. Valores de los estadísticos descriptivos.
Table 2. Values of the descriptive statistics.

Variable	Estadístico	Especie					
		<i>Pa</i>	<i>Pay</i>	<i>Pd</i>	<i>Pl</i>	<i>Pt</i>	<i>Qs</i>
	Observaciones	46	27	73	30	54	37
dtoc	Min (cm)	19.00	18.00	17.00	21.00	19.00	18.00
	Max (cm)	68.00	69.00	64.00	63.00	62.00	67.00
	Media (cm)	36.83	41.44	35.04	37.87	35.00	36.95
	STD	13.08	13.86	12.13	13.45	10.66	14.37
	CV	0.36	0.33	0.35	0.36	0.30	0.39
dn	Min (cm)	14.00	12.00	13.00	13.00	13.00	11.00
	Max (cm)	51.00	50.00	46.00	52.00	49.00	48.00
	Media (cm)	27.24	28.63	24.89	27.03	25.04	25.81
	STD	10.42	10.15	9.48	10.89	9.21	10.62
	CV	0.38	0.35	0.38	0.40	0.37	0.41
ht	Min (m)	8.30	9.37	8.53	10.64	7.85	6.44
	Max (m)	30.51	24.31	26.53	27.55	26.60	22.36
	Media (m)	18.05	17.39	16.32	16.89	15.13	12.27
	STD	4.91	4.66	4.81	5.13	4.31	4.16
	CV	0.27	0.27	0.29	0.30	0.29	0.34
vf	Min (m ³)	0.09	0.08	0.08	0.10	0.08	0.04
	Max (m ³)	2.38	2.11	2.34	2.80	2.35	2.06
	Media (m ³)	0.76	0.69	0.58	0.72	0.55	0.45
	STD	0.66	0.60	0.56	0.70	0.53	0.48
	CV	0.86	0.87	0.96	0.97	0.96	1.06

dtoc = diámetro del tocón (cm); dn = diámetro normal (cm); ht = altura total (m); vt = volumen de fuste (m³); Min = valor mínimo;

Max = valor máximo; STD= desviación estándar; CV= coeficiente de variación; *Pa* = *Pinus arizonica*; *Pay* = *Pinus ayacahuite*;

Pd = *Pinus duranguensis*; *Pl* = *Pinus leiophylla*; *Pt* = *Pinus teocote*; *Qs* = *Quercus sideroxila*.

dtoc = stump diameter (cm); dn = normal diameter (cm); ht = total height (m); vt = stem volume (m³); Min = minimal value;

Max = maximal value; STD= standard deviation; CV= coefficient of variation; *Pa* = *Pinus arizonica*; *Pay* = *Pinus ayacahuite*;

Pd = *Pinus duranguensis*; *Pl* = *Pinus leiophylla*; *Pt* = *Pinus teocote*; *Qs* = *Quercus sideroxila*.

Relación diámetro normal - diámetro del tocón

Los valores de los estimadores de los modelos para el caso de la relación del diámetro normal, en función del diámetro del tocón se muestran en el Cuadro 3. Se observa que el modelo con mejor ajuste para todas las especies fue el M4.

was very helpful to determine if the fittings are aligned to data (Huang, 2002).

RESULTS

In Table 2 are shown the statistics of stump diameter (dtoc), normal diameter (dn), total height (ht) and stem volume (vf) of the data base that was used.

Normal diameter - stump diameter relation

The values of the estimators of the models for normal diameter in terms of stump diameter are shown in Table 3. It can be observed that the best fit model was M4.

In Table 4 are summarized the values of parameters a and b (estimators), standard error (EE), calculated statistical t student (t) value and significance (Pr>t). Parameters were assessed with a 95% confidence for model 4, which was the best fit.

Cuadro 3. Parámetros y estadísticos de los modelos ajustados para la relación diámetro normal Diámetro del tocón (dn - dtoc).
 Table 3. Parameters and statistics of the fitted models for the normal diameter-stump diameter relation (dn - dtoc).

Especie	Modelo	a	b	c	$\bar{E}$	REMC	R^2_{adj}	CV
Pa	M1	-1.62	0.78		1.6 ⁻¹⁵	1.91	0.97	7.02
	M2	12.59	0.01		-8.7 ⁻¹⁷	2.71	0.93	9.96
	M3	-3.79	0.91	-0.0016	2.0 ⁻¹⁵	1.91	0.97	7.03
	M4	-0.57	1.07		3.2 ⁻¹⁵	1.91	0.97	7.02
Pay	M1	-1.28	0.72		-1.3 ⁻¹⁵	1.78	0.97	6.21
	M2	13.29	0.01		-7.0 ⁻¹⁶	2.35	0.95	8.21
	M3	-0.67	0.69	0.0003	-3.0 ⁻¹⁵	1.81	0.97	6.34
	M4	-0.55	1.05		3.6 ⁻¹⁶	1.74	0.98	6.09
Pd	M1	-1.72	0.76		-3.5 ⁻¹⁶	2.22	0.94	8.95
	M2	11.9	0.01		-3.4 ⁻¹⁶	2.77	0.91	11.14
	M3	-3.66	0.87	-0.0014	9.2 ⁻¹⁶	2.23	0.94	8.97
	M4	-0.60	1.07		1.2 ⁻¹⁵	2.22	0.95	8.94
Pl	M1	-3.05	0.79		-1.2 ⁻¹⁵	2.16	0.96	7.99
	M2	11.35	0.01		-1.3 ⁻¹⁵	2.31	0.96	8.55
	M3	1.94	0.52	0.0035	4.6 ⁻¹⁶	2.13	0.96	7.87
	M4	-0.72	1.10		-3.06 ⁻¹⁶	2.09	0.97	7.76
Pt	M1	-4.43	0.84		-6.0 ⁻¹⁶	2.07	0.95	8.28
	M2	10.42	0.01		9.3 ⁻¹⁶	2.30	0.94	9.19
	M3	-0.69	0.63	0.0029	1.3 ⁻¹⁵	2.06	0.95	8.23
	M4	-0.92	1.16		1.5 ⁻¹⁵	2.03	0.94	8.12
Qs	M1	-0.88	0.73		-1.2 ⁻¹⁵	2.27	0.95	8.81
	M2	12.28	0.01		1.2 ⁻¹⁵	2.95	0.92	11.43
	M3	-3.26	0.86	-0.0017	7.1 ⁻¹⁶	2.29	0.95	8.86
	M4	-0.57	1.06		1.4 ⁻¹⁵	2.27	0.95	8.78

Especies = especie; a, b y c = parámetros de los modelos; $\bar{E}$ = sesgo promedio; REMC = raíz del cuadrado medio del error;

R^2_{adj} = coeficiente de determinación ajustado; CV = coeficiente de variación; Pa = *Pinus arizonica*; Pay = *Pinus ayacahuite*;

Pd = *Pinus duranguensis*; Pl = *Pinus leiophylla*; Pt = *Pinus teocote*; Qs = *Quercus sideroxila*.

Especies = species; a, b and c = parameters of the models; $\bar{E}$ = average bias; REMC = Root-mean-square-error; R^2_{adj} = Fitted Coefficient of Determination; CV = coefficient of variation; Pa = *Pinus arizonica*; Pay = *Pinus ayacahuite*; Pd = *Pinus duranguensis*;

Pl = *Pinus leiophylla*; Pt = *Pinus teocote*; Qs = *Quercus sideroxila*.

En el Cuadro 4 se resumen los valores de los parámetros a y b (Estimadores), error estándar (EE), valor calculado del estadístico t de student (t) y significancia (Pr>t). Los parámetros se evaluaron con una confiabilidad del 95 % para el modelo 4, el cual presentó el mejor ajuste.

En la Figura 2 se muestran los valores predichos contra los residuos obtenidos con el modelo M4. La distribución de los errores no sigue un patrón definido, por lo que se asume que el modelo no presenta problemas de heterocedasticidad; mientras que, el intervalo de los valores residuales es pequeño, en todos los casos.

In Figure 2 are shown the predicted values against the obtained residuals from the M4 model. It can be observed that the distribution of errors does not follow a clear pattern, which suggests that the model has no heterocedasticity problems, while the interval of residual values is small, in all cases.

Total height-stump diameter relation

The values of the estimators and fit statistics for the total height relation in regard to stump diameter are in Table 5. The model with the best fit for all species was M5.

Cuadro 4. Valores de errores estándar, t y significancia de los parámetros de ajuste del modelo M4.
Table 4. Standard error values, t and significance of the fitness parameters for the M4 model.

Especie	Modelo	Parámetro	Estimador	EE	t	Pr>t
<i>Pa</i>	M4	a	-0.57	0.11	-5.40	<0.0001
		b	1.07	0.03	36.11	<0.0001
<i>Pay</i>	M4	a	-0.55	0.12	-4.58	0.0001
		b	1.05	0.03	31.91	<0.0001
<i>Pd</i>	M4	a	-0.60	0.10	-6.13	<0.0001
		b	1.07	0.03	38.25	<0.0001
<i>Pl</i>	M4	a	-0.72	0.13	-5.35	<0.0001
		b	1.10	0.04	29.42	<0.0001
<i>Pt</i>	M4	a	-0.92	0.15	-6.26	<0.0001
		b	1.16	0.04	27.91	<0.0001
<i>Qs</i>	M4	a	-0.57	0.14	-4.19	0.0002
		b	1.06	0.04	27.62	<0.0001

Pa = *Pinus arizonica*; *Pay* = *Pinus ayacahuite*; *Pd* = *Pinus duranguensis*; *Pl* = *Pinus leiophylla*; *Pt* = *Pinus teocote*; *Qs* = *Quercus sideroxyla*.

Cuadro 5. Parámetros y estadísticos de los modelos ajustados para la relación altura total - diámetro del tocón (ht - dtoc).
Table 5. Parameters and statistics of the fit models for the total height stump diameter relation (ht - dtoc).

Especie	Modelo	a	b	c	$\bar{E}$	REMC	R^2_{adj}	CV
<i>Pa</i>	M5	7.69	0.28		-4.0^{-15}	3.28	0.55	18.19
	M6	12.84	0.003		-4.8^{-15}	3.39	0.52	18.79
	M7	5.14	0.43	-0.0018	-3.0^{-15}	3.31	0.55	18.31
	M8	0.83	0.57		1.18^{-15}	3.25	0.56	17.99
<i>Pay</i>	M5	5.48	0.29		-1.0^{-15}	2.46	0.72	14.14
	M6	11.48	0.003		-1.2^{-15}	2.74	0.66	15.73
	M7	-1.68	0.65	-0.0042	-2.2^{-15}	2.37	0.74	13.62
	M8	0.21	0.71		2.4^{-16}	2.37	0.77	13.65
<i>Pd</i>	M5	6.47	0.28		-5.2^{-15}	3.41	0.47	20.89
	M6	11.53	0.003		-6.0^{-15}	3.47	0.48	21.28
	M7	5.22	0.35	-0.0009	-4.6^{-15}	3.43	0.49	21.03
	M8	0.65	0.60		7.4^{-16}	3.42	0.47	20.93
<i>Pl</i>	M5	4.56	0.33		1.5^{-15}	2.72	0.72	16.09
	M6	10.41	0.004		9.5^{-16}	2.68	0.73	15.85
	M7	9.13	0.07	0.0032	1.3^{-15}	2.72	0.72	16.12
	M8	0.38	0.67		-6.05^{-16}	2.75	0.72	16.25
<i>Pt</i>	M5	4.17	0.31		3.9^{-15}	2.76	0.59	18.22
	M6	9.67	0.004		4.7^{-15}	2.76	0.59	18.27
	M7	6.49	0.18	0.0018	4.3^{-15}	2.77	0.59	18.34
	M8	0.17	0.71		6.6^{-16}	2.76	0.56	18.24
<i>Qs</i>	M5	4.82	0.20		-1.8^{-15}	3.03	0.47	24.67
	M6	8.42	0.002		-8.5^{-16}	3.02	0.47	24.61
	M7	6.95	0.08	0.0015	-1.9^{-15}	3.06	0.46	24.93
	M8	0.46	0.56		9.02^{-16}	3.04	0.44	24.76

Pa = *Pinus arizonica*; *Pay* = *Pinus ayacahuite*; *Pd* = *Pinus duranguensis*; *Pl* = *Pinus leiophylla*; *Pt* = *Pinus teocote*; *Qs* = *Quercus sideroxyla*.

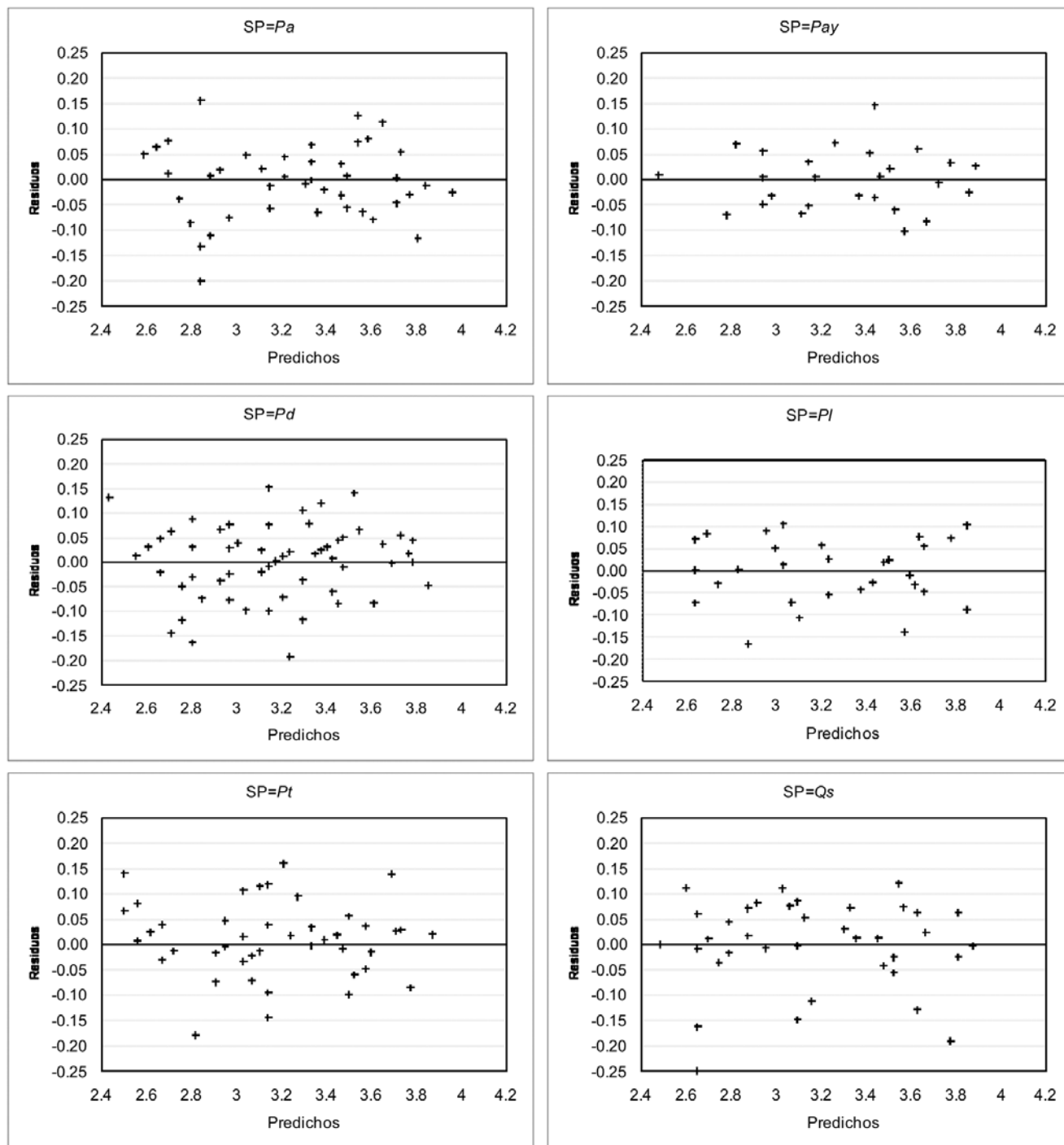


Figura 2. Valores residuales contra valores predichos para la relación diámetro normal - diámetro del tocón ($d_n - d_{toc}$) obtenidos con el modelo M4.

Figure 2. Residual values against predicted values for the normal diameter-stump diameter relation obtained from the M4 model.

Relación altura total - diámetro del tocón

Los valores de los estimadores y los estadísticos de ajuste para la relación altura total en función del diámetro del tocón se consignan en el Cuadro 5. El modelo con mejor bondad de ajuste para todas las especies fue el M5.

Los valores de los parámetros *a* y *b* (Estimadores), Error estándar del parámetro calculado (EE), el valor calculado del estadístico *t* de student (*t*) y la significancia del parámetro (*Pr>t*), calculados con una confiabilidad de 95% se muestran en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Valores de errores estándar, *t* y significancia de los parámetros de ajuste del modelo M5.

Table 6. Standard error, *t* and significance values of the fit parameters for the M5 model.

Especie	Modelo	Parámetro	Estimador	EE	<i>t</i>	<i>Pr>t</i>
<i>Pa</i>	M5	<i>a</i>	-0.57	0.11	-5.40	<0.0001
		<i>b</i>	1.07	0.03	36.11	<0.0001
<i>Pay</i>	M5	<i>a</i>	-0.55	0.12	-4.58	0.0001
		<i>b</i>	1.05	0.03	31.91	<0.0001
<i>Pd</i>	M5	<i>a</i>	-0.60	0.10	-6.13	<0.0001
		<i>b</i>	1.07	0.03	38.25	<0.0001
<i>Pl</i>	M5	<i>a</i>	-0.72	0.13	-5.35	<0.0001
		<i>b</i>	1.10	0.04	29.42	<0.0001
<i>Pt</i>	M5	<i>a</i>	-0.92	0.15	-6.26	<0.0001
		<i>b</i>	1.16	0.04	27.91	<0.0001
<i>Qs</i>	M5	<i>a</i>	-0.57	0.14	-4.19	0.0002
		<i>b</i>	1.06	0.04	27.62	<0.0001

Pa = *Pinus arizonica*; *Pay* = *Pinus ayacahuite*; *Pd* = *Pinus duranguensis*; *Pl* = *Pinus leiophylla*; *Pt* = *Pinus teocote*; *Qs* = *Quercus sideroxila*.

Los valores predichos contra los residuos del modelo M5 para la relación altura total y el diámetro del tocón, tuvieron una distribución cuyos residuos no fueron homogéneos, en cuanto a la varianza para las especies estudiadas; sin embargo, en las primeras categorías de altura existe una sobreestimación de los valores predichos por el modelo para las especies *Pd* y *Pt*; en tanto que para la categoría de 15 a 20 m de altura, los valores son más cercanos a cero para *Pay* y *Pl* (Figura 3).

Relación volumen de fuste - diámetro del tocón

Los valores de los estimadores de los modelos y los estadísticos de ajuste del volumen del fuste, en función del diámetro del tocón se resumen en el Cuadro 7. El modelo M12 tuvo el mejor ajuste para todas las especies.

En el Cuadro 8 se consignan los valores de los parámetros *a* y *b* (Estimador), su error estándar, el valor calculado de *t* de student (*t*) y la significancia (*pr>t*) de los parámetros.

The values of the *a* and *b* parameters (estimators), standard error of the calculated parameter (EE), the calculated statistical value of *t* student (*t*) and the significance of the parameter (*Pr>t*), calculated with a 95% confidence are shown in Table 6.

The predicted values against the residuals of the M5 for the total height and stump diameter relation, had a distribution where residuals were not homogeneous in regard to variance for the studied species; however, in the first height categories, there is an overestimation of the predicted values for the model

for *Pd* and *Pt*, while for the category of 15 to 20 m high; values are closer to zero for *Pay* and *Pl* (Figure 3).

Stem volume- stump diameter relation

In Table 7 are shown the values of the models estimators and the fit statistics of stem volume, in terms of stump diameter. M12 had the best fit for all species.

In Table 8 are summarized the values of the *a* and *b* parameters (Estimator), their standard error, the calculated student *t* value (*t*) and the significance (*pr>t*) of the parameters.

According to the predicted volume values from the M12 model, it can be observed that in low volumes it predicts with a very high confidence, while for higher volumes, the model overestimates the predicted values for all species (Figure 4).

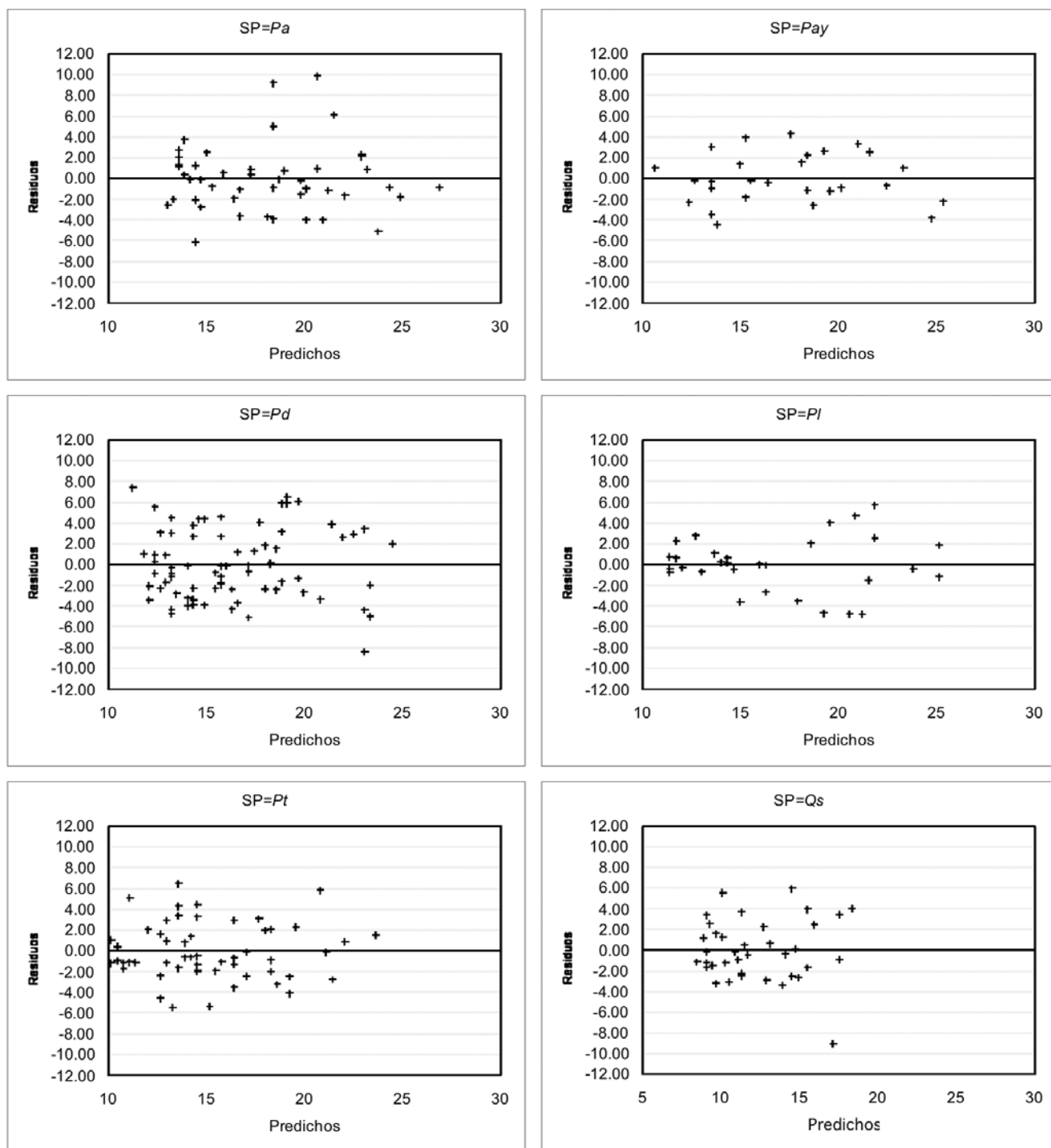


Figura 3. Valores residuales contra los valores predichos para la relación altura total - diámetro del tocón (ht - dtoc) obtenidos con el modelo M5.

Figure 3. Residual values against predicted values for the total height and stump diameter relation (ht - dtoc) from the M5 model.

Cuadro 7. Parámetros y estadísticos de los modelos ajustados para describir la relación volumen del fuste - diámetro del tocón (Vf - dtoc).
Table 7. Parameters and statistics of the fit models to describe the stem volume-stump diameter relation (f-dtoc).

Especie	Modelo	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>E</i>	REMC	R ² adj	CV
<i>Pa</i>	M9	-0.99	0.05	-8.2 ⁻¹⁷	0.22	0.89	28.80
	M10	-0.15	0.0005	-2.6 ⁻¹⁶	0.20	0.91	26.28
	M11	0.0001	2.28	-2.00 ⁻⁰²	0.21	0.90	27.13
	M12	-9.95	2.61	4.5 ⁻¹⁵	0.22	0.93	28.49
<i>Pay</i>	M9	-0.99	0.04	-1.8 ⁻¹⁶	0.20	0.89	29.00
	M10	-0.21	0.0004	-1.1 ⁻¹⁶	0.15	0.93	22.35
	M11	0.00003	2.62	-4.00 ⁻⁰³	0.15	0.94	21.73
	M12	-10.71	2.71	-1.4 ⁻¹⁵	0.15	0.95	21.52
<i>Pd</i>	M9	-0.91	0.04	-5.7 ⁻¹⁷	0.22	0.85	37.06
	M10	-0.17	0.0005	-3.8 ⁻¹⁷	0.19	0.88	32.89
	M11	0.00006	2.50	-1.00 ⁻⁰²	0.19	0.88	33.17
	M12	-10.20	2.64	3.9 ⁻¹⁵	0.19	0.90	33.48
<i>Pl</i>	M9	-1.11	0.05	3.8 ⁻¹⁷	0.27	0.85	37.53
	M10	-0.26	0.0006	1.1 ⁻¹⁶	0.22	0.91	29.77
	M11	0.00001	2.96	5.20 ⁻⁰³	0.19	0.93	26.53
	M12	-10.58	2.74	2.13 ⁻¹⁶	0.20	0.96	27.62
<i>Pt</i>	M9	-1.03	0.04	-1.2 ⁻¹⁶	0.22	0.83	40.08
	M10	-0.27	0.0006	-1.1 ⁻¹⁶	0.17	0.89	31.66
	M11	0.000009	3.01	4.00 ⁻⁰⁴	0.16	0.91	28.46
	M12	-11.24	2.91	-2.03 ⁻¹⁵	0.16	0.92	29.17
<i>Qs</i>	M9	-0.64	0.03	-9.6 ⁻¹⁷	0.22	0.78	50.05
	M10	-0.13	0.0003	2.8 ⁻¹⁸	0.20	0.83	44.28
	M11	0.00002	2.74	4.10 ⁻⁰³	0.19	0.84	42.69
	M12	-10.59	2.62	3.9 ⁻¹⁵	0.19	0.91	42.95

Pa = *Pinus arizonica*; *Pay* = *Pinus ayacahuite*; *Pd* = *Pinus duranguensis*; *Pl* = *Pinus leiophylla*; *Pt* = *Pinus teocote*; *Qs* = *Quercus sideroxila*.

Cuadro 8. Valores de errores estándar, *t* y significancia de los parámetros de ajuste del modelo M12.
Table 8. Standard errors, *t* and significance values of fit parameters of the M12 model.

Especie	Modelo	Parámetro	Estimador	EE	<i>t</i>	Pr> <i>t</i>
<i>Pa</i>	M12	<i>a</i>	-9.95	0.38	-25.99	<0.0001
		<i>b</i>	2.61	0.10	24.32	<0.0001
<i>Pay</i>	M12	<i>a</i>	-10.71	0.46	-23.36	<0.0001
		<i>b</i>	2.71	0.12	21.76	<0.0001
<i>Pd</i>	M12	<i>a</i>	-10.20	0.36	-28.58	<0.0001
		<i>b</i>	2.64	0.10	25.99	<0.0001
<i>Pl</i>	M12	<i>a</i>	-10.58	0.39	-27.25	<0.0001
		<i>b</i>	2.74	0.11	25.33	<0.0001
<i>Pt</i>	M12	<i>a</i>	-11.24	0.40	-27.76	<0.0001
		<i>b</i>	2.91	0.11	25.35	<0.0001
<i>Qs</i>	M12	<i>a</i>	-10.59	0.48	-21.97	<0.0001
		<i>b</i>	2.62	0.14	19.33	<0.0001

Pa = *Pinus arizonica*; *Pay* = *Pinus ayacahuite*; *Pd* = *Pinus duranguensis*; *Pl* = *Pinus leiophylla*; *Pt* = *Pinus teocote*; *Qs* = *Quercus sideroxila*.

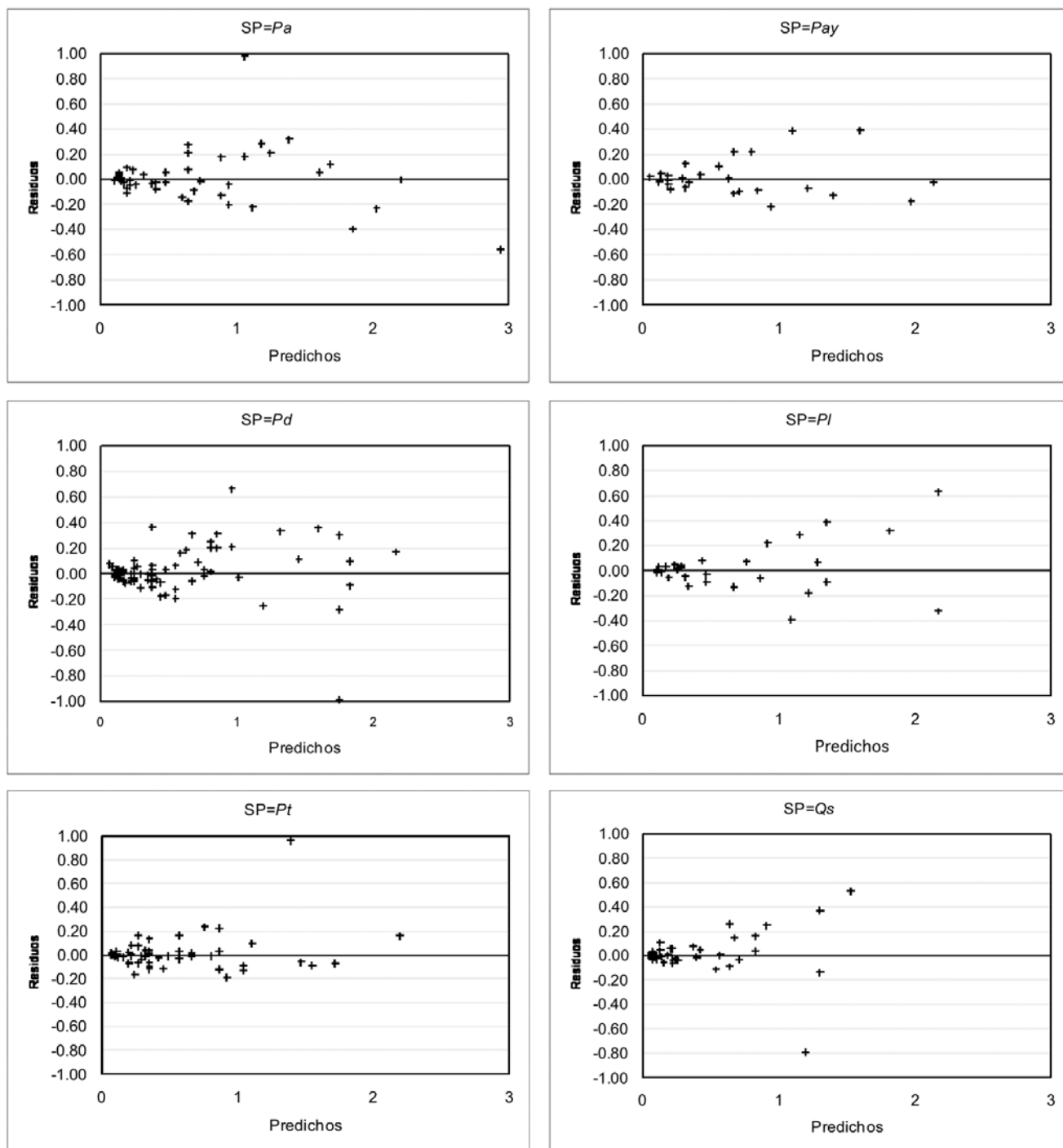


Figura 4. Valores residuales contra valores predichos para la relación volumen del fuste - diámetro del tocón (Vf - dtoc) obtenidos con el modelo M12.

Figure 4. Residual values against predicted values for the stem volume -stump diameter relation (Vf - dtoc) from the M12 model.

De acuerdo a los valores de volumen predichos con el modelo M12, se observa que en volúmenes bajos predice con una confiabilidad muy alta, en cambio para los volúmenes más altos el modelo sobreestima los valores predichos para todas las especies (Figura 4).

DISCUSIÓN

Relación diámetro normal - diámetro del tocón

Una ecuación lineal simple entre el diámetro normal y el diámetro del tocón explica satisfactoriamente la relación que hay en las variables de las especies estudiadas, que coincide con los resultados de Diéguez *et al.* (2003) y Corral-Rivas *et al.* (2007). Aunque los modelos de forma parabólica (M2, M6 y M10) presentan buenos resultados, el parámetro que acompaña a la variable elevada al cuadrado toma valores cercanos a cero, lo que indica su poca aportación al modelo.

La ecuación seleccionada (M4) para la relación de diámetro normal - diámetro del tocón concuerda con la que desarrollaron Benítez *et al.* (2004) para plantaciones de *Casuarina equisetifolia* L.

Relación altura total - diámetro del tocón

Con respecto a la relación altura total - diámetro del tocón se carece de estudios documentados para comparar los resultados de esta investigación. Sin embargo, Diéguez *et al.* (2003) tuvieron limitaciones para utilizar ecuaciones en *Pinus pinaster* Aiton, *P. radiata* D. Don y *P. sylvestris* L. en Galicia, España, como la aplicación en árboles que estaban fuera de los límites de la base de datos utilizada, por lo que la extrapolación a un intervalo de datos distinto al empleado puede dar lugar a estimaciones erróneas. En ese sentido, cabe aclarar que los modelos seleccionados no fueron validados debido a que la base de datos empleada fue muy pequeña, aunque existe la posibilidad de realizar una validación cruzada, pero el aporte de la misma no es importante por el hecho de trabajar con iteraciones de los mismos datos ajustados (Diéguez *et al.*, 2003).

Relación volumen de fuste - diámetro del tocón

El modelo logarítmico es el que mejor explica la relación de volumen del fuste - diámetro del tocón, hecho que concuerda con lo propuesto por Diéguez *et al.* (2003); por otro lado, Corral-Rivas *et al.* (2007) determinaron que el modelo no lineal M11 también presenta buenos resultados para *Pinus cooperi*, en la región de El Salto, Durango.

Los valores del coeficiente de determinación ajustado para los modelos seleccionados están por arriba de 0.9, por lo que cumple con lo expresado por Gujarati (1999), quien planteó que en este tipo de estudios un modelo es satisfactorio

DISCUSSION

Normal diameter-stump diameter relation

A simple linear equation between normal height and stump diameter explains with satisfaction the relation that exists in the variables of the selected species, which is coincidental with the results of Diéguez *et al.* (2003) and Corral-Rivas *et al.* (2007). Even though the parabolic shape models (M2, M6 and M10) show good results, the parameter that goes along the squared variable has values near zero, which means that it makes a poor contribution to the model.

The selected equation (M4) for the normal diameter-stump diameter relation agrees with that developed by Benítez *et al.* (2004) for plantations of *Casuarina equisetifolia* L.

Total height-stump diameter relation

In regard to the total height-stump diameter relation, there are no documented studies to compare the actual results. However, Diéguez *et al.* (2003) had limitations to use equations with *Pinus pinaster* Aiton, *P. radiata* D. Don and *P. sylvestris* L. in Galicia, Spain, as well as their application over trees out of limits of the data base that was used; so, moving data to a different range may lead to erroneous estimations. In this sense, it is worth noticing that the selected models were not validated since the data base that was used was very small, even though there is a possibility to make a crossed-validation but its contribution is not important as it works with iterations of the same fitted data (Diéguez *et al.*, 2003).

Stem volume-stump diameter relation

The logarithmic model provides the best explanation for the stem volume-stump diameter relation, a fact that agrees with that proposed by Diéguez *et al.* (2003); on the other hand, Corral-Rivas *et al.* (2007) determined that the non-linear M11 model gave good results for *Pinus cooperi* in El Salto, Durango region.

The fitted determination coefficient values for the selected values are over 0.9, which fulfills that reported by Gujarati (1999), who stated that in this sort of studies a model is satisfactory when the coefficient value is around 0.8. In this regard, Alder (1980) expressed that the best functions have 0.7 or 0.8 values. Benítez *et al.* (2004) determined coefficients nearby 0.9 for *Casuarina equisetifolia* plantations and pointed out that the statistic by itself is not enough to assess the accuracy of the model, which makes it necessary to analyze it in regard to other statistical parameters. Therefore, in order to choose the best models, in the actual work were taken into account the typical error, the average bias, the variation coefficient and significance of the parameters, as

cuando el valor del coeficiente es de aproximadamente 0.8. Al respecto, Alder (1980) declaró que las mejores funciones tienen valores de 0.7 ó 0.8. Benítez *et al.* (2004) determinaron coeficientes alrededor de 0.9 para plantaciones de *Casuarina equisetifolia* y señalaron que el estadístico por sí solo es insuficiente para evaluar la exactitud de un modelo, por lo que debe analizarse en relación con otros parámetros estadísticos. Por lo tanto, para elegir los mejores modelos, en el presente trabajo, se consideraron el error típico, el sesgo promedio, el coeficiente de variación y la significancia de los parámetros, tal como recomiendan Diéguez *et al.* (2003). Dichos estadísticos fueron ajustados a las unidades originales de las variables empleadas para hacerlos comparables entre sí.

Hair *et al.* (1999) y Benítez *et al.* (2004) señalaron que el objetivo de un análisis de regresión es desarrollar el modelo que describa mejor la población en su conjunto y recomiendan que se validen con una muestra de datos independiente a la utilizada en el ajuste.

CONCLUSIONES

El ajuste de los modelos indica que existe una tendencia lineal entre las variables diámetro normal y altura total, en función del diámetro del tocón; mientras que para el volumen del fuste, la relación es logarítmica.

Los modelos M4, M8 y M12 presentan estadísticos con buenos ajustes, lo que significa que su uso en la predicción del diámetro normal, altura total y volumen del fuste, en función del diámetro del tocón, es confiable para las especies estudiadas y pueden ser de utilidad para el inventario y manejo de sus poblaciones.

En términos generales, los modelos M4, M8 y M12 explican satisfactoriamente el comportamiento de las variables diámetro normal, altura total y volumen, respectivamente, en función del diámetro del tocón, por lo que se puede concluir que estos modelan las variables estudiadas.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue realizado con apoyo de la Dirección General de Educación Superior Tecnológica (Beca No. 052007585). Los autores agradecen al ejido San Diego de Tezains por la disponibilidad del uso de la información.

REFERENCIAS

- Alder, D. 1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento con referencia especial en los trópicos. In: Predicción del Rendimiento. FAO Montes Estudio 22/2. Vol. 2. Roma Italia. 118 p.
- Báez, R. y H. Gra 1990. Estudios dasométricos en *Casuarina equisetifolia*. Determinación del diámetro normal a partir del diámetro del tocón. Revista Forestal Barroca 20(2): 63-68.

Diéguez *et al.* (2003) advise it. Such statistics were adjusted to the original units of the variables that were used to make them comparable between them.

Hair *et al.* (1999) and Benítez *et al.* (2004) declared that the aim of a regression analysis is to develop the model that better describes the population as a whole and advise that they be proved with an independent data sample from that used for adjustment.

CONCLUSIONS

Model fitness indicates a linear tendency between normal diameter and total height, in terms of stump diameter, while for stem volume, there is a logarithmic relation.

M4, M8 and M12 models show statistics with good fit, which means that their use for normal diameter, total height and stem volume prediction is reliable for the selected species in terms of stump diameter and may be useful for the inventory and management of their populations.

In general terms, M4, M8 and M12 models provide a satisfactory explanation of the behavior of normal diameter, total height and volume, respectively in regard to stump diameter, which makes it possible to conclude that they model the studied variables.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study was accomplished with support of the Dirección General de Educación Superior Tecnológica (Scholarship Number 052007585). The authors want to thank the people of San Diego de Tezains for their good will to handle information.

End of the English version

- Benítez N., J. Y., M. Rivero V., A. Vidal C., J. Rodríguez R. y R. C. Álvarez R. 2004. Estimación del diámetro normal a partir del diámetro del tocón en plantaciones de *Casuarina equisetifolia* Forst. de La Provincia Camagüey, Cuba. Revista Chapingo. Serie: Ciencias Forestales y del Ambiente 10 (1): 25 - 30.
- Bylin, C. V. 1982. Volume prediction from stump diameter and stump height of select species in Louisiana. USDA For. Ser. Note SO-182. New Orleans, LA, USA. 11 p.
- Castedo, F. y J. G. Álvarez 2000. Construcción de una tarifa de cubicación con clasificación de productos para *Pinus radiata* D. Don en Galicia basado en una función de perfil del tronco. Invest. Agrar. Recur. For. 9 (2): 253-268.
- Corral-Rivas, J. J., M. Barrio-Anta, O. A. Aguirre-Calderón and U. Diéguez-Aranda. 2007. Use of stump diameter to estimate diameter at breast height and tree volumen for major pine species in El Salto, Durango (México). Forestry 80 (1): 29 - 40.
- Diéguez A., U., M. Barrio A., F. Castedo D. y M. Balboa M. 2003. Estimación del diámetro normal y del volumen del tronco a partir de las dimensiones del tocón para seis especies forestales comerciales de Galicia. Invest. Agrar. Sist. Recur. For. 12 (2): 131 - 139.

- Gadow, K. V. and G. Hui. 1999. *Modelling forest development*. Kluwer Academic Publishers. AH. Dordrecht. The Netherlands. 205 p.
- García M., E. 1981. *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen*. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. 3ª edición. México, D. F. México. 252 p.
- Gujarati, D. N. 1999. *Econometría*. 2ª. Parte. N/S. Estados Unidos. pp 127 - 131.
- Hair, J. F., R. E. Anderson, R. L. Tatham y W. C. Blach. 1999. *Análisis multivariante*. Quinta edición. Prentice Hall Iberia. Madrid, España. 832 p.
- Huang, S. 2002. Validating and localizing growth and yield models: procedures, problems and prospects. *In: Proceedings of IUFRO Workshop on Reality, Models and Parameter Estimation: the Forestry Scenario*. Sesimbra, Portugal (2-5 de junio de 2002).
- Instituto de Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 1993a. Cartas climáticas. G13-7, G13-8, G13-10 y G13-11. Escala 1:250,000.
- Instituto de Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 1993b. Cartas de uso de suelo y vegetación. G13-7, G13-8, G13-10 y G13-11. Escala 1:250,000.
- Instituto de Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 1993c. Cartas Edafológicas. G13-7, G13-8, G13-10 y G13-11. Escala 1:250,000.
- Instituto de Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 1993d. Cartas Geológicas. G13-7, G13-8, G13-10 y G13-11. Escala 1:250,000.
- Instituto de Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 1993e. Cartas temáticas en formato digital SHP. Aguas superficiales y subterráneas. G13c46, G13c47, G13c56 y G13c47. Escala 1:250,000.
- McClure, J. P. 1968. Predicting tree dbh from stump measurements in the southeast. Southeastern Forest Experiment Station. USDA For. Ser. Res. Note SE-99. Asheville, NC. USA. 4 p.
- Myers, C. A. 1963. Estimating volumes and diameters at breast height from stump diameters on southwestern ponderosa pine. Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station. USDA For. Ser. Res. Note RM - 9. Fort Collins, CO. USA. 2 p.
- Nyland, R. D., 1977. Estimating volume from stump measurements for hardwoods. AFRI Res. Note 2. College of environmental Science and Forestry, Applied Forestry Research Institute. University of New York. Syracuse, NY. USA. 2 p.
- Parresol, B. R. 1998. Prediction and error of baldcypress stem volume from stump diameter. South. J. Appl. For. 22 (2): 69 - 73.
- Prodan M., R. Peters, Cox F. y P. Real. 1997. *Mensura forestal*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).
- Programa de Manejo Forestal. 2006
- Robinson, A. P. and G. B. Wood. 1994. Individual tree volume estimation: A new look at new systems. *Journal of Forestry* 92 (12): 25-29.
- Statistical Analysis System Institute INC. (SAS) 2003. *SAS/STAT™ User's guide*, Release 9.1 Edition. Cary, NC. USA. 409 p.
- Weigel, D. R. and P. S. Johnson. 1997. Estimating dbh of southern Indiana oaks from stump diameter. USDA For. Ser. Tech. Brief TB - NC - 4. North Central Experiment Station. University of Missouri. Columbia, MI. USA. 4 p.