

UN MODELO DENDROMÉTRICO PARA ESTIMACIÓN DEL DIÁMETRO NORMAL A PARTIR DE LAS DIMENSIONES DEL TOCÓN

A DENDROMETRIC MODEL FOR ESTIMATION OF THE DIAMETER AT BREAST HEIGHT FROM STUMP DIMENSIONS

Marín Pompa-García^{1*}, Héctor M. de los Santos-Posadas², Marcelo E. Zepeda-Bautista³, José J. Corral-Rivas¹

¹Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Juárez del Estado de Durango. 34120. Boulevard Durango y Papaloapan s/n. Colonia Valle del Sur. Durango, Durango, México. (mpgarcia@ujed.mx). ²Forestal, Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados. 56230. Montecillo, México. (hmsantos@colpos.mx). ³División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. 56230. Carretera México-Texcoco, Km 38.5. Chapingo, México. (zepedabm1@yahoo.com.mx).

RESUMEN

Después de realizar las cortas en las masas forestales, la estimación del diámetro normal (D) en función de las dimensiones del tocón es importante para la caracterización de la masa original y la definición de pautas de manejo. Su estimación se fundamenta en una relación lineal con el diámetro del tocón y que éste último siempre ocurre a una misma altura. El objetivo del presente estudio fue proponer un modelo dendrométrico no lineal que incluyera la altura del tocón como variable predictiva. Se ajustaron datos de 304 árboles de *Pinus durangensis* derribados para aprovechamiento en el área de influencia de Silvicultores Unidos de Guachochi, al suroeste del estado de Chihuahua durante el 2009. Su bondad de ajuste se comprobó por medio del sesgo, la raíz del error medio cuadrático y el coeficiente de determinación ajustado, y arrojó valores de 2.39, 5.74 y 0.96. Con estos criterios el modelo estimó satisfactoriamente los diámetros normales con corteza. La inclusión de la altura del tocón mejoró la precisión del modelo y es consistente para predecir diámetros de distintos tamaños. Debido a que en la región se cuenta con ecuaciones de volumen total, se recomienda utilizar el modelo para predecir el diámetro normal y luego aplicar una tarifa de cubicación local para estimar el volumen del tronco.

Palabras clave: ahusamiento, *Pinus durangensis*, altura del tocón.

INTRODUCCIÓN

El uso de herramientas biométricas para estimaciones en poblaciones forestales requiere usar diámetros y alturas que mediante

ABSTRACT

After cuttings have been carried out in forest stands, the estimation of normal diameter (D) in function of the stump dimensions is important for the characterization of the original stand structure and the definition of management guidelines. Its estimation is based on a linear relationship with the stump diameter, which is always assumed to occur at a same height. The objective of this study was to propose a dendrometric nonlinear model which includes stump height as a predictive variable. Data were adjusted from 304 *Pinus durangensis* trees felled and used in the area of influence of Silvicultores Unidos de Guachochi, in the southwestern part of the Chihuahua State during 2009. Its goodness of fit was tested through bias, root mean square error and the adjusted coefficient of determination, and yield values of 2.39, 5.74 and 0.96. These criteria indicate that the model estimated satisfactorily the diameter at breast height over bark. Inclusion of stump height improved the accuracy of the model and is consistent to predict diameter of different sizes. Due to the fact that in the region there are total volume equations, it is recommended to use the model to predict the normal diameter and then apply local volume equations to estimate the volume of the log.

Key words: taper, *Pinus durangensis*, stump height.

INTRODUCTION

Use of biometric tools in forest populations requires the use of diameters and heights which by using regression models derive in estimates of volume. However, when cuttings have been made there may be available only the stumps, so techniques are required to characterize the original

*Autor responsable ❖ Author for correspondence.

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

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 45: 379-387. 2011.

procedimientos de regresión derivan en estimaciones de volumen. Sin embargo, cuando se han efectuado las cortas sólo se dispone de los tocones, por lo que se requieren técnicas para caracterizar la masa original y generar información base para definir pautas de manejo de bosques aprovechados (Bava y López, 2006). La estimación del diámetro normal (D) en función del diámetro del tocón (d_t) puede usarse para calcular volúmenes, biomasa, e incluso carbono por la relación con el cambio climático mundial y sus implicaciones con la venta de bonos verdes de los bosques (Jenkins *et al.*, 2004).

Jenkins *et al.* (2004) y Diéguez *et al.* (2003) han calculado D en función lineal del d_t , pero en pocos estudios se ha incluido la altura del tocón (h_t) como variable explicativa. Según Jenkins *et al.* (2004), este dato no se toma en cuenta sobre todo en la literatura de autores ecologistas, por considerar que el d_t invariablemente ocurre a una h_t constante de 0.3 m situación que no siempre sucede, sobre todo en los bosques de topografía accidentada y debido a la diversidad de técnicas para su aprovechamiento. Para Whittaker y Marks (1975) es deseable que el tocón sea lo más corto posible, señalando que existen derribos a nivel del suelo.

Las variaciones en h_t y el tipo dendrométrico de la primera troza del árbol, se deben considerar dentro de los modelos tocón-diámetro normal. Por su ahusamiento es necesario probar modelos no lineales con h_t como variable predictiva. Se ha mostrado que el truncado de neiloide modela adecuadamente el tocón (Díaz *et al.*, 2007), e incluso se ha recomendado su utilización en estimación de biomasa (Navarro *et al.*, 2000). El objetivo del presente estudio fue generar un modelo no lineal para estimar el diámetro normal en función del diámetro del tocón y su altura para *Pinus durangensis*, considerando que dicha sección presenta el tipo dendrométrico neiloide.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio

Silvicultores Unidos de Guachochi (SUG) es una organización de productores forestales, integrada por 30 ejidos y 1000 pequeñas propiedades y se localiza en la parte suroeste del estado de Chihuahua, México, con una superficie de 767 000 ha, entre 26° 38' y 27° 32' N y 106° 30' y 107° 54' O (Figura 1),

stand structure and generate basic information to define guidelines for forest management (Bava and López, 2006). Estimation of the diameter at breast height (D) in function of the stump diameter (d_t) can be used to calculate volumes, biomass, and even carbon by the relationship with global climate change and its implications with the sale of carbon bonds to save the forests (Jenkins *et al.*, 2004).

Jenkins *et al.* (2004) and Diéguez *et al.* (2003) have calculated D in linear function of d_t , but in few studies the stump height (h_t) has been included as explanatory variable. According to Jenkins *et al.* (2004), this variable is not taken into account, in particular, in the literature of environmentalist authors, for considering that invariably d_t occurs at a constant h_t of 0.3 m, situation that does not always occurs, especially, in forests with rugged topography and because of diversity of techniques for their utilization. For Whittaker and Marks (1975) it is desirable that the stump be as short as possible, noting that there is felling at ground-level.

Variations in h_t and the dendrometric type of the first log of the tree need to be considered within the stump-normal diameter models. To describe tree taper it is necessary to test nonlinear models with h_t as predictor. It has been shown that the truncated neiloid adequately models the stump (Díaz *et al.*, 2007), and has even been recommended for use in biomass estimation (Navarro *et al.*, 2000). The objective of this study was to generate a nonlinear model for estimation the diameter at breast height as function of the diameter and height of the stump for *Pinus durangensis*, considering that such a section presents the dendrometric neiloid type.

MATERIALS AND METHODS

Description of the study area

Silvicultores Unidos de Guachochi (SUG) is a forest producers' organization, which has 30 ejidos and 1000 smallholders and it is located in the southeastern State of Chihuahua, México, with a covering area of 767 000 ha, between 26° 38' and 27° 32' N and 106° 30' and 107° 54' W (Figure 1), presenting a fairly rugged terrain with very irregular elevations and depressions. Soil suitability and land use are for forest production; the woodland of this region is composed of woody vegetation mainly from temperate and semi-cold regions, in general, the tree species are of the genus *Pinus*, *Quercus*, *Pseudotsuga* and *Juniperus* (Pompa *et al.*, 2009).

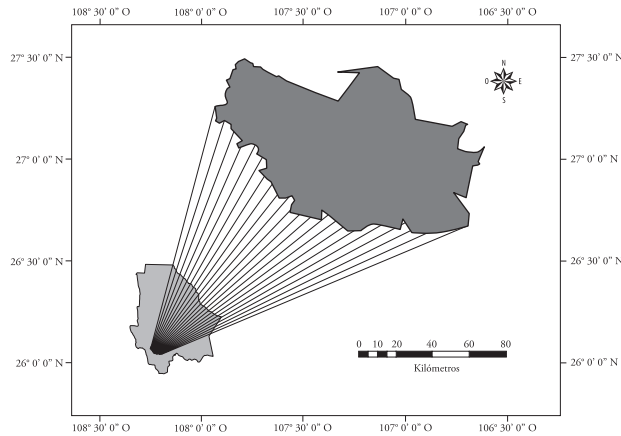


Figura 1. Localización del área de influencia de Silvicultores Unidos de Guachochi, estado de Chihuahua, México.

Figure 1. Location of the area of influence of Silvicultores Unidos de Guachochi, Chihuahua State, México.

presentando terrenos bastante accidentados con elevaciones y depresiones muy irregulares. La vocación y el uso del suelo es forestal; el bosque de esta región está compuesto por vegetación arbórea principalmente de las regiones de clima templado y semifrío, por lo común los géneros presentes son *Pinus*, *Quercus*, *Pseudotsuga* y *Juniperus* (Pompa *et al.*, 2009).

Descripción de los datos

En el área se recolectó una muestra de 304 árboles de *P. durangensis*, seleccionados aleatoriamente para incluir todas las calidades de estación del área de estudio así como su distribución en términos de clases de diámetro (Figura 2). Los datos de campo se obtuvieron mediante un muestreo destructivo aprovechando las áreas de corta. Se midió diámetro normal con corteza (D) en cm, diámetro con corteza del tocón (d_t) en cm utilizando cinta diamétrica, y su altura (h_t) en m con respecto al suelo desde la parte superior de la pendiente. En el Cuadro 1 se muestra un resumen de las estadísticas descriptivas de los árboles utilizados.

Cuadro 1. Estadísticas descriptivas de los árboles utilizados.
Table 1. Descriptive statistics of used trees.

Variable	Número de observaciones	Media	Desviación estándar	Máximo	Mínimo
D	304	37.2	11.9	74.2	10
d_t	304	43.7	13.6	91	13
h_t	304	0.2	0.06	0.45	0.10

D : diámetro normal con corteza (cm); d_t : diámetro con corteza del tocón a la altura h_t (cm); h_t : altura desde la base del tocón hasta donde se alcanza el diámetro d_t (m) ♦ D : normal diameter over bark (cm); d_t : stump diameter over bark of the stump at the height h_t (cm); h_t : height from the base of the stump to where the diameter d_t (m) is reached.

Description of data

A sample of 304 trees of *P. durangensis* was collected in the area, randomly chosen to include all the site qualities in the study area as well as their distribution in terms of diameter classes (Figure 2). Field data were obtained through destructive sampling within the cutting areas, measuring the diameter at breast height over bark (D) in cm, stump diameter over bark (d_t) in cm using diameter tape, and its height (h_t) in m respect to the floor from the higher place of the slope. Table 1 shows a summary of the descriptive statistics of the used trees.

Derivation of the model

To model the stump of the sample collected in the study area, the stump was considered as the portion of the tree from ground level to a height less than or equal to 1.3 m (Raile, 1977) as this section follows a dendrometric pattern of truncated neiloid type (Figure 3).

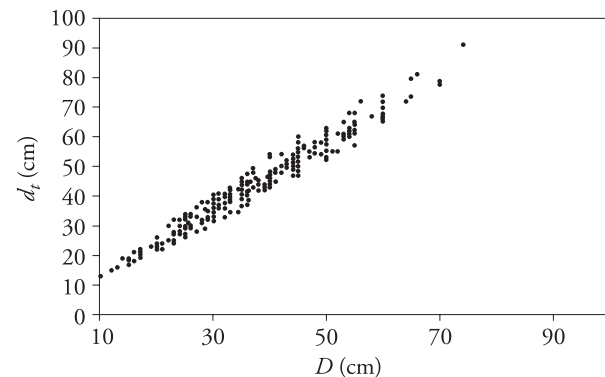


Figura 2. Dispersión de observaciones diámetro normal-diámetro del tocón de los 304 árboles utilizados en el ajuste.

Figure 2. Dispersion of observations diameter at breast height-stump diameter of 304 trees used in the fitting.

Derivación del modelo

Para modelar el tocón de la muestra proveniente del área de estudio, se consideró al tocón como la porción del árbol del nivel del suelo hasta una altura menor o igual a 1.3 m (Raile, 1977), ya que esta sección sigue un patrón dendrométrico del tipo neiloide truncado (Figura 3).

Según la Figura 3, h está relacionada con la h_t , es decir, cuando el diámetro normal (D) es igual al diámetro del tocón (d_t), se espera que $h_t = 1.3$, por lo cual:

$$\frac{D}{d_t} = \frac{1.3}{h_t}, \text{ es decir empíricamente, } D = \beta_0 d_t \left(\frac{1.3}{h_t} \right)^{\beta_1} \quad (1)$$

donde, D : diámetro normal con corteza (cm); d_t : diámetro con corteza del tocón a la altura h_t (cm); h_t : altura desde la base del tocón hasta donde se alcanza el diámetro d_t (m); β_0, β_1 : coeficientes de regresión a determinar mediante el ajuste.

El primer parámetro de la función (1) describe la proporción del D respecto al d_t a lo largo de esta sección del fuste, mientras que el último caracteriza la forma según las características dendrométricas del neiloide. Se espera que este modelo cumpla con la condición de que $d_t = D$ cuando $h_t = 1.3$, para lo cual β_0 debe ser cercano a 1.

Dado que la Figura 2 también sugiere un ajuste lineal para las primeras clases de D , además de los buenos resultados para especies de pino del norte de México reportados por Corral-Rivas *et al.* (2007), el modelo anterior se confrontó con la siguiente expresión:

$$D = \beta_0 + \beta_1 (d_t) \quad (2)$$

Ajuste del modelo

El ajuste de los modelos se realizó mediante regresión usando el método de mínimos cuadrados ordinarios (SAS Institute Inc., 2004). En estos procedimientos es común verificar problemas de heterocedasticidad (Cruz *et al.*, 2008), aunque Kozak (1997) recomienda examinar la autocorrelación (Gujarati, 2004), en el caso de aplicaciones en biometría forestal. En el primer caso se usó la prueba de Park P (Park, 1966) para verificar que la varianza de los errores no es constante en las distintas observaciones; mientras que para demostrar la ausencia de correlación se aplicó el estadístico de Durbin y Watson DW (Durbin y Watson, 1951).

El criterio para evaluar la bondad de ajuste de los modelos se basó en un análisis numérico consistente en la comparación de

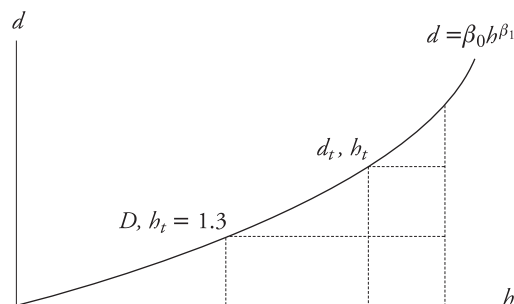


Figura 3. Representación de la función base para derivar el modelo que estima el D en función de d_t y h_t .

Figure 3. Representation of the base function to derive the model that estimates D in function of d_t and h_t .

According to Figure 3, h is related to the h_p that is, when normal diameter (D) is equal to the stump diameter (d_t) it is expected that $h_t = 1.3$, therefore:

$$\frac{D}{d_t} = \frac{1.3}{h_t}, \text{ that is empirically, } D = \beta_0 d_t \left(\frac{1.3}{h_t} \right)^{\beta_1} \quad (1)$$

where, D : diameter at breast height over bark (cm); d_t : stump diameter over bark at height h_t (cm); h_t : height from the stump base to where the diameter d_t is reached (m); β_0, β_1 : coefficients of regression to determine through the fitting.

The first parameter of the function (1) describes the proportion (rate) of D with respect to d_t along this section of the bole, while the latter characterizes the form according to the dendrometric characteristics of the neiloide. It is expected that this model meets the condition such that $d_t = D$ when $h_t = 1.3$, for which β_0 should be close to 1.

As Figure 2 also suggest a linear fit to the first classes of D , in addition to the good results for species of pine in northern Mexico reported by Corral-Rivas *et al.* (2007), the previous model was confronted with the following expression:

$$D = \beta_0 + \beta_1 (d_t) \quad (2)$$

Model fitting

The adjustment of the models was carried out through regression using the method of ordinary least squares (SAS Institute Inc., 2004). In these procedures it is common to verify problems of heterocedasticity (Cruz *et al.*, 2008), although Kozak (1997) recommends to examine the autocorrelation (Gujarati, 2004), in the case of applications in forest biometry. In the first case, the Park test P (Park, 1966) was used to verify

tres estadísticos utilizados con frecuencia en el modelaje forestal: 1) el sesgo ($\bar{E}$), que evalúa la desviación del modelo con respecto a los valores observados; 2) la raíz del error medio cuadrático ($REMC$), que analiza la precisión de las estimaciones; 3) el coeficiente de determinación ajustado R_{adj}^2 , que representa la parte de la varianza explicada por el modelo, teniendo en cuenta el número de parámetros de éste. Sus expresiones son:

$$\text{Sesgo: } \bar{E} = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i) / n$$

Raíz del error medio cuadrático:

$$REMC = \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 / (n - p)}$$

Coeficiente de determinación ajustado:

$$R_{adj}^2 = 1 - (n-1) \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 / (n-p) \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2$$

donde, y_i , $\hat{y}_i$ y $\bar{y}_i$ son el valor observado, estimado y medio de la variable dependiente; n es el número total de observaciones usadas para ajuste del modelo; p es el número de parámetros del modelo.

Además, gráficamente se representaron los datos experimentales y los residuos después del ajuste de los modelos. Estos gráficos constituyen una herramienta útil para detectar errores o comportamientos anormales (Rawlings, 1988; Neter *et al.*, 1990).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 2 se presentan los valores de los parámetros estimados y de los estadísticos del ajuste de los modelos. Las dos estimaciones de los parámetros resultaron significativas al 95 %. De acuerdo con los resultados mostrados en el Cuadro 2, el modelo dendrométrico se ajusta de mejor manera, ya que presenta valores ligeramente menores del $REMC$ y de $\bar{E}$. Aunque la varianza del diámetro (D) es explicada en un 96 % en ambas expresiones, el modelo lineal tiene la desventaja que cuando $d_t = 0$, $D = -0.2118$, lo que matemáticamente es inapropiado.

Con relación a la heterocedasticidad, el gráfico de los residuos frente a los valores predichos por el modelo (Figura 4) y la prueba de Park (1966) muestran que hay igualdad de varianza y que no hay relación estadísticamente significativa de los residuales con las

that the variance of errors is not constant in the different observations; while to demonstrate absence of correlation the Durbin and Watson statistic DW was applied (Durbin and Watson, 1951).

The criterion for evaluating the goodness of fit of the models was based on a numerical analysis consistent in the comparison of three statistics commonly used in forest modeling: 1) the bias ($\bar{E}$) that evaluates the deviation of the model with respect to the observed values; 2) the root mean square error ($RMSE$) that analyzes the precision of estimations; 3) the adjusted coefficient of determination R_{adj}^2 , which represents the part of the variance explained by the model, taking into account the number of parameters in it. Their expressions are:

$$\text{Bias: } \bar{E} = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i) / n$$

Root mean square error:

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 / (n - p)}$$

The adjusted coefficient of determination:

$$R_{adj}^2 = 1 - (n-1) \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 / (n-p) \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2$$

where, y_i , $\hat{y}_i$ and $\bar{y}_i$ are the observed value, estimated and mean of the dependent variable; n is the total number of observations used for fitting the model; p is the number of parameters of the model.

In addition, the experimental data and the residuals were graphically represented after the adjustment of models. These graphs are a useful tool to detect errors or abnormal behavior (Rawlings, 1988; Neter *et al.*, 1990).

RESULTS AND DISCUSSION

Table 2 shows the values of the estimated parameters and the statistical values of the fit of models. Both parameter estimates were significant at 95 %. According to results shown in Table 2, the dendrometric model fits better because it has slightly lower values of $RMSE$, and of $\bar{E}$. Although the variance of the diameter (D) is explained in 96 % in both expressions, the linear model has the disadvantage that when $d_t = 0$, $D = -0.2118$, which mathematically it is inappropriate.

Cuadro 2. Resultados del ajuste del modelo generado (nivel de significancia $Pr>|t|<0.0001$).
Table 2. Results of the adjustment of the model generated (significance level $Pr>|t|<0.0001$).

Modelo	Parámetro	Estimación	Error estándar	Estadísticos del ajuste		
				$\bar{E}$ (cm)	REMC	R_{adj}^2
$D = \beta_0 d_t \left(\frac{1.3}{h_t} \right)^{\beta_1}$	β_0	0.8812	0.019	2.396	5.745	0.96
	β_1	-0.0202	0.012			
$D = \beta_0 + \beta_1 (d_t)$	β_0	-0.2118	0.4641	2.407	5.795	0.96
	β_1	0.8546	0.0101			

variables explicativas ($R^2 = 0.03$). El estadístico de Durbin y Watson es próximo a 2 ($DW = 1.98$) y está dentro de los intervalos aceptados en las tablas respectivas para rechazar la existencia de auto-correlación entre los residuos con un α de 0.05 (Durbin y Watson, 1951).

Con estos criterios se propone el modelo dendrométrico como un buen predictor del diámetro normal con corteza a diferentes alturas del tocón de *P. durangensis* de la región de estudio, derivado de la forma del tocón y su robustez teórica. Su buen comportamiento estriba en su gran flexibilidad, ya que la altura normal relativa (1.3 h^{-1}) varía con el diámetro del tocón y las características del exponente están relacionadas con la forma a lo largo del tronco y consideran las diferencias entre diámetros de distintos tamaños, dando consistencia en sus estimaciones a lo largo del perfil del tocón. Esta particularidad es una ventaja importante sobre estudios que consideran modelos lineales (Bylin, 1982; Jenkins *et al.*, 2004; Diéguez *et al.*, 2003), cuyos autores señalan como limitación la posibilidad de estimar diámetros grandes, restringiéndose su aplicación a datos intermedios, por lo que las extrapolaciones a clases distintas propician mayor variabilidad en la predicción. De cualquier modo, no se debe descartar la necesidad de mayor investigación de la variación del ahusamiento del tocón entre las diferentes especies.

Complementariamente, en la ecuación definida queda implícito el índice de esbeltez del fuste (d_t / D), como una medida de la proporcionalidad de sus dimensiones. Asimismo, cuando $h_t = 1.3$, el diámetro estimado es igual al diámetro normal, como lo indica la operación matemática de sus coeficientes, cumpliendo satisfactoriamente con esta

With regard to heteroscedasticity, the residual against the values predicted by the model (Figure 4) and the test of Park (1966) show that there is equality of variance and that there is not a statistically significant relationship of residuals ($R^2 = 0.03$) with the explanatory variables. The Durbin-Watson statistic is close to 2 ($DW = 1.98$) and it is within the accepted intervals in the respective tables to reject the existence of auto-correlation between the residues with an α of 0.05 (Durbin and Watson, 1951).

With these criteria the dendrometric model is proposed as a good predictor of the normal diameter over bark at different stump heights of *P. durangensis* of the study region, derived from the shape of the stump and its theoretical foundation. Its good behavior is its great flexibility, since the relative standard height (1.3 h^{-1}) varies with the diameter of the stump and the characteristics of the exponent are related with the shape along the

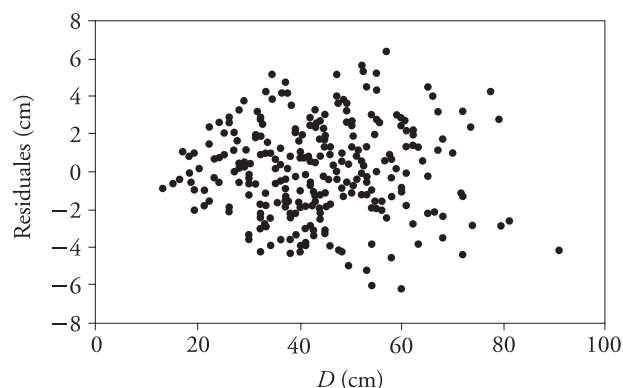


Figura 4. Residuos frente a valores predichos del modelo usado para estimar diámetro D en función del d_t y h_t .

Figure 4. Residuals versus predicted values of the model used to estimate diameter D in function of d_t and h_t .

propiedad, a diferencia de los modelos del tipo $D = \beta_0 + \beta_1 d_t$.

Los resultados estadísticos del modelo generado en este estudio para estimación del diámetro normal a partir de las dimensiones del tocón, justifica el uso de su altura como variable independiente, debido a la disimilitud en la forma del fuste de diferentes tamaños dentro de la misma especie, lo cual concuerda con (Demaerschalk y Kozak, 1977; Laasasenaho, 1982). Además, en ocasiones la forma del fuste está influenciada por distintos factores (espesura, longitud de copa, calidad de estación, etc.) o el efecto de distintas operaciones silvícolas como los aclareos, podas, fertilización, etc. (Sterba, 1980). Similarmente, Parresol (1998) y Diéguez *et al.* (2003) recomiendan su inclusión, particularmente en el caso de especies que presenten distorsiones de su forma circular en la base del tronco. Además, Corral-Rivas *et al.* (2007) sugieren mayor investigación para observar la variabilidad explicada por dicha variable cuando las cortas no se efectúan a los 30 cm. Particularmente esto ocurre en los bosques mexicanos, donde la diversidad de técnicas de aprovechamiento forestal y las condiciones de topografía mayormente accidentada hacen imperativo tener presente la importancia del concepto de la altura del tocón.

Además la integración matemática de este modelo es sencilla y por tanto posibilita su uso para obtener volúmenes seccionales a lo largo del tocón, bajo el principio de sólidos en revolución. En contraste, las ecuaciones lineales sobreestimarían los volúmenes de dicha sección al considerarla como un truncado de cono, en vez de una sección de neiloide con los consecuentes errores multiplicativos (Parresol, 1998).

La relación y estructura del modelo ensayado en este estudio prevalece para valores con y sin corteza, siendo el interés operativo la relación con corteza. De cualquier forma queda pendiente estudiar las posibles diferencias, ya que Bylin (1982) señala que las estimaciones con corteza dan mayor exactitud que aquellas que no la consideran.

CONCLUSIONES

El modelo construido estimó satisfactoriamente el diámetro normal. El uso de la altura del tocón como variable dependiente mejora la aplicabilidad

stem and consider the differences between the diameters of different sizes, providing consistency in their estimates along the profile of the stump. This particularity is a significant advantage over studies which consider linear models (Bylin, 1982; Jenkins *et al.*, 2004; Diéguez *et al.*, 2003), whose authors note as limitation the possibility of estimating large diameters, restricting its application to intermediate data, so that extrapolations to different classes foster greater variability in prediction. In any case, the need for further investigation of the variation of the taper of the stump between the different species should not be thrown away.

In addition, in the defined equation, the bole slenderness index (d_t / D), is implicit as a measure of proportionality of its dimensions. Also, when $h_t = 1.3$, the estimated diameter is equal to the normal diameter, as indicated by the mathematical operation of their coefficients, satisfactorily fulfilling with this property, unlike the models of the type $D = \beta_0 + \beta_1 d_t$.

The statistical results of the model generated in this study to estimate the normal diameter from stump dimensions justify the use of height as independent variable, due to the dissimilarity in the shape of the bole of different sizes within the same species, which agrees with (Demaerschalk and Kozak, 1977; Laasasenaho, 1982). Also, sometimes the bole shape is influenced by different factors (thickness, crown length, season quality, etc.) or the effect of various forest operations such as clearings, pruning, fertilizer, etc. (Sterba, 1980). Similarly, Parresol (1998) and Diéguez *et al.* (2003) recommend its inclusion, particularly for species showing distortion of their circular shape at the base of the trunk. In addition, Corral-Rivas *et al.*, (2007) suggest further research to observe the variability explained by such a variable when the cuttings are not made at 30 cm. In particular, this occurs in Mexican forests, where the diversity of forest harvesting techniques and the conditions of mostly rugged topography makes it imperative to be aware of the importance of the concept of stump height.

Moreover, the mathematical integration of this model is simple and thus allowing its use for sectional volumes along the stump, under the principle of solids in revolution. In contrast, linear equations would overestimate the volumes of this section by considering them as a truncated cone, rather than a

del modelo por lo cual se justifica su inclusión en los bosques mexicanos donde la topografía mayormente accidentada y la diversidad de técnicas en su aprovechamiento exigen este atributo. Además, cumple con la propiedad de que el diámetro normal es igual al diámetro del tocón cuando la altura de éste equivale a 1.3 m, aunque en la práctica h_t usualmente no alcanza dicha dimensión. La consistencia en estimación de diámetros de distintos tamaños incorpora una ventaja adicional.

Dada la solidez estadística de la ecuación generada para la especie en estudio, se recomienda su implementación en la región de procedencia de los datos. Su aplicación operativa en campo no representa mayor dificultad y sería una importante herramienta para la simulación de las dimensiones de árboles que han sido cortados y sólo permanece el tocón como indicador de sus dimensiones.

Dado que en el área de estudio existen tarifas de cubicación locales, en este estudio no se evaluó la relación volumen-diámetro del tocón. Por tanto, se sugiere usar el modelo para predecir el diámetro normal y utilizar después una tarifa de cubicación local para estimar el volumen del tronco.

RECONOCIMIENTOS

Se agradece el apoyo otorgado por Silvicultores Unidos de Guachochi, S. C., quienes motivados por generar una herramienta actualizada para sus inventarios forestales, apoyaron en la toma de datos utilizados en el presente estudio.

LITERATURA CITADA

- Bava, J. O., y P. López B. 2006. Predicción del diámetro a la altura de pecho en función de las dimensiones del tocón de árboles de lenga (*Nothofagus pumilio*) en Tierra del Fuego, Argentina. *Quebracho* 13: 87-92.
- Bylin, C. 1982. Estimating dbh from stump diameter for 15 southern species. USDA For. Ser. Res. Note SO-286. 3 p.
- Corral-Rivas, J. J., M. Barrio A., O. Aguirre C., and U. Diéguez Aranda. 2007. Use of stump diameter to estimate diameter at breast height and tree volume for major pines species in El Salto, Durango, Mexico. *Forestry* 80(1): 29-40.
- Cruz, C. F., H. M. de los Santos P., y J. R. Valdez L. 2008. Sistema compatible de ahusamiento-volumen para *Pinus cooperi* Blanco en Durango, México. *Agrociencia* 42(4): 473-485.
- Demaerschalk, J., and A. Kozak. 1977. The whole-bole system: a conditioned dual-equation system for precise prediction of tree profiles. *Can. J. For. Res.* 7: 488-497.
- Díaz, F. R., M. Acosta M., F. Carrillo A., E. Buendía R., E. Flores A. y J. Etchevers B. 2007. Determinación de ecuaciones

section of neiloide with the consequent multiplicative errors (Parresol, 1998).

The relationship and structure of the model tested in this study prevails for values over and under bark, being the operational interest the relationship over bark. In any way, it remains to consider the study of the possible differences, as Bylin (1982) notes that the estimations over bark provide higher accuracy than those that do not consider it.

CONCLUSIONS

The developed model successfully estimated the diameter at breast height. The use of the stump height as an independent variable improves the applicability of the model, which is justified in the Mexican forests where topography is largely rugged and the diversity of techniques used to cut the tree require to consider this attribute. It also has the property that when the diameter at breast height is equal to the stump diameter, the stump height is equivalent to 1.3 m, although in the practice h_t usually does not reach that dimension. Consistency in estimating diameters of different sizes includes an additional advantage.

Given the solid statistical foundation of the equation generated for the species under study, its implementation in the studied region is recommended. Its operational application in the field is not of great difficulty and it would be an important tool for the simulation of the size of the trees that have been removed and only the stump remains as indicator of their dimensions.

Since in the study area there is volume equation for the studied species, in this study the volume-stump diameter relationship was not evaluated. Therefore, it is suggested to use the model to predict the diameter at breast height and then use local volume equations to estimate the volume of the stem.

—End of the English version—



- alométricas para estimar biomasa y carbono en *Pinus patula* schl. Et cham. *Madera y bosques* 13(1): 25-34.
- Diéguez, A. U., M. Barrio A., M., 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.

- Durbin, J., and G. Watson. 1951. Testing for serial correlation in least squares regression. *Biometrika* 38: 159-177.
- Gujarati, D. 2004. *Econometría*. McGraw Hill Interamericana de México, México D. F. 972 p.
- Jenkins, J., D. Chojnacky, L. Heath, and R. Birdsey. 2004. Comprehensive database of diameter-based biomass regressions for North American tree species. USDA. Gen. Tech. Rep. NE-319. 45 p.
- Kozak, A. 1997. Effects of multicollinearity and autocorrelation on the variable-exponent taper functions. *Can. J. For. Res.* 27: 619-629.
- Laasasenaho, J. 1982. Taper curve and volume functions for pine, spruce and birch. *Commun. Inst. For. Fenn.* 108 p.
- Navarro, M. S., L. Torres E., A. Cano P., S. Valencia M., y H. Cornejo O. 2000. Predicción de volúmenes de fuste para *Pinus cembroides* Zucc., en el Sureste de Coahuila. *Foresta-AN. Nota Técnica No. 3 UAAAN*. Saltillo, Coahuila. 16 p.
- Neter, J., W. Wasserman, and M. Kutner. 1990. *Applied Linear Statistical Models*. 3rd ed. Irwin, Homewood, IL. USA. 1181 p.
- Park, R. E. 1966. Estimation with heterocedastic error terms. *Econometrica* 34(4): 888 p.
- Parresol, R. 1998. Prediction and error of baldcypress stem volume from stump diameter. *South. J. Appl. For.* 22(2): 69-73.
- Pompa, G. M., J. C. Hernández D., J. A. Prieto R., y R. Dávalos S. 2009. Modelación del perfil fustal de *Pinus durangensis* en Guachochi, Chihuahua, México. *Madera y Bosques* 15(1): 61-73.
- Raile, G. 1977. Estimating D.B.H. from stump dimensions. USDA For. Ser. Res. General Technical Report NC-48. pp: 30-33.
- Rawlings, J. 1988. *Applied Regression Analysis –A Research Tool*. Wadsworth, Belmont, CA. 553 p.
- SAS (Statistical Analysis System). 2004. *SAS User's Guide Statistics*. Release 9.1. SAS Institute Inc. Cary, North Carolina, USA. 2170 p.
- Sterba, H. 1980. Stem curves: a review of the literature. *For. Abstracts* 41(4): 141-145.
- Whittaker, R., and L. Marks. 1975. *Methods of Assessing Terrestrial Productivity*. Springer-Verlag. New York. 339 p.