

**ARTICULO CIENTÍFICO**

**Estudio de las relaciones *altura-diámetro* para seis especies maderables utilizadas en programas de reforestación en la Zona Sur de Costa Rica**

Dagoberto Arias Aguilar<sup>1</sup>

**Resumen**

Se estudiaron las relaciones *altura-diámetro* para árboles de seis especies maderables utilizadas en plantaciones forestales en la Zona Sur de Costa Rica. Estas relaciones pueden ser descritas mediante funciones no lineales; sin embargo se encontró que la curva altura-diámetro es afectada por la calidad de sitio y la densidad del rodal. Se probaron 26 modelos descritos en la literatura basados en dos variables y adicionalmente otros tres modelos que consideran parámetros del rodal como la altura dominante y el diámetro promedio. Tomando aspectos estadísticos y prácticos se seleccionó un modelo que predice la altura de un árbol en función del diámetro a la altura del pecho. La aplicación de este modelo es un componente importante para la estimación de la productividad del rodal y la caracterización del crecimiento, cuando se dificulta la medición de alturas de todos los árboles dentro de las parcelas de muestreo.

**Palabras claves:** Ecuaciones altura-diámetro, Modelos no lineales, Condición de sitio, Especies maderables, Costa Rica.

**Abstract**

**A study of the height-diameter ratios for six woody species used in reforestation programs in Southern Costa Rica.** The height-diameter ratios for trees from six woody species used in forest plantations in Southern Costa Rica were studied. These ratios can be described using non-linear functions; however, it was found that the height-diameter curve was affected by the site quality and the stand density. Twenty six models, described in the literature and based on two variables were tested; three other models that take into account stand parameters such as dominant height and mean diameter were also tested. Taking statistical and practical aspects into account, a model which could predict the height of a tree as a function of chest-high diameter was selected. The use of the model is an important factor when estimating the productivity and growth characterization of a stand, in situations where measuring the height of every tree within sampling plots is difficult.

**Keywords:** Height-diameter equations, Non-linear model, Site form, Woody species, Costa Rica.

**INTRODUCCIÓN**

La estimación de la altura total de un árbol o grupo de árboles es una de las mediciones requeridas para la toma de decisiones sobre el manejo de una plantación y para los trabajos de

<sup>1</sup> Instituto Tecnológico de Costa Rica. [darias@itcr.ac.cr](mailto:darias@itcr.ac.cr)

investigación sobre crecimiento y rendimiento. Para árboles adultos y doseles relativamente cerrados, la estimación de la altura puede representar algún grado dificultad y se encuentra sujeta a errores de medición. Para un rodal coetáneo, de una especie creciendo bajo condiciones de sitio similares, existe una relación no lineal entre la altura de los árboles y su correspondiente valor del diámetro a la altura del pecho. Estas relaciones son afectadas por la calidad de sitio y la densidad del rodal, así por ejemplo la curva de alturas de rodales jóvenes en sitios buenos en general tiene una pendiente más fuerte, con edades mayores y en sitios malos, la pendiente se aplanan (Prodan *et al*, 1997).

Una primera aplicación de la relación entre estas dos variables es la posibilidad de predecir la altura de los árboles en función de la variable de más fácil medición (Larsen y Hann, 1987). También se ha encontrado que la calidad de sitio puede ser interpretada utilizando las relaciones entre la altura y el diámetro de los árboles (Stout y Shumway, 1982). Algunos autores han utilizado la altura del rodal a un determinado valor de diámetro como una medida de la productividad del sitio, esta medida ha sido llamada « *condición de sitio* » para evitar confusión con la definición de « *índice de sitio* », que está basada en la relación entre la altura del rodal y la edad (Vanclay y Henry, 1988).

El presente trabajo tiene como objetivo demostrar el efecto de la calidad de sitio y la densidad del rodal en la relación *altura-diámetro* para diferentes especies forestales utilizadas en programas de reforestación en Costa Rica. Además mostrar como la introducción de variables del rodal puede mejorar los modelos de predicción.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Región de estudio

La región de estudio se ubica en el sur de Costa Rica, específicamente dentro de la cuenca del Río Térraba. La información dasométrica fue recolectada dentro de sitios experimentales ubicados en una gradiente altitudinal que va desde los 20 hasta los 1000 m sobre el nivel del mar. El clima en esta gradiente se caracteriza por una temperatura media anual entre 21 y 27 °C. La precipitación media anual varía entre 2500 y 4500 mm; en las partes menos húmedas se pueden llegar a registrar hasta 3 meses secos. Según el sistema americano de clasificación de suelos, en la región de estudio los suelos más representativos son los correspondientes a los órdenes ultisoles, inceptisoles y andisoles (Arias, 2002). La región de investigación está caracterizada por serios problemas de erosión, que fueron originados por la fuerte deforestación y el uso inadecuado del suelo.

### Tamaño de la muestra y variables medidas

En junio de 1994 fueron plantadas cuatro especies maderables nativas: *Terminalia amazonia* (J. F. Gmel.) Exell, *Hieronyma alchorneoides* Allemao, *Vochysia ferruginea* Mart., *Vochysia guatemalensis* Donn. Sm. y dos especies introducidas: *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (Sénéclauze) Barret y Golfari y *Gmelina arborea* Roxb. En total se establecieron 16 plantaciones experimentales con el mismo material genético y similares prácticas silviculturales. Cada sitio estuvo conformado por seis parcelas cada una con 121 árboles de la misma especie. Para un distanciamiento de siembra de 3 x 3 se alcanzó un tamaño de parcela de 1089 m<sup>2</sup>. La parte central de la parcela consiste en una unidad de muestreo de 21 x 21 m con 49 árboles. Mediciones de crecimiento fueron realizadas anualmente y en el año 2000 se efectuó una medición detallada de los árboles en cada una de las parcelas, para esto fueron medidas entre otras variables el diámetro a la altura del pecho (cm) con cinta diamétrica (Figura 1) y la altura total (m) del árbol con vara

telescópica. Considerando todas las especies, para efectos del presente estudio fueron evaluados en total 2598 árboles.



**Figura 1.** Medición de diámetros en plantaciones de *Gmelina arborea*.

### **Análisis de la información**

Para cada una de las especies, se probaron ecuaciones sugeridas en la literatura y se verificó el efecto de la calidad del sitio en las relaciones *altura-diámetro*. Para cada una de las ecuaciones se obtuvieron los estimadores y los estadísticos de prueba con ayuda del procedimiento NLIN de SAS. La selección del mejor modelo consideró el cuadrado medio del error, el coeficiente de determinación no lineal según (Schabenberger, 1998) y la distribución de los residuales.

### **RESULTADOS**

En el Cuadro 1 se muestra una recopilación de las ecuaciones sugeridas en la literatura para la evaluación de las relaciones *altura-diámetro*.

**Cuadro 1.** Ecuaciones reportadas en la literatura para evaluar las relaciones *altura-diámetro*.

Ecuación	Fórmula	Referencia
1	$h = 1,3 + a \cdot \text{DAP}^b$	Schreuder <i>et al</i> (1979)
2	$h = 1,3 + e^{a+(b/\text{DAP}+1)}$	Wykoff <i>et al</i> (1982)
3	$h = 1,3 + a \cdot (1 - e^{-b \cdot \text{DAP}})$	Meyer (1940)
4	$h = 1,3 + \text{DAP}^2 / (a + b \cdot \text{DAP})^2$	Loetsch <i>et al</i> (1973)
5	$h = 1,3 + a \cdot e^{b/\text{DAP}}$	Burkhart y Strub (1974)
6	$h = 1,3 + 10^{a \cdot \text{DAP}^b}$	Larson (1986)
7	$h = 1,3 + a \cdot \text{DAP} / (\text{DAP} + 1) + b \cdot \text{DAP}$	Watts (1983)
8	$h = 1,3 + a \cdot (\text{DAP} / (1 + \text{DAP})^b)$	Curtis (1967)
9	$h = 1,3 + \text{DAP} / (a + b \cdot \text{DAP})^c; c=1$	Prodan (1944)
10	$h = 1,3 + a \cdot \text{Log}(\text{DAP}) + b$	Prodan (1967)
11	$h = 1,3 + a \cdot \text{DAP} + b \cdot \text{DAP}^2$	Curtis (1967)
12	$h = 1,3 + e^{a+b \cdot \text{DAP}^{**c}}$	Larsen y Hann (1987)
13	$h = 1,3 + a / (1 + b \cdot e^{-c \cdot \text{DAP}})$	Pearl y Reed (1920)
14	$h = 1,3 + a \cdot (1 - e^{-b \cdot \text{DAP}^{**c}})$	Richards (1959)
15	$h = 1,3 + a \cdot e^{**(-b \cdot e^{-c \cdot \text{DAP}})}$	Winsor (1932)
16	$h = 1,3 + \text{DAP}^2 / (a + b \cdot \text{DAP} + c \cdot \text{DAP}^2)$	Curtis (1967)
17	$h = 1,3 + a \cdot e^{b/(\text{DAP}+c)}$	Ratkowsky (1990)
18	$h = 1,3 + a / (1 + b^{-1} \cdot \text{DAP}^{-c})$	Ratkowsky y Reedy (1986)
19	$h = 1,3 + a \cdot (1 - e^{-b \cdot \text{DAP}^{**c}})$	Yang <i>et al</i> (1978)
20	$h = 1,3 + (\text{DAP} / (a + b \cdot \text{DAP}))^3$	Petterson (1955)
21	$h = a \cdot (1 - e^{-c \cdot \text{DAP}})$	Prodan (1965)
22	$h = a + b \cdot \text{Log}_{10}(\text{DAP})$	Prodan (1944)
23	$h = 10^{a+b/\text{DAP}}$	Prodan (1944)
24	$h = 10^{a+b \cdot \text{Log}_{10}(\text{DAP}) + c \cdot \text{Log}_{10}(\text{DAP}) \cdot \text{Log}_{10}(\text{DAP})}$	Prodan (1944)
25	$h = e^{a+b \cdot \text{Log}_{10}(\text{DAP}) + c \cdot \text{Log}_{10}(\text{DAP}) \cdot \text{Log}_{10}(\text{DAP})}$	Prodan (1944)
26	$h = a^{\text{Log}_{10}(\text{DAP}) + b \cdot \text{Log}_{10}(\text{DAP}) \cdot \text{Log}_{10}(\text{DAP})}$	Prodan (1944)

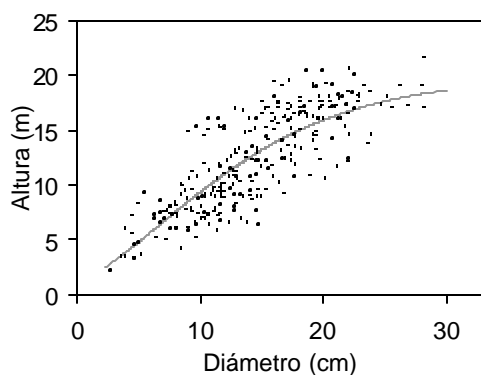
Tomando como referencia la especie *Gmelina arborea*, en el Cuadro 2 se muestran las características de cada uno de los modelos probados. Particularmente para esta especie, el coeficiente de determinación no lineal obtenido de la aplicación de las 26 ecuaciones es relativamente bajo, fluctuando entre 0.61 y 0.63. Comparado con el resto de las especies, se obtuvieron coeficientes de determinación similares para *Pinus caribaea* y *Vochysia ferruginea*. Para *Terminalia amazonia* los coeficientes de determinación fluctuaron entre 0.75 y 0.85. Los mejores resultados en la aplicación de los modelos probados fueron para las especies *Hieronyma alchorneoides* y *Vochysia guatemalensis*, cuyos coeficientes de determinación fluctúan entre 0.82 y 0.88.

**Cuadro 2.** Información estadística de los modelos evaluados para la especie *Gmelina arborea*.

Función	<sup>1/</sup> R <sup>2</sup> <sub>nlín</sub>	<sup>2/</sup> CME	Estimadores		
			a	b	c
1	0,61	7,03	1,27	0,81	
2	0,62	6,85	3,3	-13,27	
3	0,62	6,9	32,27	0,03	
4	0,62	6,81	1,76	0,17	
5	0,62	6,91	25,43	-11,41	
6	0,61	7,04	0,10	0,81	
7	0,61	7,16	2,12	0,62	
8	0,61	7,03	1,34	0,21	
9	0,62	6,92	1,04	0,02	
10	0,61	7,11	8,13	-10,21	
11	0,62	6,86	0,93	-0,01	
12			No ajustable		
13	0,63	6,70	17,07	8,6	0,2
14	0,63	6,76	18,36	0,02	1,46
15	0,63	6,73	18,46	3,00	0,13
16	0,62	6,81	4,48	0,42	0,04
17	0,62	6,81	31,40	-18,47	3,40
18	0,63	6,79	24,0	0,01	1,59
19	0,63	6,78	20,02	0,09	1,69
20	0,62	6,81	1,75	0,32	
21	0,62	6,83	27,62	0,04	
22	0,61	7,11	-8,91	18,71	
23	0,61	7,03	1,41	-4,30	
24	0,62	6,83	-0,39	1,86	-0,49
25	0,62	6,83	-0,91	4,27	-1,12
26	0,62	6,87	15,09	-0,17	

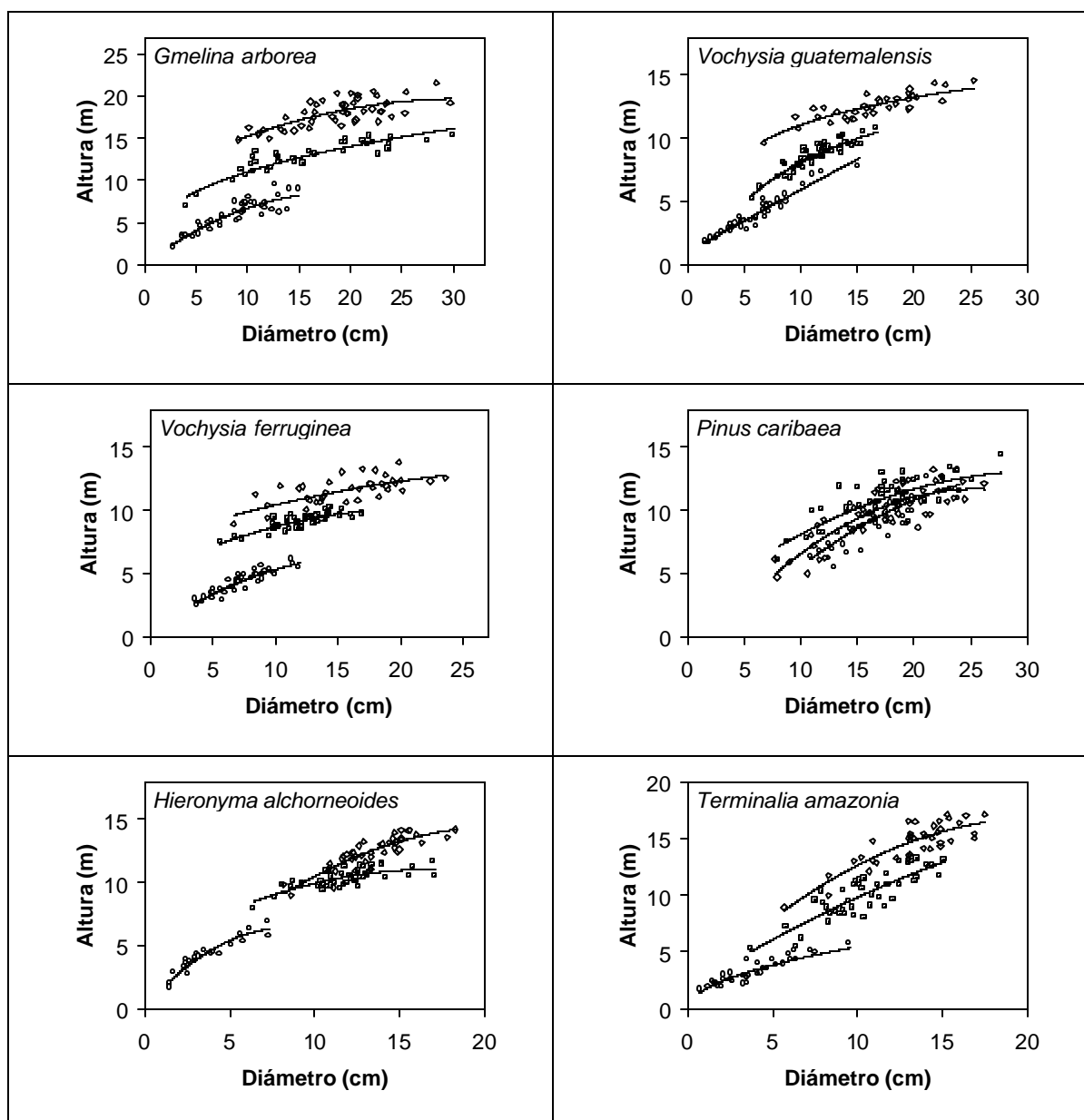
<sup>1/</sup>Coeficiente de determinación no lineal, <sup>2/</sup> Cuadrado medio del error.

En la Figura 1 se muestra el comportamiento de la ecuación 14 para el ajuste de la curva altura-diámetro en árboles de *Gmelina arborea*. Para efectos del presente trabajo, la ecuación generada no permite realizar estimaciones confiables de la altura de los árboles en función de su diámetro, por el rango de variación de las alturas para un diámetro en particular. Sin embargo, esta curva por ejemplo, podría utilizarse como base para definir otras curvas proporcionales y calificar la productividad de un sitio en diferentes categorías de "condición de sitio". No obstante, en Costa Rica este tipo de clasificación de sitios no ha sido utilizado y el énfasis ha sido en la utilización de las relaciones *altura-edad* mediante el índice de sitio.



**Figura 1.** Curva *altura-diámetro* ajustada por la ecuación 14 ( $h = 1,3 + a \cdot (1 - e^{-b \cdot \text{DAP}})^c$ ) para 531 árboles en plantaciones de *Gmelina arborea* en la Zona Sur de Costa Rica.

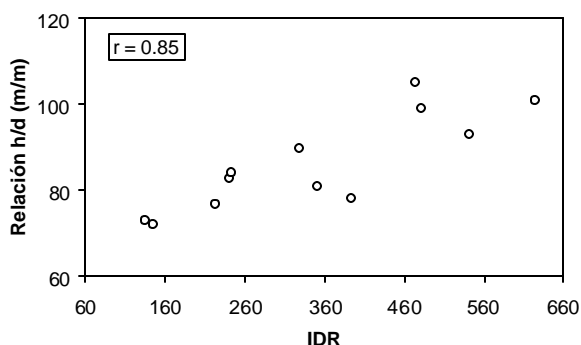
Si bien es cierto, las ecuaciones anteriores han sido utilizadas por diversos autores para representar la relación entre la altura de los árboles y el correspondiente valor de diámetro; en el presente estudio se comprobó que para la mayoría de las especies estudiadas, estas relaciones son afectadas por la calidad de sitio y la densidad del rodal. El rango de variación de las alturas de los árboles para un valor de diámetro determinado es muy amplio. La Figura 2 muestra para cada una de las especies el comportamiento de las curvas *altura-diámetro* en plantaciones de seis años de edad bajo diferentes calidades de sitio. Estas calidades de sitio fueron previamente definidas utilizando altura dominante como indicador (Arias, 2002). Por ejemplo, árboles de *Vochysia ferruginea* y *Vochysia guatemalensis* con 10 cm de dap pueden alcanzar alturas desde 5 hasta 12 m. Más evidentes son las diferencias para *Gmelina arborea*, donde árboles con 10 cm de dap pueden alcanzar alturas desde 5 hasta 17 metros dependiendo de la calidad del sitio.



**Figura 2** Curvas *altura-diámetro* para plantaciones de seis años de edad creciendo bajo diferentes calidades de sitio en la zona sur de Costa Rica. Todas las curvas muestran un ajuste polinomial. --?-- sitio de buena productividad, --i-- sitio de calidad media, --?-- sitio de baja productividad.

Para verificar el efecto de la densidad del rodal sobre la relación *altura-diámetro*, se utilizó la base de datos generada para la especie *Gmelina arborea*. Con la información del diámetro promedio de la plantación y el número de árboles por hectárea se estimó para cada rodal el Índice de Densidad del Rodal según (Arias y Campos, 1987). Para cada árbol evaluado, se obtuvo la relación entre la altura y el diámetro ( $h/d$ ) para cada árbol individual y el valor promedio por parcela y se efectuó una correlación entre esta nueva variable y Índice de Densidad del Rodal.

En la Figura 3 se muestra para la especie *Gmelina arborea*, la variación de la relación h/d conforme la densidad del rodal aumenta (coeficiente de correlación de 0.85). La relación h/d ha sido utilizada en muchos trabajos como un indicador de la estabilidad de los árboles en el rodal contra el efecto de daños mecánicos ocasionados por ejemplo por fuertes vientos. Valores bajos se relacionan con árboles cónicos y mayor resistencia a fuerzas mecánicas (viento). De las especies estudiadas, los rodales de *Pinus caribaea* muestran los valores más bajos en la relación h/d, inclusive en árboles individuales se pueden obtener valores tan bajos como 40. En promedio rodales de esta especie muestran valores de 60. En contraste con esta especie de conífera, las especies nativas *Hieronyma alchorneoides* y *Terminalia amazonia* muestran los valores más altos en la relación h/d, en donde árboles individuales pueden representar valores hasta de 140. Aparte de las diferencias entre especies, se encontró en el presente estudio que rodales densos contienen árboles más cilíndricos con relaciones h/d cercanos a 100 y rodales sin competencia contienen árboles más cónicos.



Una manera de reducir el ámbito de variación de los valores de altura para un diámetro dado es incorporar dentro de una ecuación otras variables que consideren parámetros del rodal. En este sentido se utilizaron tres modelos sugeridos por Wenk *et al* (1990) que consideran la altura y el diámetro promedio del rodal. Los modelos utilizados fueron los siguientes:

Figura 3. Efecto de la densidad del rodal en las relaciones h/d para árboles en plantaciones de *Gmelina arborea*

**Modelo A** 
$$h_i = 1,3 + (h_m - 1,3) e^{a_1(1 - \frac{d_m}{d_i}) + a_2(\frac{1}{d_m} - \frac{1}{d_i})}$$

donde  $h_{dom}$  = Altura dominante del rodal en m  
 $d_m$  = diámetro promedio del rodal en cm  
 $h_i$  = altura de un árbol en particular en m  
 $d_i$  = diámetro a la altura del pecho en cm  
 $a_1, a_2$  = estimadores

**Modelo B** 
$$h_i = 1,3 + ah_{dom}^b d_i^{chdom^d}$$

donde  $h_{dom}$  = Altura dominante del rodal en m  
 $h_i$  = altura de un árbol en particular en m  
 $d_i$  = diámetro a la altura del pecho en cm  
 $a, b, c, d$  = estimadores

**Modelo C** 
$$h_i = 1,3 + (h_{dom} - 1,3)d_{dom}^{-ahdom^b} d_i^{ahdom^b}$$

donde  $h_{dom}$  = altura dominante del rodal en m  
 $d_{dom}$  = diámetro promedio correspondiente a  $h_{dom}$  en cm



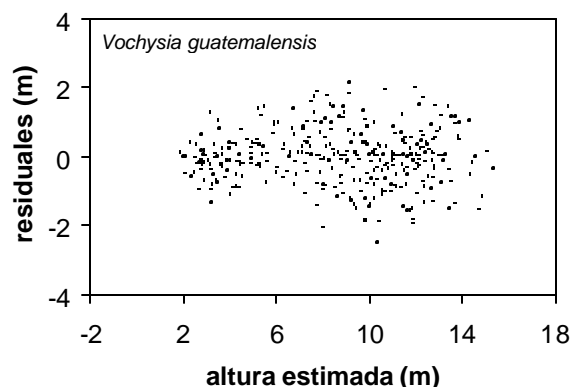
$h_i$  = altura de un árbol en particular en m  
 $d_i$  = diámetro a la altura del pecho en cm  
 $a, b$  = estimadores

De los tres modelos sugeridos por Wenk et al (1990) y tomando en consideración los criterios para la selección del mejor modelo tales como la distribución de residuales, el coeficiente de determinación no lineal y el cuadrado medio del error, se seleccionó el modelo C para la estimación de alturas en árboles individuales. En el Cuadro 3 se muestran los estimadores y estadísticos de prueba para el modelo C aplicado a cada una de las especies estudiadas.

**Cuadro 3** Estimadores y estadísticos de prueba para el modelo C, que permite la estimación de alturas en árboles individuales para seis especies forestales en plantación. CME = cuadrado medio del error.  $R^2_{nlin}$  = coeficiente de determinación no lineal.

Especie	Ámbito diámetro (cm)	Ámbito alturas (m)	n	Valor de los estimadores		$R^2_{nlin}$	CME
				a	b		
<i>Gmelina arborea</i>	2.7-30	2.14-21.6	531	8,03	-1,15	0,90	1,89
<i>Hieronyma alchorneoides</i>	1.5-18.3	1.7-14.8	330	1,71	-0,47	0,90	0,83
<i>Pinus caribaea</i>	3.2-29.3	2.62-16.5	412	44,40	-1,64	0,73	1,93
<i>Vochysia guatemalensis</i>	1.5-26	1.8-17	535	7,85	-1,09	0,95	0,66
<i>Terminalia amazonia</i>	0.7-20	1.25-17.75	359	2,65	-0,53	0,93	1,20
<i>Vochysia ferruginea</i>	1.5-23.6	1.8-13.8	431	16,57	-1,63	0,93	0,40

En la Figura 3 se muestra la distribución de los residuales para el modelo C aplicado a la especie *Vochysia guatemalensis*. Como se puede observar, los residuales se distribuyen uniformemente. Para todas las especies se comprobó la misma tendencia con respecto al comportamiento de los residuales y además se comprobó que el ámbito de variación entre el valor real y el valor estimado por el modelo fluctúa en  $\pm 2$  metros.



**Figura 3** Distribución de residuales para el Modelo C aplicado a la especie *Vochysia guatemalensis*.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las relaciones *altura-diámetro* para las especies estudiadas dependen de la calidad de sitio y la densidad del rodal, por lo tanto los modelos basados únicamente en estas dos variables son específicos para cada rodal.

La predicción de valores de altura en función únicamente del diámetro presenta limitaciones para la estimación de la altura en árboles individuales por la variación en las alturas para valores de diámetro similares.

Cuando se incorporan variables del rodal dentro de un modelo para predecir alturas individuales, el poder de predicción del modelo mejora significativamente.

Se recomienda la utilización del modelo  $h_i = 1,3 + (h_{dom} - 1,3) d_{dom}^{-ah_{dom}^b} d_i^{ah_{dom}^b}$  para estimar los valores de altura en plantaciones forestales de las especies estudiadas, dentro de la región geográfica del estudio y para el ámbito de diámetros y alturas considerados en la muestra. Tomar en cuenta que las diferencias que se pueden obtener entre el valor observado y el valor estimado pueden alcanzar hasta 2 m.

## BIBLIOGRAFÍA

- Arias Aguilar, D. 2002. Aufforstungen mit heimischen und eingeführten Baumarten auf degradierten Böden im Süden Costa Ricas. Ph.D. Tesis. Göttingen, DE, Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme, Reihe A., Band. 180 p.
- Arias Aguilar, D; Campos, N. 1987. Evaluación de tres métodos para prescribir aclareos en plantaciones forestales de *Pinus caribaea* y *Gmelina arborea* en Pueblo Nuevo, Sarapiquí. Práctica de Especialidad. Cartago, CR, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Ingeniería Forestal. 95 p.
- Burkhardt, HE.; Strub, MR. 1974. A model for simulation of planted loblolly pine stands. In Growth models for tree and stand simulation. Ed. J. Fries. Stockholm, SE, Royal College of Forestry. p. 128-135.
- Curtis, RO. 1967. Height-diameter and height-diameter-age equations for second-growth Douglas-fir. Forest Science. 13:365-375.
- Larsen, DR.; Hann DW. 1987. Height-diameter equations for seventeen tree species in southwest Oregon. Oregon State University. Forest Research Laboratory. Res. Paper N° 49. 16 p.
- Larson, BC. 1986. Development and growth of even-aged stands of Douglas-fir and grand fir. Canadian Journal of Forest Research. 16:367-372.
- Loetsch, F.; Zoehrer, F.; Haller, KE. 1973. Forest inventory. Munich, DE, Editorial BLV. vol. 2. 2469 p.
- Meyer, HA. 1940. A mathematical expression for height curves. Journal Forest. 38:415-420.
- Pearl, R; Reed, LJ. 1920. On the rate of growth of the population of the United States since 1790 and its mathematical representation. Proceedings of the National Academy of Sciences (US). 6:275-288.
- Petterson, A. 1955. Die Massenproduktion des Nadelwaldes. Mittlg. D. Forstl. Forsch. Anst. Schwedens, Band 45, Nr. 1b.
- Prodan, M. 1944. Untersuchungen über die Höhenkurven von Fichtenbeständen. Allgemeine Forst- und Jag Zeitung. 120:48-53.
- Prodan, M. 1965. Holzmesslehre. Frankfurt am Main, DE, J.D. Sauerlander's Verlag.
- Prodan, M.; Peters, R.; Cox, F.; Real, P. 1997. Mensura forestal. San José, CR, IICA-GTZ. 586 p.

- Ratkowsky, DA. 1990. Handbook of non-linear regression models. New York, US, Marcel Dekker. 276 p.
- Ratkowsky DA.; Reedy, TJ. 1986. Choosing near-linear parameters in the four-parameter logistic model for radioligand and related assays. *Biometrics*. 42:575-82.
- Richards, FJ. 1959. A flexible growth function for empirical use. *Journal of Experimental Botany*. 10:290-300.
- Schabenberger, O. 1998. Nonlinear regression with The SAS System. (en línea). Consultado 16 de ago. 2004. Disponible en [http://www.ats.ucla.edu/stat/sas/library/SASNLin\\_os.htm](http://www.ats.ucla.edu/stat/sas/library/SASNLin_os.htm)
- Schreuder, HT; Hafley, WL; Bennett, FA. 1979. Yield prediction for unthinned natural slash pine stands. *Forest Science*. 25:25-30.
- Stout, BB.; Shumway, DL. 1982. Site quality estimation using height and diameter. *Forest Science*. 28(3):639-645.
- Vanclay, JK.; Henry, NB. 1988. Assessing site productivity of indigenous cypress pine forest in Southern Queensland. *Commonw. For. Rev.* 67:53-64.
- Watts, SB. 1983. Forestry handbook for British Columbia. 4<sup>th</sup> ed. Vancouver, CA, Forestry Undergraduate Society. 611 p.
- Wenk, G.; Antanaitis, V; Smelko, S. 1990. *Waldetragslehre*. Berlin, DE, Deutscher Landwirtschaftsverlag. 448 p.
- Winsor, CP. 1932. A comparison of certain symmetrical growth curves. *Journal of the Washington Academy of Sciences*. 22:73-84.
- Wykoff, WR.; Crookston, CL.; Stage, AR. 1982. User's guide to the stand prognosis model. USDA Forest Serv. Gen. Tech. Rep. INT-133, Ogden, Utah, US, Int. Northwest For. and Range Exp. Sta. 122 p.
- Yang, RC.; Kozak, A; Smith, JHG. 1978. The potential of Weibull-type functions as flexible growth curves. *Canadian Journal of Forest Research* 8:424-431.