

DETERMINACIÓN DE ECUACIONES DE VOLUMEN PARA PLANTACIONES DE TECA (*Tectona grandis* L.) EN LA UNIDAD EXPERIMENTAL DE LA RESERVA FORESTAL CAPARO, ESTADO BARINAS - VENEZUELA

Ana Y. Moret, M. Jerez y A. Mora

Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Grupo de Investigación Genética y Silvicultura INDEFOR, Mérida-Venezuela

RESUMEN

Se ajustaron 15 modelos de regresión, con datos provenientes de 174 árboles seleccionados mediante un muestreo estratificado por clases diamétricas, para la obtención de las ecuaciones de volumen en las plantaciones de teca de la Unidad Experimental de la Reserva Forestal Caparo. La selección de los mejores modelos se realizó utilizando los valores del cuadrado medio del error y del Índice de Furnival. La validación fue independiente, tomando para ello una muestra de 39 árboles, se realizó un análisis de la varianza donde los modelos fueron considerados tratamientos, y se utilizó también el método de los valores predichos y los estadísticos suma cuadrado del error de predicción y coeficiente de determinación de predicción. Entre los modelos probados para el volumen total aprovechable, el logarítmico conocido como modelo de Shumacher-Hall 1933, presentó mayor coeficiente de determinación ajustado (r^2) y menor Índice de Furnival, mostrándose en la validación más robusto y con mayor validez predictiva:

Volumen con corteza: $\ln VCC = -1,0689230 + 0,938306 \ln(d^2h)$
Volumen sin corteza y $\ln vsc = -1,3468510 + 0,963638 \ln(d^2h)$

Palabras clave: Teca, Plantación, Ecuaciones de Volumen.

ABSTRACT

Fifteen regression models were adjusted using data from 174 trees, selected by means of a stratified random sampling for diametric classes, in order to obtain volume equations for teak plantations at the Experimental Unit of the Caparo Forest Reserve. The selection of the best models was carried out using the error mean square and Furnival's Index. For the formula's validation 39 trees were taken, which were used for an analysis of variance, where the models were considered as treatments. Also, were used the method of the prediction values, as well as the statistics sum of squares of the prediction error and the prediction's coefficient of determination. Among the adjusted model, the logarithmic one, known as the Shumacher-Hall 1933 model, had the largest adjusted R^2 , the minor Furnival's index and showed the best prediction value for volume over and under bark. The recommended formulae are: $\ln VCC = -1,068923 + 0,938306 \ln(d^2h)$, for total commercial volume over bark, and $\ln VSC = -1,3468510 + 0,963638 \ln(d^2h)$, for total commercial volume under bark.

Keywords: Teak, Plantation, Volume Equations

INTRODUCCIÓN

El establecimiento de plantaciones forestales debe llevar implícito el manejo de las mismas, de manera que se logre la mayor productividad posible. En Venezuela, el establecimiento de plantaciones a gran escala constituye una experiencia novedosa, razón por la cual no existe suficiente información que permita obtener la máxima productividad deseada; en ese sentido, la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, de la Universidad de Los Andes, organismo rector de la investigación forestal en el país, comenzó hacia la década de los 70, plantaciones bajo diferentes sistemas silviculturales con el fin de

generar información necesaria para a las empresas encargadas o interesadas en el manejo forestal.

La teca (*Tectona grandis* L.) se encuentra entre las especies de mayor interés debido a sus excelentes propiedades físico-mecánicas y adaptabilidad a las condiciones edáficas de los Llanos Occidentales, contándose en la actualidad con una superficie considerable plantada.

El manejo de plantaciones requiere de la conjunción de aspectos silviculturales, genéticos y culturales, que garanticen la máxima productividad posible al menor costo. El volumen es considerado como una variable indicadora del potencial o de la

capacidad de producción de un rodal y es afectado por diferentes variables que deben considerarse en el manejo, tales como la densidad inicial, la calidad de sitio, el diámetro, la altura, la forma del árbol, la edad de la plantación, las intervenciones silviculturales, etc. El uso de ecuaciones para calcular el volumen, es una alternativa de amplio uso en el manejo forestal que permite la estimación del mismo con una precisión conocida, mediante modelos matemáticos ajustados a partir de medidas detalladas, tomadas sobre una pequeña muestra representativa de la población, lo que permite simplificar el trabajo de campo.

En algunos casos, y de acuerdo al alcance de la ecuación, se puede aplicar a otras zonas con características ambientales semejantes.

En Venezuela existe una tabla de volumen para plantaciones jóvenes de teca, elaborada por Salinas (1985), pero no se cuenta con ecuaciones que permitan determinar volumen en plantaciones de más de 20 años de edad.

Los resultados de ésta investigación presentan las ecuaciones actualizadas para teca que mejor expresan la relación entre el volumen y las variables explicatorias estudiadas (diámetro y altura). A través de ellas se podrá calcular el volumen variable considerada muy importante en la realización de inventarios forestales y en la toma de decisiones sobre el manejo de plantaciones. Se proporciona una herramienta que contribuirá a la cuantificación de la producción obtenida en las plantaciones de teca en la Unidad Experimental de la Reserva Forestal Caparo.

Se probó un conjunto de modelos matemáticos, y se seleccionaron los que mejor estimaron el volumen de los árboles en plantaciones de teca en la Unidad Experimental de la Reserva Forestal Caparo; luego se hizo una validación independiente y finalmente, se elaboró una tabla de volumen con corteza.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se realizó con datos provenientes de las plantaciones de teca establecidas en la Unidad Experimental de la Reserva Forestal Caparo.

La Reserva Forestal Caparo está ubicada en el Estado Barinas y corresponde al área geográfica de

los altos Llanos Occidentales, a una altitud de 100 msnm. La zona de vida corresponde al bosque húmedo tropical, cerca de la transición hacia bosque seco tropical según la clasificación de Holdridge (Ewel y Madriz, 1968) La precipitación promedio anual es de unos 1900 mm, con una estación seca entre los meses de Enero a Abril y una temperatura media anual por el orden de 25 °C.

Las plantaciones objeto de estudio abarcan una superficie de 21 hectáreas, plantadas en 1973 en el tipo de bosque "selva decidua de banco", según la tipificación desarrollada por Vincent (1970) citada en el programa de Investigación en la Unidad Experimental de la Reserva Forestal Caparo (ULA-Corpoandes, 1974).

Método de muestreo

Se realizó un muestreo aleatorio estratificado, en el que las clases diamétricas (con rango de dos centímetros) presentes en la población se consideraron como estratos, en la primera clase se agruparon los árboles con diámetros menores de 12 centímetros y la última clase los diámetros mayores de 34 centímetros. Es conocido que este método de muestreo reduce la variabilidad, permite disminuir el error de muestreo, y se logra mayor precisión utilizando un mismo tamaño de la muestra.

Para determinar el número total de árboles en las 21 ha, se tomó como base un muestreo piloto realizado por Gutiérrez et al (1992). Se encontró una densidad promedio de 750 árboles/ha, y se estimó que el número total de árboles en la plantación era de 15.751 árboles.

Para determinar el tamaño de cada estrato en la población se elaboró una tabla de abundancias (número de árboles por clase diamétrica) y para obtener el tamaño definitivo del estrato se multiplicó la abundancia (peso de cada estrato) por el tamaño de la población.

Conociendo el coeficiente de variación y la estimación del número de árboles por clase diamétrica, se procedió a calcular, mediante la fórmula de muestreo aleatorio simple, el número de árboles a medir para cada clase diamétrica, utilizando un error permisible del 10 % y un nivel de confianza del 95 %

Para obtener una muestra balanceada por categoría diamétrica, con un error permisible

porcentual máximo del 10%, y previendo cubrir toda la variabilidad presente en cada una de esas categorías, se decidió cubicar 16 árboles por clase diamétrica.

Diseño de la muestra

Se tomó una pica base paralela a la vía y se seleccionó aleatoriamente el punto de arranque a los 70 metros, a partir del cual se trazaron ocho transectas perpendiculares a la pica base con una equidistancia de 100 metros cada una. El largo de las transectas varió de acuerdo con el área a muestrear y el ancho fué de cuatro metros. En cada transecta se seleccionaron como máximo dos árboles por clase diamétrica, es decir 26 árboles / transecta.

Variables medidas en las unidades de muestreo

Partiendo del hecho que la última unidad de muestreo es el árbol, se procedió de la siguiente manera: a cada árbol en pie se le midió circunferencia (c) y espesor de corteza a la altura de pecho (e) y altura total (h). Luego, se tumbó el árbol; se marcaron segmentos cada dos metros de longitud y en cada extremo del segmento se procedió a medir la circunferencia y el espesor de corteza (e). Además, se midieron los diámetros a la altura de tocón y a la mitad de la altura total. El diámetro mínimo en punta y la longitud del último segmento en cada árbol varió de acuerdo a la longitud aprovechable, es decir que se estableció en función del corte que definía hasta donde el árbol podía aprovecharse.

Procesamiento de los datos

Cubicación de los árboles que conforman la muestra

Para la obtención del volumen para todos los segmentos en el árbol, se utilizó la fórmula de Smalian (Alder, 1980)

$$V = \frac{\pi}{8} \cdot l \cdot (d_0^2 + d_1^2)$$

donde:

- V = volumen del segmento en metros cúbicos
- l = longitud del segmento en metros
- d_0 = diámetro con corteza en el extremo mayor de la troza, en metros
- d_1 = diámetro con corteza en el extremo menor de la troza, en metros

El volumen total del árbol se obtuvo por la suma de los volúmenes parciales de cada uno de los segmentos considerados. Para el caso del volumen sin corteza, se utilizó el diámetro bajo corteza, determinado mediante la siguiente fórmula: $d_{bc} = d_{sc} - 2e$.

Determinación de los modelos

Se probaron varios modelos (Cuadro 1) recomendados por diferentes autores (Loetsch et al, 1973; Singh, 1981; Salinas, 1985; Barrera et al, 1986).

Se graficaron los datos y al analizarlos se vió que existía una tendencia curvilínea, por lo cual se incluyó el modelo curvilíneo múltiple (modelo 15) y se utilizó la transformación logaritmo neperiano (ln) para linealizar el modelo, siendo entonces la variable dependiente lnV y las variables explicatorias lnd y lnh.

El ajuste de estos modelos se realizó utilizando el análisis de regresión, empleando la técnica del método de los mínimos cuadrados. Para la selección de variables el procedimiento utilizado fué "Forward Selection Stepwise" (Selección paso a paso hacia adelante) en el que en cada paso se le incorpora una variable y, a lo largo del proceso, una variable puede ser eliminada en cualquier paso de resultar no significativa (Montgomery 1981).

Criterios para la selección del mejor modelo

Se empleó como criterio de selección el cuadrado medio del error (CME), y el coeficiente de determinación ajustado r^2Aj . Para comparar los modelos lineales con modelos transformados, se utilizó el índice propuesto por Furnival (1961), recomendado por Alder (1980). El índice de Furnival tiene la ventaja de reflejar las dimensiones de los residuales y, además, las infracciones contra las condiciones de los mínimos cuadrados (Furnival, 1961). Aquellas ecuaciones con menor índice de Furnival serán las de mejor ajuste.

Una vez seleccionados los mejores modelos y obtenidas las ecuaciones de volumen, se realizó el análisis de influencia de cada punto sobre el modelo ajustado, utilizándose los criterios de los residuales eliminados de Student (t_i^*) y el estadístico de la distancia de Cook (D_i), cuyo objetivo es determinar puntos de influencia (observaciones) que afecten de forma adversa el modelo

Se realizó el análisis de residuos en función de los residuos gráficos sugerido por Draper y Smith (1966), con el fin de determinar las posibles violaciones de los supuestos del modelo de regresión (normalidad, no multicolinealidad, homoscedasticidad y no autocorrelación).

CUADRO 1. Modelos matemáticos seleccionados en la determinación de las ecuaciones de volumen para las plantaciones de teca en la Unidad Experimental de la Reserva Forestal Caparo.

Modelo	Variable 1/ Independiente	Modelo 1/	Denominación
1	d	$V = \beta_0 + \beta_1 d$	Berkhout
2	d	$V = \beta_0 + \beta_1 d^2$	Kopecky-Gehrhardt
3	d, h	$V = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 h$	
4	d, h	$V = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 h + \beta_3 (d^2 h)$	Australiano (Sandrasegaran)
5	d, h	$V = \beta_0 + \beta_1 d^2 + \beta_2 h$	
6	d, h	$V = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 (dh) + \beta_3 d^2 + \beta_4 d + \beta_5 (d^2 h)$	Comprensible Meyer
7	d, h	$V = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 (dh) + \beta_3 d^2 + \beta_4 (d^2 h)$	Meyer Modificado
8	d, h	$V = \beta_0 + \beta_1 (dh)$	
9	d, h	$V = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 h + \beta_3 (dh)$	
10	d, h	$V = \beta_0 + \beta_1 (d^2 h)$	Spurr (Var. Combinada)
11	d, h	$\ln V = \beta_0 + \beta_1 (d^2 h)$	Semilogarítmico
12	d, h	$\ln V = \beta_0 + \beta_1 d^2 + \beta_2 h$	Semilogarítmico
13	Lnd	$\ln V = \beta_0 + \beta_1 \ln d$	
14	Lnd, ln h	$\ln V = \beta_0 + \beta_1 \ln (d^2 h)$	Variable Combinada Logarítmica
15	Lnd, ln h	$\ln V = \beta_0 + \beta_1 \ln d + \beta_2 \ln h$	Shumacher – Hall

V = Variable dependiente, Volumen: volumen total aprovechable con corteza en m³ excluyendo el tocón y hasta un diámetro en punta variable de acuerdo a la longitud aprovechable

d = diámetro a la altura de pecho en cm.

h = altura total del árbol en m

ln = logaritmo neperiano (e = 2,71828)

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \dots, \beta_i$ = coeficientes de regresión.

Validación de las ecuaciones de volumen

Para la validación de las ecuaciones de volumen se procedió a seleccionar una nueva muestra, cumpliendo las mismas condiciones que para el muestreo inicial. Se seleccionaron tres árboles por categoría diamétrica para un total de 39. Los modelos ajustados se utilizaron para predecir el volumen de los árboles y se compararon con los volúmenes reales; es decir, se hizo una validación independiente y se utilizó el método de los valores predichos utilizando la Suma de Cuadrados del Error de Predicción y el Coeficiente de Determinación de Predicción propuesto por Montgomery (1981):

$$SCE = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}; \quad r^2 \text{ predicción} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2}$$

Se realizó un análisis de la varianza para probar si existían o no diferencias estadísticamente significativas entre el volumen real calculado y el volumen estimado por los modelos ajustados (14 y 15).

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Análisis de influencia

Al realizar el análisis de influencia de cada punto sobre los modelos ajustados, utilizando los criterios de los residuales eliminados de Student (ti), resultó que existe una sola observación que debía ser eliminada ya que se encontraba alejada del comportamiento general del resto de los datos. Se procedió a realizar de nuevo el ajuste de los modelos considerando 173 observaciones.

Ajuste de modelos

En el Cuadro 2 se muestra el resumen de los valores del Cuadrado Medio del Error (CME) y del Coeficiente de Determinación Ajustado ($r^2 \text{ Aj}$), para el volumen con y sin corteza de los 15 modelos probados. Con base en estos resultados, se observa que los mejores modelos lineales son el 4 (igual a 6 y 7) y el 10 y los mejores modelos logarítmicos son el 14 y el 15. Es de hacer notar que entre estos modelos (14 y 15) no existen diferencias en el valor de

Cuadrado Medio del Error y del Coeficiente de Determinación Ajustado.

Índice de Furnival

El resultado de la comparación de los mejores modelos lineales con los modelos logarítmicos, utilizando el índice de Furnival, se presentan en el cuadro 3. Los modelos que presentaron menor índice de Furnival y por lo tanto mejor ajuste, fueron los modelos logarítmicos 14 (de la variable combinada, curvilíneo simple) y 15 (curvilíneo múltiple, también conocido como modelo de Shumacher-Hall, 1933) entre los cuales no existen diferencias en dicho índice.

Análisis de residuos

En las figuras 1 y 2, se muestran los gráficos de residuos contra valores predichos para el volumen total para los modelos 14 y 15. En ellos no se destacan patrones específicos en relación a violación de supuesto del análisis de regresión.

Validación de las ecuaciones de volumen

Se calculó el volumen real aprovechable con y sin corteza para los 39 árboles que constituyeron la muestra. Se estimó el volumen utilizando los modelos

14 y 15, que fueron los que mostraron mejor ajuste. Al realizar el análisis de la varianza (Cuadro 4), utilizando como tratamientos los diferentes volúmenes calculados (real y estimados por los modelos 14 y 15), no se encontraron diferencias significativas ($\alpha=0.05$) entre dichos volúmenes; es decir, que estos modelos son adecuados para la estimación del volumen en las plantaciones de teca en la Unidad Experimental de la Reserva Forestal Caparo.

Al comparar los modelos 14 y 15, utilizando el método de los valores predichos y los estadísticos Suma Cuadrada del Error de Predicción (SCE predicción) y Coeficiente de Determinación de Predicción (r^2 predicción), se encontró para el modelo 14 una SCE predicción de 0,0036 y un r^2 predicción de 0,8213; mientras que para el modelo 15 la SCE predicción es de 0,0038 y un r^2 predicción de 0,8107.

CONCLUSIONES

En general, el ajuste de los modelos fué satisfactorio estadísticamente, ya que se obtuvieron Coeficientes de Determinación (r^2), bastante altos e Índices de Furnival bajos, lo cual demuestra que el método de muestreo utilizado fué adecuado esto co-

CUADRO 2. Valores del cuadrado medio del error (CME) y coeficiente de correlación ajustado (R), para el volumen total aprovechable con y sin corteza para las plantaciones de teca en la Unidad Experimental de la Reserva Forestal Caparo.

Modelo Nº	Volumen con Corteza		Volumen sin Corteza	
	CME	r^2	CME	r^2
1	0,003870000	0,9652	0,00233000	0,9653
2	0,002760000	0,9544	0,00162000	0,9555
3	0,003871030	0,9361	0,00232916	0,9364
4	0,002026010	0,9664	0,00121422	0,9666
5	0,002487620	0,9590	0,00141490	0,9593
6	0,002026010	0,9664	0,00121422	0,9666
7	0,002026010	0,9664	0,00121422	0,9341
8	0,003910000	0,9356	0,00241000	0,9666
9	0,002223370	0,9638	0,00193008	0,9633
10	0,002070000	0,9658	0,00124000	0,9660
11	0,133680000	0,8132	0,133680000	0,8132
12	0,003951559	0,9448	0,042714500	0,9434
13	0,021790000	0,9695	0,023030000	0,9695
14	0,010564860	0,9852	0,011120000	0,9853
15	0,010564860	0,9852	0,011130000	0,9852

CUADRO 3. Comparación de los mejores modelos lineales con los mejores modelos logarítmicos utilizando el índice de Furnival para el total de datos en las plantaciones de teca en la Unidad Experimental de la Reserva Forestal Caparo.

VOLUMEN CON CORTEZA				
Variable	Modelo N° 4	Modelo N° 10	Modelo N° 14	Modelo N° 15
1 \sqrt{CME}	0,0450	0,04551	0,10279	0,10279
2 $\text{Ln}[f'(v)]^{-1}$	0,0000	0,0000	-220,4107	-220,4107
3 $2/N$	0,0000	0,0000	1,27405	1,27405
4 antLn 3	1,0000	1,0000	0,27970	0,27970
5 $1 * 4$	0,045	0,04551	0,02875	0,02875
VOLUMEN SIN CORTEZA				
Variable	Modelo N°4	Modelo N° 10	Modelo N° 14	Modelo N° 15
1 \sqrt{CME}	0,03484	0,03521	0,10546	0,10552
2 $\text{Ln}[f'(v)]^{-1}$	0,0000	0,0000	-269,45096	-269,45096
3 $2/N$	0,0000	0,0000	-1,557520	-1,557520
4 antLn 3	1,0000	1,0000	0,2106574	0,2106574
5 $1 * 4$	0,03484	0,03521	0,02222	0,02223

Modelos: 4 $V = bo + b1(d^2h) + b2d$
 10 $V = bo + b1(d^2h)$
 14 $\text{ln}v = bo + b1\text{ln}(d^2h)$
 15 $\text{ln}v = bo + b1 \text{ln } d + b2 \text{ ln}d$

CUADRO 4. Análisis de la varianza: validación de las ecuaciones de volumen, para las plantaciones de teca de la Unidad Experimental de la Reserva Forestal Caparo.

Fuentes de variación	g.l	C.M.	F.C	Sig. 1/
Modelos	2	0,12780	0,5800	ns
Error	114	0,02212		
Total	116			

1/ ns = Estadísticamente No significativo, a un nivel de significancia del 5,0 %

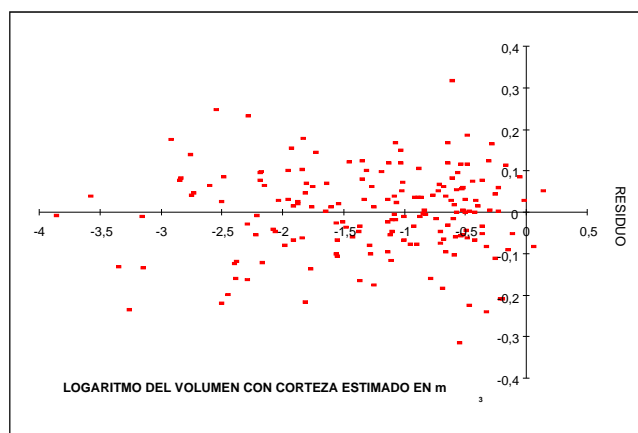


FIGURA 1. Análisis de residuos para el volumen con corteza, Modelo 14, en las plantaciones de teca en la Unidad Experimental de la Reserva Forestal Caparo.

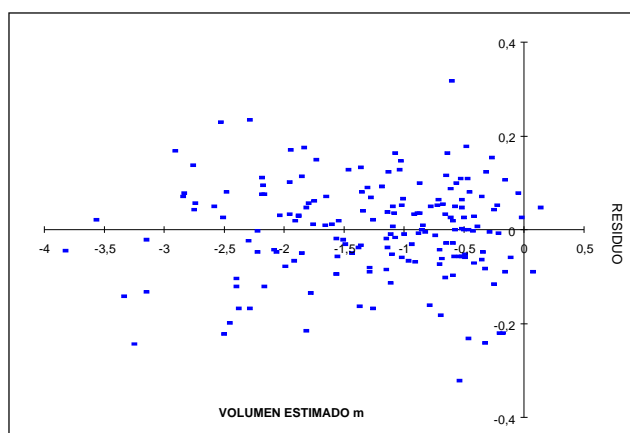


FIGURA 2. Análisis de residuos para el volumen con corteza, Modelo 15, en las plantaciones de teca en la Unidad Experimental de la Reserva Forestal Caparo.

incide con el trabajo de Alexandros et al. (1992) quienes comparan el método de muestreo simple con el método de muestreo estratificado, utilizando las clases diamétricas como estratos.

Los modelos que presentaron menor Índice de Furnival, y por lo tanto mejor ajuste, fueron los modelos logarítmicos 14, conocido como de la variable combinada, curvilíneo simple y el 15, curvilíneo múltiple, también conocido como modelo de Shumacher-Hall, entre los cuales no existen diferencias en el índice. Las ecuaciones obtenidas para ambos modelos son las siguientes:

Modelo 14 $\ln VCC = -1,068923 + 0,938306 \ln(d^2h);$
 $VCC = 0,34337814 \times (d^2h)^{0,9338306}$

Modelo 15 $\ln VSC = -1,3468510 + 0,963638 \ln(d^2h);$
 $VSC = 0,26005789 \times (d^2h)^{0,963638}$

Modelo 14 $\ln VCC = -0,8222221 + 1,915947 \ln d + 0,877762 \ln h;$
 $VCC = 0,43945454 \times d^{1,915947} \times h^{0,877762}$

Modelo 15 $\ln VSC = -1,103045 + 1,966151 \ln d + 0,903806 \ln h;$
 $VCC = 0,33185903 \times d^{1,966151} \times h^{0,903806}$

El análisis de la varianza realizado en la validación reportó que no existen diferencias significativas entre volumen real de los árboles y el estimado por los modelos que presentaron mejores ajustes; por lo tanto, se puede concluir que las ecuaciones seleccionadas pueden ser utilizadas para calcular el volumen de la teca en la Unidad Experimental de la Reserva Forestal Caparo.

El volumen de corteza aumenta a medida que aumenta las dimensiones del árbol, se estimó que en promedio es de 20%.

Al realizar la validación a través de una muestra independiente, el modelo 14 se mostró con mejor poder predictivo que el modelo 15, además de ofrecer la ventaja de ser más sencillo.

En el cuadro 5 se presenta la tabla de volumen con corteza para teca que incluye diámetros desde 10 hasta 40 centímetros y alturas de 10 hasta 30 m.

**CUADRO 5. Tabla de Volumen (con corteza) para Las Plantaciones de Teca
Unidad Experimental de la Reserva Forestal Caparo.**

Clase Diamétrica	Diámetro Central	Altura en metros										
		10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
10,00 - 10,99	10,5	0,0434	0,0474	0,0515	0,0555	0,0595	0,0635	0,0674	0,0714	0,0753	0,0792	0,0831
11,00 - 11,99	11,5	0,0514	0,0563	0,0610	0,0658	0,0705	0,0753	0,0800	0,0846	0,0893	0,0940	0,0986
12,00 - 12,99	12,5	0,0602	0,0658	0,0714	0,0770	0,0825	0,0880	0,0935	0,0990	0,1044	0,1099	0,1153
13,00 - 13,99	13,5	0,0695	0,0760	0,0825	0,0889	0,0953	0,1017	0,1080	0,1144	0,1207	0,1269	0,1332
14,00 - 14,99	14,5	0,0795	0,0869	0,0943	0,1017	0,1090	0,1163	0,1235	0,1308	0,1380	0,1452	0,1523
15,00 - 15,99	15,5	0,0901	0,0985	0,1069	0,1152	0,1235	0,1318	0,1400	0,1482	0,1564	0,1645	0,1726
16,00 - 16,99	16,5	0,1013	0,1108	0,1202	0,1296	0,1389	0,1482	0,1574	0,1667	0,1758	0,1850	0,1941
17,00 - 17,99	17,5	0,1131	0,1237	0,1342	0,1447	0,1551	0,1655	0,1758	0,1861	0,1964	0,2066	0,2168
18,00 - 18,99	18,5	0,1256	0,1373	0,1490	0,1606	0,1722	0,1837	0,1952	0,2066	0,2180	0,2293	0,2406
19,00 - 19,99	19,5	0,1386	0,1516	0,1645	0,1773	0,1900	0,2028	0,2154	0,2280	0,2406	0,2531	0,2656
20,00 - 20,99	20,5	0,1522	0,1665	0,1806	0,1947	0,2087	0,2227	0,2366	0,2505	0,2643	0,2780	0,2917
21,00 - 21,99	21,5	0,1665	0,1820	0,1975	0,2129	0,2283	0,2435	0,2587	0,2739	0,2890	0,3040	0,3190
22,00 - 22,99	22,5	0,1813	0,1983	0,2151	0,2319	0,2486	0,2652	0,2818	0,2983	0,3147	0,3311	0,3474
23,00 - 23,99	23,5	0,1967	0,2151	0,2334	0,2516	0,2697	0,2878	0,3057	0,3236	0,3415	0,3592	0,3769
24,00 - 24,99	24,5	0,2127	0,2326	0,2524	0,2721	0,2917	0,3112	0,3306	0,3500	0,3692	0,3885	0,4076
25,00 - 25,99	25,5	0,2293	0,2507	0,2721	0,2933	0,3144	0,3354	0,3564	0,3772	0,3980	0,4187	0,4394
26,00 - 26,99	26,5	0,2465	0,2695	0,2924	0,3152	0,3379	0,3605	0,3831	0,4055	0,4278	0,4501	0,4723
27,00 - 27,99	27,5	0,2642	0,2889	0,3135	0,3379	0,3623	0,3865	0,4106	0,4347	0,4586	0,4825	0,5063
28,00 - 28,99	28,5	0,2862	0,3130	0,3397	0,3661	0,3925	0,4188	0,4449	0,4709	0,4969	0,5227	0,5485
29,00 - 29,99	29,5	0,3014	0,3296	0,3576	0,3855	0,4133	0,4409	0,4685	0,4959	0,5232	0,5504	0,5776
30,00 - 30,99	30,5	0,3209	0,3509	0,3807	0,4104	0,4400	0,4694	0,4987	0,5279	0,5570	0,5860	0,6149
31,00 - 31,99	31,5	0,3409	0,3728	0,4045	0,4360	0,4674	0,4987	0,5298	0,5608	0,5917	0,6225	0,6532
32,00 - 32,99	32,5	0,3615	0,3953	0,4289	0,4624	0,4957	0,5288	0,5618	0,5947	0,6275	0,6601	0,6927
33,00 - 33,99	33,5	0,3826	0,4184	0,4540	0,4894	0,5247	0,5598	0,5947	0,6295	0,6642	0,6988	0,7332
34,00 - 34,99	34,5	0,4043	0,4422	0,4798	0,5172	0,5544	0,5915	0,6285	0,6652	0,7019	0,7384	0,7748
35,00 - 35,99	35,5	0,4266	0,4665	0,5062	0,5457	0,5850	0,6241	0,6631	0,7019	0,7406	0,7791	0,8175
36,00 - 36,99	36,5	0,4494	0,4915	0,5333	0,5749	0,6163	0,6575	0,6986	0,7394	0,7802	0,8208	0,8613
37,00 - 37,99	37,5	0,4776	0,5222	0,5667	0,6109	0,6549	0,6987	0,7423	0,7857	0,8290	0,8722	0,9152
38,00 - 38,99	38,5	0,4968	0,5432	0,5895	0,6354	0,6812	0,7267	0,7721	0,8173	0,8623	0,9072	0,9519
39,00 - 39,99	39,5	0,5213	0,5700	0,6185	0,6668	0,7148	0,7626	0,8102	0,8576	0,9048	0,9519	0,9989

Cont...

Clase Diamétrica	Diámetro Central	Altura en metros									
		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
10,00 - 10,99	10,5	0,0870	0,0909	0,0948	0,0986	0,1025	0,1063	0,1102	0,1140	0,1178	0,1216
11,00 - 11,99	11,5	0,1032	0,1078	0,1124	0,1170	0,1216	0,1261	0,1307	0,1352	0,1397	0,1442
12,00 - 12,99	12,5	0,1207	0,1261	0,1314	0,1368	0,1421	0,1475	0,1528	0,1581	0,1634	0,1687
13,00 - 13,99	13,5	0,1394	0,1457	0,1519	0,1581	0,1642	0,1704	0,1765	0,1827	0,1888	0,1949
14,00 - 14,99	14,5	0,1595	0,1666	0,1737	0,1807	0,1878	0,1948	0,2019	0,2089	0,2159	0,2228
15,00 - 15,99	15,5	0,1807	0,1888	0,1968	0,2048	0,2128	0,2208	0,2288	0,2367	0,2446	0,2525
16,00 - 16,99	16,5	0,2032	0,2123	0,2213	0,2303	0,2393	0,2483	0,2572	0,2662	0,2751	0,2840
17,00 - 17,99	17,5	0,2269	0,2371	0,2472	0,2572	0,2673	0,2773	0,2873	0,2973	0,3072	0,3171
18,00 - 18,99	18,5	0,2519	0,2631	0,2743	0,2855	0,2966	0,3078	0,3189	0,3299	0,3410	0,3520
19,00 - 19,99	19,5	0,2780	0,2904	0,3028	0,3151	0,3274	0,3397	0,3520	0,3642	0,3764	0,3885
20,00 - 20,99	20,5	0,3054	0,3190	0,3326	0,3462	0,3597	0,3731	0,3866	0,4000	0,4134	0,4268
21,00 - 21,99	21,5	0,3339	0,3488	0,3637	0,3785	0,3933	0,4080	0,4227	0,4374	0,4521	0,4667
22,00 - 22,99	22,5	0,3637	0,3799	0,3961	0,4122	0,4283	0,4444	0,4604	0,4764	0,4923	0,5082
23,00 - 23,99	23,5	0,3946	0,4122	0,4298	0,4473	0,4647	0,4822	0,4995	0,5169	0,5342	0,5514
24,00 - 24,99	24,5	0,4267	0,4457	0,4647	0,4837	0,5025	0,5214	0,5402	0,5589	0,5776	0,5963
25,00 - 25,99	25,5	0,4600	0,4805	0,5010	0,5214	0,5417	0,5620	0,5823	0,6025	0,6227	0,6428
26,00 - 26,99	26,5	0,4944	0,5165	0,5385	0,5604	0,5823	0,6041	0,6259	0,6476	0,6693	0,6909
27,00 - 27,99	27,5	0,5300	0,5536	0,5772	0,6007	0,6242	0,6476	0,6709	0,6942	0,7175	0,7406
28,00 - 28,99	28,5	0,5742	0,5998	0,6254	0,6509	0,6763	0,7016	0,7269	0,7522	0,7773	0,8025
29,00 - 29,99	29,5	0,6046	0,6316	0,6585	0,6853	0,7121	0,7388	0,7654	0,7920	0,8185	0,8449
30,00 - 30,99	30,5	0,6437	0,6724	0,7010	0,7296	0,7581	0,7865	0,8148	0,8431	0,8713	0,8995
31,00 - 31,99	31,5	0,6838	0,7143	0,7448	0,7751	0,8054	0,8356	0,8657	0,8957	0,9257	0,9556
32,00 - 32,99	32,5	0,7251	0,7575	0,7897	0,8219	0,8540	0,8860	0,9180	0,9498	0,9816	1,0134
33,00 - 33,99	33,5	0,7676	0,8018	0,8360	0,8700	0,9040	0,9379	0,9717	1,0054	1,0391	1,0727
34,00 - 34,99	34,5	0,8111	0,8473	0,8834	0,9194	0,9553	0,9911	1,0268	1,0625	1,0980	1,1335
35,00 - 35,99	35,5	0,8558	0,8940	0,9321	0,9700	1,0079	1,0457	1,0834	1,1210	1,1585	1,1960
36,00 - 36,99	36,5	0,9016	0,9418	0,9819	1,0219	1,0619	1,1017	1,1414	1,1810	1,2205	1,2600
37,00 - 37,99	37,5	0,9580	1,0008	1,0434	1,0859	1,1283	1,1706	1,2128	1,2549	1,2969	1,3388
38,00 - 38,99	38,5	0,9965	1,0410	1,0853	1,1296	1,1737	1,2177	1,2615	1,3053	1,3490	1,3926
39,00 - 39,99	39,5	1,0457	1,0923	1,1388	1,1852	1,2315	1,2777	1,3237	1,3697	1,4155	1,4613

Ecuación: $VCC = 0,34337814 * (d^2h)^{0,938306}$

VCC = Volumen Total Aprovechable con corteza en m³ hasta un diámetro mínimo en punta, variable de acuerdo a la longitud comercial.

d = diámetro a la altura de pecho con corteza en metros

h = altura total en metros

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALDER, A. 1980. Estimación del Volumen Forestal y Predicción del Rendimiento. Volumen 2. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma 90 p.
- ALEXANDROS, A. and H. BUNKHART 1992. An Evaluation of Sampling Methods and Model Forms for Estimating Height - Diameter Relationships in Loblolly Pine Plantations. *Forest Science* 38 (1): 192 - 198.
- BARRENA, V.; J. DANCÉ y D. SÁENZ. 1986. Metodología para la Selección de Ecuaciones de Volumen. *Revista Forestal del Peru* 13(2) 3 - 12.
- DRAPER, N. R.; y H. SMITH, Jr. 1966 *Applied Regression Analysis*. 1a Ed. Wiley, Nueva York.
- EWEL, J. y A. MADRÍZ. 1976. Zonas de Vida de Venezuela. Memoria Explicativa del Mapa sobre el Mapa Ecológico. 2da Edición. Ministerio de Agricultura y Cría. Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Caracas, Venezuela.
- FURNIVAL, G. 1961. An Index for comparing equations used in constructing volume tables. *Forest Science* 7 (4): 337 - 341.
- GUTIERREZ, A.; C. SANCHEZ y L. VALVERDE. 1992. Aplicación de una Metodología y Formulación de un Modelo Preliminar y Simulación para un Régimen de Aclareo en Plantación de Teca. Universidad de Los Andes. Facultad de Ciencias Forestales, Centro de Estudios Forestales de Postgrado, Mérida, Venezuela.
- LOETSCH, F.; F. ZOHRER. and K. HALLER. 1973. *Forest Inventory*. Vol. 2 Blv, Munich, Germany.
- MONTGOMERY D. and E. PECK. 1981. *Introduction to Linear Regression Analysis*. John Willy & Sons, New York. pags 287 - 446.
- SALINAS, L. 1985. Elaboración de Tablas de Volumen para Teca (*Tectona grandis*) en la Unidad Experimental de la Reserva Forestal de Ticoporo, Edo. Barinas. Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales, Escuela de Ingeniería Forestal, Mérida, Venezuela.
- SINGH, S. 1981. Total Tree Volume Table for *Tectona grandis* (Teak). *The Indian Forester* 107 (10) 621 - 624.
- UNIVERSIDAD DE LOS ANDES Y CORPORACIÓN DE LOS ANDES (ULA-CORPOANDES) 1974. Programa de Investigación con Fines de Manejo en la Unidad Experimental de la Reserva Forestal Caparo.- Informe N° 4 Actividades del Cuarto Año de Labores (6-3-73 al 5-3-74). Universidad de Los Andes Facultad de Ciencias Forestales, Centro de Estudios Forestales de Postgrado, Mérida, Venezuela.