

Estimación de volumen para *Eucalyptus camaldulensis* en el Gurú,

Departamento de León, Nicaragua

William Vásquez

Resumen

Se presentan los resultados del análisis de volumen de 35 árboles de *Eucalyptus camaldulensis* con diámetros entre 10 y 34,4 cm y altura total de 12,6 a 29,9 metros; aprovechados en un ensayo de espaciamientos de diez años de edad en El Gurú, Departamento de León en Nicaragua. De los quince modelos probados para estimar volúmenes hasta diferentes límites de utilización se seleccionó el modelo logarítmico debido a que presentó el menor índice de Furnival, fue altamente significativo según una prueba de F ($p \leq 0,001$), y todos los parámetros de la ecuación fueron significativos al uno por ciento.

La primera tabla de volumen de esta especie fue publicada por Ugalde y Otárola en 1981, utilizando un total de 61 árboles procedentes de cuatro departamentos de Nicaragua, con diámetros entre 5 y 19 cm y alturas entre 5 y 18 metros. De los 15 modelos probados, estos autores también encontraron como mejor el logarítmico.

Summary

Estimation of the volume for *Eucalyptus camaldulensis* in El Gurú, Department of Leon, Nicaragua. The results of the volume analysis of 35 trees of *Eucalyptus camaldulensis* with diameters ranging between 10 and 34,4 cm. and with total heights between 12,6 to 29,9 meters were presented; taking advantage of a spacing trial of ten years of age in El Gurú, Department of Leon, Nicaragua. Of the fifteen models tested for estimating volumes up to different utilization limits the logarithmic model was selected because it presented a lower Furnival rate, it was highly representative according to the test F ($p \leq 0,001$), and all parameters of the equation were representative at one percent. Ugalde and Otárola published the first table of volumes of this specie in 1981, using a total of 61 trees from four Departments of Nicaragua, with diameters ranging between 5 and 19 cm and height between 5 and 18 meters. Of the fifteen models tested, these authors also found as best model the logarithmic model.

Palabras clave: *Eucalyptus camaldulensis*; volumen; Nicaragua.

Una de las especies de mayor importancia en la región del pacífico seco de Nicaragua es el Eucalyptus camaldulensis por su gran adaptación a condiciones de suelos arcillosos, por su excelente crecimiento y por su resistencia a las sequías (CATIE 1986; Ugalde y Otárola 1981).

El E. camaldulensis es una especie siempre verde de 24 a 40 metros de altura. La leña es de alta calidad y cuando está completamente seca se constituye es un combustible excelente. La madera es duradera, fuerte y resistente a las termitas.

En zonas secas se planta como barreras o como cercos vivos a la orilla de los caminos. En Nicaragua, se planta como barreras para el control de la erosión. También es utilizado como ornamental y sus flores producen miel de excelente calidad.

El objetivo de este trabajo fue desarrollar una tabla de volumen para ampliar los límites de utilización de las tablas de volumen existentes (Ugalde y Otárola 1981) hasta la fecha; sin embargo, debido a que no se encontraron los datos anteriores sólo se pudo desarrollar una tabla de volumen local.

Descripción del sitio

Los árboles fueron seleccionados en un experimento de espaciamientos de 10 años de edad, en el sitio experimental conocido como El Gurú, Hacienda La Argentina, a una latitud de 12°23' y una longitud de 86° 50', en el kilómetro 67 carretera a León. Este experimento fue plantado en julio de 1981 y aprovechado a tala rasa a los tres años de edad en abril de 1984. Por lo anterior, los árboles seleccionados corresponden a rebrotes con edades de diez años.

El sitio presenta una temperatura media anual de 27,9°C, una altitud de 40 msnm y una precipitación de 1 625 mm, perteneciente al bosque seco tropical (CATIE 1986).

Ubicación de la muestra y toma de datos

Los árboles fueron seleccionados tratando de abarcar todos los tamaños de diámetro presentes en los diferentes espaciamientos iniciales de plantación que variaron desde 1,5 x 1,5 hasta 3 x 3 metros.

En total se marcaron y aprovecharon 35 árboles de *E. camaldulensis* en marzo de 1994, con el apoyo de personal del Ministerio de Recursos Naturales y Ambiente (MARENA) y del Proyecto Madeleña del CATIE.

Los árboles fueron medidos de acuerdo con su utilidad en distancias de 0,5 hasta 1,5 m en el caso de material para leña y cada 3,4 m en el caso de trozas para aserrío.

Análisis de los datos

Para el análisis de datos se utilizó el programa VOLCAL que estima los volúmenes utilizando la fórmula de Smalian y la del cono para la última sección de cada árbol. Los volúmenes estimados fueron: volumen total con corteza (Vtcc), volumen total sin corteza (Vtsc), volumen total sin corteza hasta 5 cm (Vtsc5) y volumen total con corteza hasta 5 cm (Vtcc5). Una vez estimados estos volúmenes, con el programa VOLREG se probaron 15 modelos de regresión. Ambos programas pertenecen al paquete Palmer Statistical Package. Además, se utilizó el programa estadístico SYSTAT para estimar otras variables y los promedios de todas las variables dasométricas.

Resultados y discusión

Ambitos de validez del modelo

Los modelos desarrollados en este trabajo son válidos para las condiciones de sitio de El Gurú, Nicaragua, y para los máximos y mínimos de diámetro y altura que se presentan en el Cuadro 1, esto es, diámetros de 10 hasta 34,4 cm y alturas totales desde 12,6 hasta 29,9 metros. El modelo desarrollado por Ugalde y Otárola (1981) puede utilizarse en el país, pero sólo para árboles entre 5 y 20 cm y alturas entre 6 y 18 m, que es el ámbito de los datos que ellos utilizaron.

Para la muestra evaluada es posible encontrar volúmenes totales con corteza (Vtcc) que van desde 0,052 m³ hasta 1,062 m³ y volúmenes sin corteza hasta 5 cm que varían de 0,041 hasta 0,9 m³ por árbol. El porcentaje de

Cuadro 1. Medidas de tendencia central para diferentes variables dasométricas de 35 árboles de *Eucalyptus camaldulensis* utilizados para elaborar la tabla de volumen en El Gurú, Nicaragua.

Variable	d (cm)	h (m)	Vtcc	Vcc5	Vtsc	Vsc5	ff	Cort. (%)
Mínimo	10,0	12,6	0,052	0,049	0,045	0,041	0,356	10,98
Máximo	34,4	29,9	1,062	1,053	0,909	0,900	0,573	20,41
Promedio	19,25	20,76	0,330	0,326	0,283	0,279	0,449	14,64
Coef. Variación (%)	33,5	19,8	80,0	80,6	80,1	80,9	10,4	17,8

corteza estimado para esta muestra de árboles varió de 11 hasta 20%, con un promedio general de 14,6 por ciento.

El factor de forma artificial calculado utilizando la diferencia entre el volumen total con corteza y el volumen total del cilindro, varió de 0,35 hasta 0,57, con un promedio de 0,45. Este valor promedio se puede utilizar para estimaciones rápidas de volumen.

ducir piezas cuadradas de 2x2 y 2x4, 2x6, 4x4 y tablas de 1x10 pulgadas, no se realizaron pruebas mecánicas de la madera. Sin embargo, se puede indicar que en Australia esta especie se utiliza para construcción en general ya que es fuerte, duradera y resistente a las termitas (CEMAPIF 1993), usos que se recomienda evaluar para esta especie.

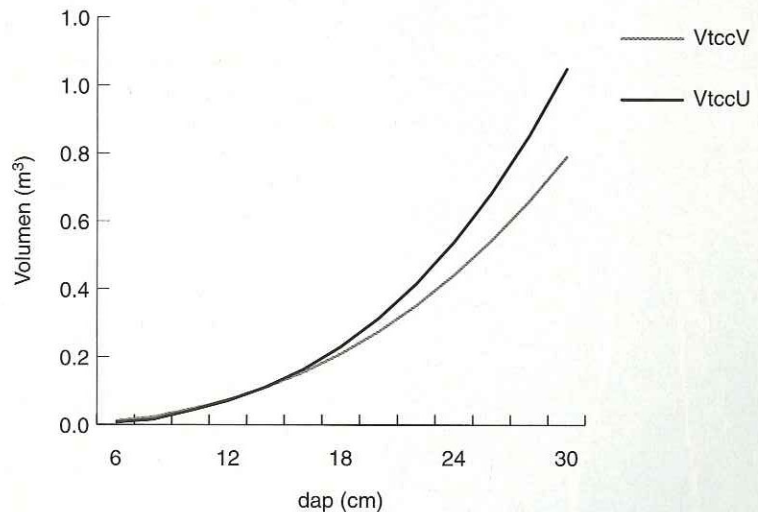
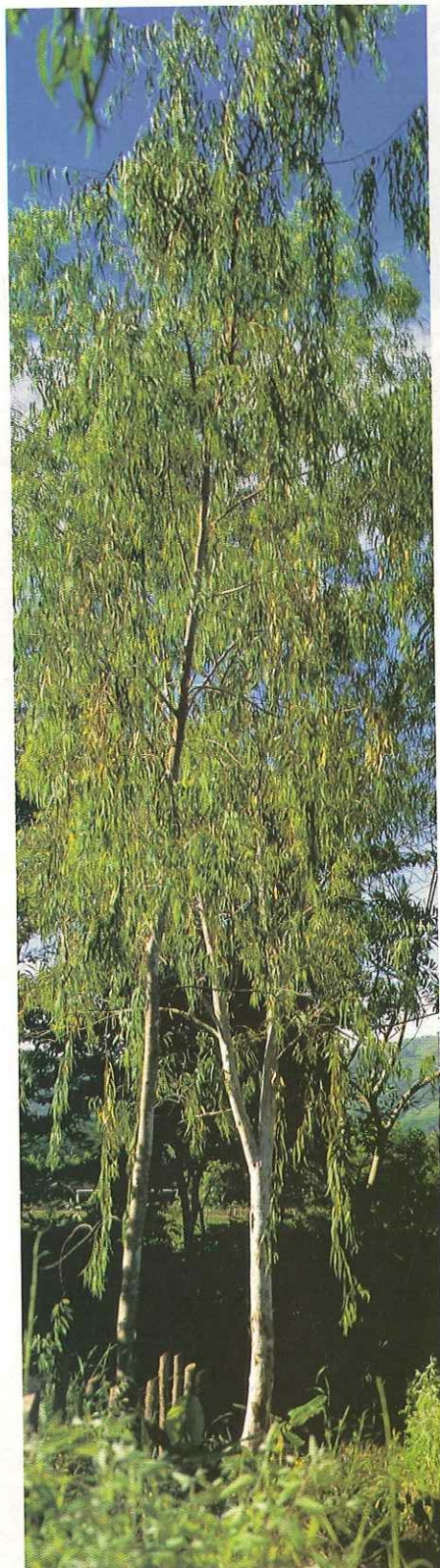


Figura 1. Comparación de los modelos para estimar volumen total con corteza para *Eucalyptus camaldulensis* en Nicaragua. VtccV modelo actual, VtccU modelo de Ugalde y Otárola (1981).

Una estimación de promedios por espaciamiento indicó que el ff no mostró ninguna tendencia, no así el porcentaje de corteza que aumentó de 13,6 ± 2,4 % en los espaciamientos de 1,5 X 1,5 hasta 20,0 ± 2,3% en los espaciamientos de 3 X 3 metros. El diámetro en estos espaciamientos varió de 17,9 hasta 20 cm, respectivamente.

Aunque la madera de los árboles de mayor diámetro se utilizó para pro-

Para comparar la relación entre el modelo de Ugalde y Otárola (1981) y el modelo generado en esta publicación, la Figura 1 presenta ambos. Considerando el valor de los datos utilizados para generar cada modelo, se puede afirmar que el modelo de este trabajo subestima el volumen real para árboles de diámetro menor a 10 cm y que el modelo de Ugalde y Otárola (1981) los subestima para árboles de más de 20 cm de diámetro.



En el Pacífico seco de Nicaragua, el *E. camaldulensis* es muy utilizada como barreras, cercos vivos y leña, de allí que es una especie de gran importancia económica. (Foto: A. Vera).

Selección del modelo

La selección del mejor modelo se hizo tomando en cuenta el menor índice de Furnival, la prueba de F para el modelo, el coeficiente de determinación, los valores de t para los coeficientes del modelo y el grado de significancia de las diferentes pruebas. El Cuadro 2 presenta el resumen de estos criterios para los 15 modelos probados para la estimación del volumen total sin corteza hasta 5 cm de diámetro. Estos mismos criterios se utilizaron para los otros tres volúmenes.

A pesar de que el modelo 15 presentó el menor índice de Furnival, éste se descartó pues presentó el menor coeficiente de determinación (29%) y por la no significancia de la prueba de t para el tercer coeficiente. Siguiendo este mismo razonamiento los mejores modelos fueron: el ocho, el siete y el cuatro. El modelo siete tiene la ventaja de ser un modelo de una sola variable, es decir, con solo conocer el diámetro es posible estimar el volumen con una exactitud aceptable. A continuación se presentan los valores del modelo siete para estimar los cuatro volúmenes:

$$\text{Ln Vsc5} = 2,46632 * \text{Ln}(d) - 8,76439$$

$$R^2 = 96,25\%$$

$$\text{Ln Vtsc} = 2,41004 * \text{Ln}(d) - 8,57518$$

$$R^2 = 96,19\%$$

$$\text{Ln Vtcc} = 2,39069 * \text{Ln}(d) - 8,36020$$

$$R^2 = 96,68\%$$

$$\text{Ln Vcc5} = 2,43111 * \text{Ln}(d) - 8,4963$$

$$R^2 = 96,74\%$$

Todos estos modelos (ocho, siete y cuatro) fueron significativos al 0,1%, con cuadrados medio del error de 0,16 hasta 0,0095 m³, valores de t altamente significativos (P < 0,1%) y coeficientes de determinación superiores al 96 por ciento.

Utilización de las tablas de volumen y de las ecuaciones

Con las ecuaciones seleccionadas se procedió a elaborar las tablas de volumen utilizando el modelo ocho. El Cuadro 3 presenta un ejemplo para la tabla de volumen total sin corteza hasta 5 cm y de igual forma es posible

construir otras tablas con cada ecuación ajustada.

En caso de que el técnico o extensionista requieran estimar el rendimiento de una plantación de *E. camaldulensis*, puede establecer una o varias parcelas en la plantación, medir el dap y la altura de cada árbol individual y estimar el volumen de varias formas, dependiendo de la precisión que desee:

a) Estimación del volumen por árbol individual

Con el dap y la altura total de cada árbol, se puede estimar el volumen total sin corteza hasta 5 cm de diámetro menor o el volumen total con corteza, utilizando directamente el modelo o la tabla. Por ejemplo, para un árbol con dap = 24 cm y una altura total de 20 m, la tabla del Cuadro 3, estima un volumen de 0,295 metros cúbicos. Utilizando el modelo con los mismos datos, se tiene:

$$\text{Ln Vsc5} = -11,2217 + 1,5066 * \text{Ln}(24) + 1,7397 * \text{Ln}(20)$$

Este modelo estima un volumen igual a 0,295 metros cúbicos.

Sumando el volumen de todos los árboles en la parcela y conociendo el área de la misma, es posible estimar el volumen total por hectárea en esa plantación.

b) Estimación de promedio por parcela.

Teniendo el dap y la altura total de cada árbol, se puede calcular Los promedios del dap y altura por parcela, sumando todos los diámetros y dividiendo entre el número de diámetros medidos, lo mismo para la altura. Utilizando el dap promedio y la altura promedio se puede estimar de la misma manera que en el punto a) con la tabla o con el modelo, el volumen correspondiente al árbol promedio de la parcela. Para calcular el volumen por parcela debe multiplicarse este valor por el número de árboles en la parcela.

Conclusiones y recomendaciones

El ámbito de validez de los modelos generados en este trabajo se limita a la variación en diámetro de 10 a 34,4

Cuadro 2. Resumen de los criterios de selección para los 15 modelos probados para estimar el volumen total sin corteza hasta 5 cm de *Eucalyptus camaldulensis* en El Gurú, León Nicaragua.

Modelo	F	Sig	Aj. R ²	CME 'Y'	I.F.	T1	Sig	T2	Sig	T3	Sig
1 V = D +	297,1911 ***		0,8970	7,2359E-02	7,2359E-02	17,239	***				
2 V = D + DD +	199,1869 ***		0,9210	6,3380E-02	6,3380E-02	0,114	N/S	3,319	**		
3 V = DD +	410,6442 ***		0,9234	6,2425E-02	6,2425E-02	20,264	***				
4 V = DDH +	898,9029 ***		0,9635	4,3072E-02	4,3072E-02	29,982	***				
5 V = DD + H + DDH	552,4359 ***		0,9799	3,2000E-02	3,2000E-02	4,101	***	1,876	N/S	7,390	***
6 V = DD + DH + DDH	553,1658 ***		0,9799	3,1979E-02	3,1979E-02	4,754	***	1,887	N/S	6,698	***
7 Ln V = Ln D +	872,5922 ***		0,9625	1,6544E-01	3,3211E-02	29,540	***				
8 Ln V = Ln D + Ln H +	1340,5398 ***		0,9875	9,5581E-02	1,9188E-02	11,874	***	8,177	***		
9 V/DD = 1/DD + 1/D +	13,0756 ***		0,4153	1,1389E-04	3,7811E-02	1,389	N/S	2,170	*		
10 V/DD = 1/DD +	19,2774 ***		0,3496	1,2012E-04	3,9879E-02	4,391	***				
11 V/DDH = 1/DDH +	2,6545 N/S		0,0464	3,2929E-06	2,2260E-02	1,629	N/S				
12 V/DD = 1/DD + H/DD + H	55,1518 ***		0,8269	6,1962E-05	2,0572E-02	0,497	N/S	1,868	N/S	8,923	***
13 V/DDH = 1/DDH + 1/H + 1/DD	4,8335 **		0,2528	2,9149E-06	1,9705E-02	0,284	N/S	3,156	**	1,077	N/S
14 V/DD = 1/DD + H/D + H	60,8920 ***		0,8409	5,9413E-05	1,9725E-02	0,817	N/S	2,552	*	8,735	***
15 V/DDH = 1/DDH + 1/H + 1/D	5,6668 **		0,2917	2,8380E-06	1,9185E-02	1,273	N/S	3,655	**	1,711	N/S

* = significativo al 5%
 ** = significativo al 1%
 *** = significativo al 0.1%
 AJ.R² = Coeficiente de determinación ajustado
 Ti = valores de la prueba "t" para los coeficientes del modelo
 N/S = no significativo
 I:F = índice de Furnival
 CME = cuadrado medio del error

Cuadro 3. Tabla de volumen de doble entrada para estimar el volumen sin corteza hasta 5 cm para *Eucalyptus camaldulensis* en el Gurú, León, Nicaragua.

D/H	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32
10	0,032	0,042	0,053								
12	0,043	0,056	0,07	0,086							
14	0,054	0,07	0,	0,109	0,131	0,154					
16	0,066	0,086	0,108	0,133	0,16	0,189	0,22				
18	0,079	0,103	0,13	0,159	0,191	0,225	0,262	0,302	0,343	0,387	
20	0,092	0,12	0,152	0,186	0,224	0,264	0,307	0,353	0,402	0,453	0,507
22		0,139	0,175	0,215	0,258	0,305	0,355	0,408	0,464	0,523	0,585
24		0,158	0,2	0,245	0,295	0,348	0,405	0,465	0,529	0,597	0,667
26			0,225	0,277	0,332	0,392	0,456	0,525	0,597	0,673	0,753
28				0,309	0,372	0,439	0,51	0,587	0,667	0,753	0,842
30					0,412	0,487	0,566	0,651	0,741	0,835	0,934
32						0,536	0,624	0,717	0,816	0,92	1,03
34						0,588	0,684	0,786	0,894	1,008	1,128
36							0,745	0,857	0,975	1,099	1,229

D = diámetro en cm y H = altura en m.

cm y de altura total de 12,6 a 29,9 metros. Estos modelos deben utilizarse solo para los árboles de *E. camaldulensis* que crezcan en la zona de influencia del estudio.

El factor de forma artificial para este grupo de árboles fue de 0,44, y no mostró ninguna tendencia aparente como efecto de los diferentes espaciamientos muestreados.

El porcentaje de corteza por su parte mostró un promedio general de 14,6%, con una ligera tendencia a aumentar de 13,6 a 20%, con el mayor espaciamiento y diámetro.

Para los cuatro volúmenes considerados en este trabajo, el modelo logarítmico del Ln del volumen en función del logaritmo natural del diámetro (cm) y el logaritmo natural de la altura total (m), presentó las mejores características.

Con estos modelos se construyeron tablas de volumen de doble entrada para ayudar a los productores a estimar diferentes volúmenes de aprovechamiento.

Se recomienda continuar acumulando datos de árboles cortados en diferentes partes del país para mejorar y ampliar el rango de aplicación de estos modelos.

William Vásquez
 Banco de Semillas, PROSEFOR
 CATIE, 7170, Costa Rica
 Fax: (506) 556 7766
 E-mail: wvasquez@catie.ac.cr

Agradecimiento: Se agradece al M.Sc. Augusto Otárola por su apoyo en los aspectos logísticos para apea y medir los árboles, al Ing. Erick Saborío, quien apoyó en las mediciones de árboles y a la Delegación Departamental de MARENA en León por los permisos de corta respectivos.

Literatura citada

- CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA. 1986. Crecimiento y rendimiento de especies para leña en áreas secas y húmedas de América Central. CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico n° 79. pp: 425-428.
- CEMAPIF. 1993. Utilización de la madera de *Eucalyptus camaldulensis* en la producción industrial de artículos de madera en Honduras. Material preparado para el Curso de Carpintería. S.I., Hond. s.p.
- UGALDE, L.; OTAROLA, A. 1981. Tablas de volumen para *Eucalyptus camaldulensis* en Nicaragua. Turrialba, C.R., CATIE. Informe Interno. 10 p.