

# TABLAS DE VOLUMEN PARA *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.

H. Jesús Muñoz Flores<sup>1</sup>

## RESUMEN

No existe mucha información sobre la productividad de *Eucalyptus* en México por tratarse de un género introducido, lo que limita al productor forestal. Se evaluó una plantación de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh establecida en 1961, con el objetivo de elaborar cuatro tablas de volumen con y sin corteza, de una y doble entrada, que servirán para estimar el volumen en pie del arbolado del municipio de Morelia, Mich. Se seleccionaron 139 árboles, que fueron derribados y troceados para destinarlos a postería. A cada troza se le midieron los diámetros y el espesor de la corteza. El intervalo de las alturas fue de 10.0 y 25.0 m, y el de los diámetros de 7.0 a 35 cm; estos últimos se separaron en 12 categorías de 2.5 cm. La cubicación del volumen se hizo con la fórmula de Smalian, con una confiabilidad del 95% y un error del 11.88% para una población infinita; se probaron 11 modelos de regresión para las tablas de una entrada y ocho para las de doble entrada. Se concluyó que el modelo de mejor ajuste para la construcción de tablas de una entrada fue  $\text{Log}(\text{VOL}) = a + b(1/D.5)$  y para las de doble entrada,  $\text{Log}(\text{VOL}) = a + b \text{Log}(D) + C \text{Log}(H)$ . Estas tablas permiten estimar el volumen del diámetro con y sin corteza, y la altura del árbol hasta un diámetro mínimo del ápice de 5 cm con corteza. Se refieren, además, al volumen del tallo a partir de la altura del tocón (0.30 cm); excluyen la madera de las ramas y de la cepa o tocón.

**Palabras clave:** Cubicación, *Eucalyptus camaldulensis*, fórmula de Smalian, Michoacán, plantaciones forestales, tablas de volumen.

## ABSTRACT

As *Eucalyptus* is an exotic genus in Mexico, there is scarce information about its productivity, which is a limitation for foresters. In the actual study, a 1961 *Eucalyptus camaldulensis* plantation was assessed, in order to determine four

Fecha de recepción: 03 de diciembre de 2001

Fecha de aceptación: 09 de septiembre de 2003

<sup>1</sup> Campo Experimental Uruapan. INIFAP-CIRPAC. Ave. Latinoamericana No. 1101, C.P. 60150. Uruapan, Michoacán, México. Correo-e: [cefapuru@prodigy.net.mx](mailto:cefapuru@prodigy.net.mx)

volume tables of one or two entries with or without bark, that will be used to make an estimation of the tree volume of Morelia county of the Mexican state of Michoacan. 139 trees were selected, which were logged and cut to make posts. Diameters and bark thickness were measured for each log. Height interval was from 10.0 to 5m, and diameter interval was from 7.00 to 35 cm; these were ordered into twelve 2.5 categories. Cubication was calculated by using the Smalian formula with a 95 confidence per cent and 11.88 error per cent for an infinite population; eleven regression models were tested for one-entry volume tables and eight for those of double-entry. Results show that the best model for one-entry volume tables was  $\text{Log (VOL)} = a+b (1/D.5)$  and  $\text{Log (VOL)} = a+b \text{Log (D)} = + C\text{Log}(H)$  for the double-entry. These tables can be used to determine volume with or without bark, and tree height up to a minimum apex-diameter of 5 cm with bark. They refer, too, to the stem volume from the stump (0.30 cm); they do not include branch or stump wood.

**Key words:** Cubication, *Eucalyptus camaldulensis*, Smalian formula, Michoacan, tree plantations, volume tables.

## INTRODUCCIÓN

Algunos de los principales problemas a los que se enfrenta el productor forestal son las incógnitas conducentes a saber cuánto volumen tiene su rodal o área boscosa y cuál es su crecimiento anual en volumen. Estos vacíos de información se pueden resolver mediante un inventario forestal de sus terrenos. Es aun mayor el desconcierto de los productores en el caso de las plantaciones introducidas como sucede con las especies del género *Eucalyptus*, ya que no se cuenta con antecedentes sobre su productividad en los suelos nacionales.

Este problema se abordó mediante el presente estudio con la finalidad de obtener tablas de volumen para *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. Estas tablas servirán de base para hacer los inventarios forestales en el estado de Michoacán con especies de este género, así como para poder estimar el volumen que se puede extraer cuando se requiera realizar algún aprovechamiento forestal. Así, el objetivo planteado fue el siguiente: Generar cuatro tablas de volumen con y sin corteza, de una y dos entradas para arbolado en pie de *E. camaldulensis* en plantaciones establecidas en el municipio de Morelia, Mich.

Se han desarrollado estudios interesantes sobre este tema, entre los cuales destacan algunos autores. Así, Avery (1967) mencionó que el propósito de las tablas de volumen es proporcionar una tabulación que exprese el "contenido medio" de árboles en pie de diversos tamaños y especies.

Husch, Miller y Beers (1972) definieron el concepto de tablas de volumen como "una expresión tabulada que establece los volúmenes de árboles de acuerdo a

una o más de sus dimensiones fáciles de medir" tales como el diámetro normal, la altura y la forma. Los mismos autores agregan que los volúmenes pueden expresarse en cualquier unidad, como pies cúbicos, pies tabla, metros cúbicos o cuerdas.

Caballero (1972) hizo la observación de que pocas actividades dentro de la Dasonomía se equiparan en importancia con las que se utilizan en la elaboración de tablas de volumen, ya que éstas constituyen el fundamento de los inventarios forestales, los que a su vez son el cimiento de los métodos de ordenación de montes. Las dificultades prácticas de hacer evaluaciones directas de volúmenes en pie llevaron desde hace tiempo al desarrollo de métodos tendientes a predecir por medio de mediciones simples y directas (básicamente diámetro normal, la altura comercial o total y algunas evaluaciones relacionadas con la forma de los individuos) los volúmenes que en conjunto sustentan los árboles de una determinada masa o rodal.

Las etapas fundamentales en construcción de una tabla de volumen son: elección de muestra; medición de campo; cálculo de los volúmenes individuales, y construcción de una tabla. Los siete criterios más importantes para la clasificación de tablas y tarifas de volumen son:

1. Número de variables consideradas;
2. Procedimiento de construcción;
3. Extensión geográfica del área de aplicación;
4. Unidades en que se construye;
5. Cantidad de volumen individual de árboles en que se basan;
6. Tipo de material taxonómico que interviene; y, finalmente,
7. El hecho de que sean aplicables a árboles individuales o masas arboladas.

De los anteriores criterios de clasificación, el más significativo es el tercero, de acuerdo con el autor.

El método gráfico o armonización de curvas, lo introdujo originalmente a Estados Unidos, Graves y después lo popularizó Chapman en los años veinte, considerándose la metodología más antigua para la elaboración de tablas de volumen.

El método de alineación de puntos o nomogramas es bueno para expresar una ecuación, y fue introducido por Bruce (1919) y aplicado a ecuaciones de regresión múltiple por Bruce y Reineke (1932).

Spurr (1952) mencionó que existen métodos directos e indirectos de construcción de tablas de volumen y que su complicación consiste en que es básicamente un problema estadístico. El volumen, como la variable dependiente, se estima a partir de las variables independientes diámetro, altura, y en ocasiones,

una tercera medida. El volumen puede estar directamente relacionado con el diámetro y con la altura por medio de gráficas, cartas de alineamiento o ecuaciones.

Actualmente, el procedimiento normal en la construcción de tablas de volumen es el método directo; sin embargo, existe la posibilidad de relacionar el diámetro y la altura del árbol con una medida indirecta del volumen, tal como un factor de forma, y después de construir la tabla como un paso separado de la tabla de factor de forma, el cual es un método indirecto necesariamente más complicado.

Assmann (1970) estableció que las tablas de volumen y las tablas de factor de forma, expresan volúmenes de árboles individuales con un factor de forma en función del diámetro normal y la altura, además de que los métodos gráficos, por su objetividad, presentan algunos errores, por lo que recomienda la utilización de métodos estadísticos (análisis de regresión) ya que la relación entre las variables puede expresarse por una función.

En México existen pocos estudios sobre tablas de volumen para especies del género *Eucalyptus*; entre éstos, el estudio realizado por González (1979) sobre la evaluación del crecimiento de las plantaciones forestales de la Cuenca de Coitizio en el Estado de Michoacán, determinó tablas de volumen promedio para algunas especies de coníferas y de latifoliadas, entre ellas: *Eucalyptus resinifera* Smith, *E. camaldulensis*, *E. astringens* (Maiden) Maiden, *E. globulus* Labill, *E. robusta* Sm, *E. bridgesiana* R. Baker y *E. viminalis* Labill. Estas tablas se obtuvieron por categorías de altura, clase diamétrica, volumen real y frecuencias, además de tablas de frecuencia volumétricas. A partir de estas tabulaciones, se construyeron gráficas de categorías diamétricas contra volumen de cada clase de altura. Una vez definidas las tendencias gráficas, se concluyó que la gran mayoría correspondía al modelo matemático  $V = a + bD + CD^2$ , de tal manera que al aplicar el sistema de ajuste por mínimos cuadrados, se determinaron los coeficientes de la ecuación para cada categoría de altura y finalmente, mediante la sustitución de los valores correspondientes, se generaron las tablas de volumen de fuste total.

En 1965, el Instituto Forestal de Chile presentó una serie de tablas que sirven para determinar volúmenes aserrables y de madera para pulpa de árboles en pie. Los volúmenes se calcularon con diversos índices de utilización, dados por los diámetros mínimos medidos en el extremo superior del fuste de 4, 6, 8 y 19 pulgadas (10, 15, 20 y 25 cm, respectivamente).

El volumen individual de los árboles se expresó en función de tres variables independientes: diámetro a la altura del pecho, altura total y la clase de forma de Girard. Los volúmenes cúbicos y de madera para pulpa se calcularon en metros cúbicos y los volúmenes aserrables en pies madereros.

Se presentaron tablas en medidas inglesas y en las correspondientes al

Sistema Métrico Decimal, y se reportó una tabla que considera clases de forma variable de acuerdo al diámetro a la altura del pecho para cada índice de utilización, y tablas para las clases de forma más frecuentes en las plantaciones de *Pinus radiata* D. Don. Las tablas fueron elaboradas a partir de 616 árboles.

Ugalde y Augusto (1972) elaboraron una tabla de volumen para *E. camaldulensis* en Nicaragua, donde se seleccionó una muestra de 61 árboles. La muestra presentó un factor promedio de 0.48, calculado con base en el volumen total de corteza, mediante el modelo:

$$Ln h = ln h + d$$

Donde:

$h$  = altura total

$d$  = diámetro normal para representar la relación altura-diámetro

Para la determinación de los volúmenes se seleccionó el modelo  $Ln V = Ln d + Ln h$  entre otros quince, utilizándose el mismo para el cálculo de los volúmenes sin corteza.

Al final se presentan las tablas del volumen total, para un diámetro mínimo en la parte superior del fuste de 5 cm con y sin corteza.

Ugalde (1980) diseñó tablas de volumen de una y de doble entrada con y sin corteza para un diámetro mínimo sin corteza de 5 y 10 cm, para *Eucalyptus deglupta* Bl. en Turrialba, Costa Rica; para ello midió y cubió 81 árboles, mediante trozas seccionadas en longitudes de 1, 2.10 y 4.50 m, ya que el producto estaba destinado a separadores, postes y puntales, respectivamente. Se midieron con cinta diamétrica en la sección media y en la cubicación se utilizó la fórmula de Huber.

La mayoría de las tablas mencionadas calculan los volúmenes con y sin corteza. Otros autores ofrecen tablas con el porcentaje de corteza para facilitar la conversión.

Los volúmenes hasta 10 cm con corteza son netamente mayores que los volúmenes totales sin corteza, si bien se ha descartado una notable sección de la cima del árbol. Sin embargo, muchos informes publicados no especifican si las cifras de producción son volúmenes con o sin corteza.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se realizó en una plantación de *E. camaldulensis* de 23 años de edad, sobre una superficie de 8,991 m<sup>2</sup> y una altitud de 1,920 msnm. Se ubica

en el vivero Lázaro Cárdenas de la Comisión Forestal del Estado de Michoacán y se localiza en el kilómetro 6 de la carretera federal No. 9 Morelia-Pátzcuaro. Las coordenadas geográficas son: 19°39'00" latitud norte y 101°14'00" longitud oeste (Figura 1).

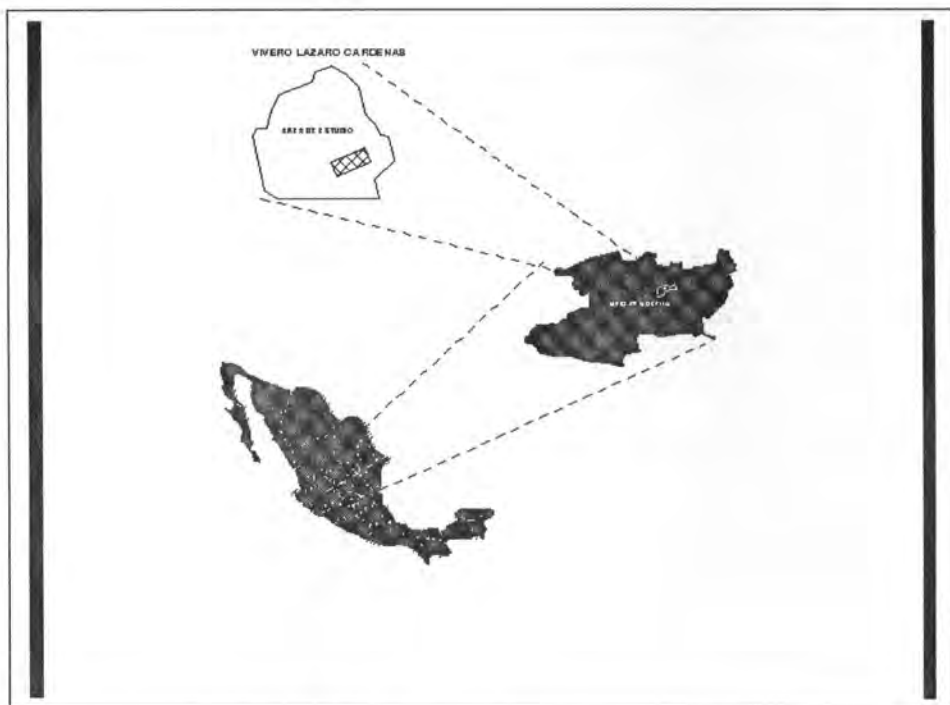


Figura 1. Área de estudio en la plantación de *E. camaldulensis* Schlecht en el vivero Lázaro Cárdenas de la Comisión Forestal del Estado de Michoacán.

De acuerdo con la clasificación climática de Köppen modificado por García (1973), esta área presenta un clima  $C(W_1)(W)b(i')g$ , templado con lluvias en verano, precipitación media anual de 729.23 mm, de la cual el 77% se concentra en los meses de junio a septiembre; el mínimo de lluvias se verifica en abril y el máximo en agosto. La temperatura media del mes más caliente está entre 6.5 y 22°C, y le corresponde a ésta 17.7°C con poca oscilación de las mismas entre 5 y 7°C. La temperatura mínima de 2.4°C en el mes de enero y la más alta, en el solsticio de verano, es decir, antes de junio, que es de 37.5°C en mayo. Las heladas son mínimas, de 10.3 días como promedio anual y ocurren de enero



a febrero; la humedad relativa media anual es de 63.55% y los vientos dominantes son en dirección suroeste.

Los suelos son ligeramente ácidos, con un pH de 5.00 a 6.50, profundidad media de 56 cm, textura de tipo migajón-arcilloso; corresponden a los vertisoles crómicos.

La vegetación está formada en su estrato arbóreo por *E. camaldulensis*. Los estratos herbáceo y arbustivo están constituidos principalmente por hierba "Santa María" (*Tagetes tenuifolia* Cav), "tabardillo" (*Piqueria trinervia* Cav), "jara blanca" (*Baccharis ramulosa* (DC) A Gray), "jara prieta" (*Baccharis* sp.), "escobilla" (*B. conferta* HBK) y "pasto liendrudo" (*Paspalum notatum* Flueggé).

La pendiente media del área de estudio es de 0 a 5%, con una topografía del terreno ligeramente ondulada y exposición noroeste.

Geológicamente, el subsuelo está formado por tobas riolíticas del cuaternario de permeabilidad alta con dominancia de cuarzo y fragmentos de roca, espesor de las capas masivas y de fracturación escaso (CFE, 1984), y se encuentra comprendida dentro de la provincia fisiográfica denominada Eje Neovolcánico Transversal, que se formó como consecuencia de la aparición de numerosos volcanes (CFE, 1984).

Para la realización del presente trabajo fueron seleccionados 139 árboles de *E. camaldulensis*, para luego derribarse y cortarse a una altura de apeo de 0.30 m. A cada uno se le midió la altura y se seccionaron a 2.40 m, ya que se destinarían para elaborar postes de cercas; cada troza se fraccionó hasta una altura que tuviera un diámetro mínimo de 5 cm. Las secciones fueron medidas en diámetros mayores con corteza mediante cinta diamétrica, así como el espesor de corteza por sección. Se tomaron dos mediciones promediándose éstas y posteriormente se le restaron al diámetro con corteza; de esta manera se obtuvo el diámetro de las secciones mayor y menor, sin corteza. Estos datos fueron recabados en formas de registro diseñadas para tal fin.

La cubicación de cada una de las trozas y árboles utilizó un programa de cómputo denominado "Smalian", el cual emplea la fórmula de Smalian para la obtención del volumen:

$$V = \frac{AB + Ab}{2} L$$

Donde:

- V = Volumen de la troza en m<sup>3</sup>
- AB = Área de la base mayor en m<sup>2</sup>
- Ab = Área de la base menor en m<sup>2</sup>
- L = Longitud de la troza en m

Las variables diámetro, altura y volumen con y sin corteza, se obtuvieron por categoría diamétrica (cuadros 1, 2, 3 y 4).

Cuadro 1. Valores promedio y estadísticos por categoría diamétrica para la variable diámetro normal.

Categoría diamétrica (cm)	Número de datos	Suma (cm)	Media (cm)	Varianza	Desviación estándar	Coefficiente de variación (%)
7.5	3	24.0	8.15	0.5633	0.7638	9.51
10.0	4	39.80	9.95	0.5167	0.7188	7.22
12.5	14	175.50	12.53	0.4132	0.6428	5.13
15.0	29	440.90	15.20	0.4468	0.6684	4.40
17.5	25	433.00	17.32	0.6875	0.8291	4.79
20.0	29	579.25	19.97	0.3954	0.6289	3.15
22.5	12	269.00	22.42	0.5761	0.7590	3.39
25.0	9	222.40	24.71	0.7061	0.8403	3.40
27.5	6	162.70	27.12	0.6297	0.7935	2.93
30.0	5	148.60	29.72	0.2420	0.4919	1.66
32.5	2	64.10	32.15	0.405	0.6364	1.99
35.0	1	35.50	35.50			

Cuadro 2. Valores promedio y estadísticos por categoría diamétrica para la variable altura.

Categoría diamétrica (cm)	Número de datos	Suma (cm)	Media (cm)	Varianza	Desviación estándar	Coefficiente de variación (%)
7.5	3	36.98	12.32	1.04	1.0222	8.28
10.0	4	51.52	12.88	1.80	1.04	8.07
12.5	14	217.45	15.53	0.9508	0.9751	6.28
15.0	29	482.69	16.64	1.3782	1.1739	7.05
17.5	25	451.68	18.07	3.5551	1.8855	10.43
20.0	29	516.88	17.82	3.4308	1.8523	10.39
22.5	12	230.5	19.21	3.9879	1.997	10.40
25.0	9	183.73	20.41	1.1089	1.053	5.16
27.5	6	122.12	20.35	2.67	1.634	8.03
30.5	5	113.06	22.61	0.5095	0.7138	3.16
32.5	2	36.76	18.38	1.62	1.2728	6.92
35.0	1	18.62	18.62			



Cuadro 3. Valores promedio y estadísticos por categoría diamétrica para la variable volumen con corteza.

Categoría diamétrica (cm)	Número de datos	Suma (cm)	Media (cm)	Varianza	Desviación estándar	Coefficiente de variación (%)
7.5	3	0.0879	0.0293	$2.0 \times 10^{-5}$	$4.57 \times 10^{-3}$	15.59
10.0	4	0.1852	0.0463	$9.6 \times 10^{-5}$	$9.8 \times 10^{-3}$	21.17
12.5	14	1.3721	0.0980	$3.4 \times 10^{-4}$	0.0186	18.98
15.0	29	4.3028	0.1484	$4.5 \times 10^{-4}$	0.0213	14.35
17.5	25	4.8687	0.1947	$2.5 \times 10^{-3}$	0.0503	25.83
20.0	29	6.899	0.2379	$1.5 \times 10^{-3}$	0.0388	16.31
22.5	12	3.6270	0.3022	$3.6 \times 10^{-3}$	0.0605	20.02
25.0	9	3.305	0.3672	$6.9 \times 10^{-3}$	0.0834	22.71
27.5	6	2.5877	0.4313	$7.8 \times 10^{-3}$	0.0884	20.50
30.0	5	2.9029	0.5806	$9.0 \times 10^{-3}$	0.095	16.36
32.5	2	0.8167	0.4093	$9.6 \times 10^{-4}$	0.0311	7.60
35.0	1	0.66	0.66			

Cuadro 4. Valores promedio y estadísticos por categoría diamétrica para la variable volumen sin corteza.

Categoría diamétrica (cm)	Número de datos	Suma (cm)	Media (cm)	Varianza	Desviación estándar	Coefficiente de variación (%)
7.5	3	0.0697	0.0233	$1.2 \times 10^{-5}$	0.00347	14.96
10.0	4	0.1438	0.0360	$5.3 \times 10^{-5}$	$7.30 \times 10^{-3}$	20.28
12.5	14	1.107	0.0791	$2.1 \times 10^{-4}$	0.0145	18.33
15.0	29	3.4917	0.1204	$3.1 \times 10^{-4}$	0.0177	14.70
17.5	25	3.9724	0.1589	$1.9 \times 10^{-3}$	0.0441	27.75
20.0	29	5.6361	0.1943	$1. \times 10^{-3}$	0.0331	17.04
22.5	12	3.0264	0.2522	$2.9 \times 10^{-3}$	0.0538	21.33
25.0	9	2.8026	0.3114	$5.3 \times 10^{-3}$	0.0734	23.57
27.5	6	2.1835	0.3639	$4.5 \times 10^{-3}$	0.0664	18.25
30.0	5	2.4631	0.4926	$7.3 \times 10^{-4}$	0.0860	17.46
32.5	2	0.9937	0.4968	$4.6 \times 10^{-4}$	0.0216	4.35
35.0	1	0.547	0.547			

La muestra de 139 árboles se analizó con base en la varianza de la premuestra de las variables volumen con corteza y volumen sin corteza, a fin de conocer la confiabilidad y precisión utilizada en los datos (estimación de la media por categoría diamétrica); se probaron 11 modelos de regresión para la tabla de una entrada (Cuadro 5) y ocho para la tabla de dos entradas (Cuadro 6), mediante el programa estadístico DAYSY (Day-to-Day Resource Management System).

Cuadro 5. Prueba de modelos de regresión para la elaboración de tablas de volumen de una entrada de *E. camaldulensis* en Morelia, Mich.

Número de modelos	Modelos matemáticos	R Múltiple	Tabla de F
1	$V = a + b D$	0.9349	951.05
2	$Loc V 0 a + b (\log D)$	0.9349	1418.42
3	$Log V 0 a + b (D)$	0.9185	739.63
4	$V = a + b (\log D)$	0.8876	508.54
5	$V 0 a + b (\log D)$	0.8309	527.13
*6	$Log V = a + b (1/D^5)$	0.9585	1548.83
7	$V = a + b D^2$	0.9407	1054.17
8	$V^2 = a + b D$	0.8519	363.62
9	$V^2 a = +b D$	0.9013	592.87
10	$V = a + b CD^2$	0.9423	538.70
11	$V 0 a + CD^2 + dD^3$	0.9428	359.86

\*Modelo seleccionado

Cuadro 6. Prueba de modelos de regresión para la elaboración de tablas de volumen de dos entradas de *E. camaldulensis* en Morelia, Mich.

Número de modelos	Modelos matemáticos	R Múltiple	Tabla de F
1	$V = + b D^2 A$	0.9656	1888.42
2	$V = + CA + dD^2 A$	0.9694	702.29
3	$V = a + bd + cDA + dD^2 A$	0.9695	703.06
4	$V = a + bD + cDA + dD^2 + eA + ED^2A$	0.9702	426.00
5	$V = a + bD^2 + cD2A + Da2 + eDA$	0.9697	528.36
6*	$Log V = a + b \log D + c \log A$	0.9725	1186.00
7	$Log V = \log a + b \log(D^2 A)$	0.9711	2270.00
8	$Log V = \log a + b \log (A/D) + \log (D^2 A)$	0.9725	1186.91

\*Modelo seleccionado

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se determinó el tamaño de muestra con base en la variabilidad del volumen con corteza por categoría diamétrica, volumen que estima la media general con un 11.88% de precisión y una confiabilidad del 95%. Se observó un comportamiento de la precisión distinto por categoría diamétrica (Cuadro 7), es decir, en algunas categorías el tamaño de muestra fue mayor que el necesario y en otras eran indispensables más árboles para mantener un 10% de error. Sin embargo, esto no es posible debido a que la mayoría de los árboles son de la misma edad.

Cuadro 7. Determinación del tamaño de muestra con base en la variabilidad del volumen con corteza.

Categoría diamétrica (cm)	Volumen medio C.C. (m <sup>3</sup> )	Precisión actual (d) (m <sup>3</sup> )	Porcentaje con respecto a la media (m <sup>3</sup> )	Tamaño de muestra actual (n)
7.5	0.0293	0.0050	17.06	3
10.0	0.0463	0.0091	19.65	4
12.5	0.0980	0.0097	9.90	14
15.0	0.1484	0.0077	5.24	29
17.5	0.1947	0.0200	10.27	25
20.0	0.2379	0.0140	5.88	29
22.5	0.3022	0.0340	11.25	12
25.0	0.3672	0.0540	14.71	9
27.5	0.4313	0.0700	16.23	6
30.0	0.5806	0.0750	12.91	5
32.5	0.4093	0.0390	9.53	2
35.0*	0.6600			1
Suma	2.8450	0.3380	12.06	139

\*No se consideró en el análisis

Para el cálculo de tamaño de muestra se utilizó la fórmula

$$n = \frac{T^2 S^2 n}{d^2}$$

Donde:

$n$  = Tamaño de muestra

$T$  = 1.96 (tablas) – confiabilidad

$S^2$  = Varianza poblacional (premuestra)

$D^2$  = Precisión

Con la misma muestra de 139 árboles cubicados sin corteza, se determinó el tamaño de muestra con base en la variabilidad del volumen sin corteza para cada categoría diamétrica, donde se estimó la media general con un 8.34% de precisión y una confiabilidad de 95%. De igual manera, se observó un comportamiento diferente por categoría diamétrica (Cuadro 8).

Cuadro 8. Determinación del tamaño de muestra con base a la variabilidad del volumen sin corteza.

Categoría diamétrica (cm)	Volumen medio C.C. (m <sup>3</sup> )	Precisión actual (d) (m <sup>3</sup> )	Porcentaje con respecto a la media (m <sup>3</sup> )	Tamaño de muestra actual (n)
7.5	0.0232	0.0036	15.51	3
10.0	0.0360	0.0068	18.88	4
12.5	0.0791	0.0075	9.48	14
15.0	0.1204	0.0066	5.48	29
17.5	0.1589	0.0175	11.01	25
20.0	0.1943	0.0096	4.95	29
22.5	0.2522	0.0242	9.59	12
25.0	0.3114	0.0410	13.16	9
27.5	0.3639	0.0425	11.67	6
30.0	0.4926	0.0250	5.07	5
32.5	0.4968	0.0270	5.43	2
35.0*	0.5470			1
Suma	2.529	0.2110	9.38	139

El modelo seleccionado para construir la tabla de volumen de una entrada de volumen con corteza, fue resultado del ajuste de los datos de las variables diámetro normal con corteza en cm y volumen con corteza de fuste total en m<sup>3</sup>, con la siguiente ecuación de regresión:

$$\text{Log (volcc)} = 2.33303852 + (-16.670231 \times (1/D_s))$$

Este modelo presenta un coeficiente de determinación de  $r^2 = 0.9187$ , el cual indica un ajuste satisfactorio de los datos (Cuadro 9). También se consideraron para el mejor ajuste el coeficiente de correlación y el análisis de varianza de la regresión además de calcular y graficar los residuales para cada uno de los modelos.

Cuadro 9. Tabla de volumen de una entrada del volumen con corteza para *E. camaldulensis* en Morelia, Mich.

Diámetro (cm)	Volumen c.c. (m <sup>3</sup> )
7.5	0.023422
10.0	0.052942
12.5	0.092364
15.0	0.139290
17.5	0.191684
20.0	0.247947
22.5	0.306863
25.0	0.367509
27.5	0.429193
30.0	0.491391
35.0	0.677600

Modelo:  $\text{Log} (\text{VOL. CC}) = a + b 1/D_{.5}$

$$\text{Log} (\text{VOL CC}) = 2.33303852 + (-16.670231 \times (1/D_{.5}))$$

Tamaño de muestra = 139 árboles

$$R_{\text{múltiple}} = 0.9585 \quad R^2 = 0.9187 \quad F = 1548.84$$

Como resultado del ajuste de los datos de las variables diámetro normal sin corteza en cm y volumen sin corteza del fuste en m<sup>3</sup>, para elaborar la tabla de volumen de una entrada de volumen sin corteza se obtuvo el modelo de regresión siguiente:  $\text{log} (\text{vol.sc}) = 2.23521988 + (17.104967 \times (1/D_{.5}))$  (Cuadro 10), el cual presenta un coeficiente de determinación de  $r^2 = 0.9126$  que indica un ajuste correcto de los datos.

Cuadro 10. Tabla de volumen de una entrada del volumen sin corteza para *E. camaldulensis* en Morelia, Mich.

Diámetro (cm)	Volumen s.c. (m <sup>3</sup> )
7.5	0.018123
10.0	0.014184
12.5	0.074068
15.0	0.112902
17.5	0.266668
20.0	0.204019
22.5	0.253903
35.0	0.305516
27.5	0.358241
30.0	0.411607
35.0	0.572357

Modelo:  $\text{Log (VOL SC)} = a b 1/D_s$

$$\text{Log (VOL SC)} = 2.23521988 + (17.104867 \times (1/D_s))$$

Tamaño de muestra = 139 árboles

$R. \text{ múltiple} = 0.9953$   $R_2 = 0.9126$   $F = 1431.27$

El modelo obtenido para construir la tabla de volúmenes doble entrada de volumen con corteza, fue resultado del ajuste de los datos de las variables diámetro normal con corteza en cm, altura total del fuste en m y volumen con corteza de fuste total en m<sup>3</sup>, que tuvo como resultado el modelo de regresión siguiente:  $\text{Log (vol cc)} = -9.68805616 + 1.591185 \times \text{Log (D)} + 1.204418 \times \text{Log (H)}$  (Cuadro 11), que presenta un coeficiente de determinación alto ( $r^2 = 0.9458$ ), lo que indica un ajuste correcto de los datos contenidos para las variables antes mencionadas.



Cuadro 11. Tabla de volumen de dos entradas del volumen con corteza ( $m^3$ ) para *E. camaldulensis* en Morelia, Mich.

Clase diamétrica (cm)	Altura total (m)						
	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0	22.5	25.0
7.5	0.02451	0.03206	0.03994	0.04809	0.05649	0.06509	0.07390
10.0	0.03874	0.05068	0.63129	0.07601	0.08927	0.10288	0.11680
12.5	0.05525	0.07229	0.90003	0.10850	0.12732	0.14673	0.16698
15.0	0.07385	0.09662	0.12035	0.14490	0.17018	0.19612	0.22270
17.5	0.09438	0.12348	0.15380	0.18517	0.21748	0.25063	0.28454
20.0	0.11672	0.15271	0.19021	0.22901	0.26397	0.30997	0.35191
22.5	0.14078	0.18418	0.22941	0.27622	0.32441	0.37386	0.42444
25.0	0.16647	0.21780	0.27129	0.32663	0.38362	0.44209	0.50191
27.5	0.19373	0.25347	0.31571	0.38012	0.44650	0.51449	0.58410
30.0	0.22250	0.29111	0.36259	0.43657	0.51274	0.59089	0.67084
32.5	0.25272	0.33065	0.41184	0.49587	0.58239	0.67115	0.76196
35.0	0.28435	0.37203	0.46339	0.55793	0.65527	0.75515	0.85732

Modelo:  $\text{Log (VOL CC)} = a + b \text{Log } D + C \text{log } H$

$$\text{Log (VOL CC)} = -9.68805616 + 1.591185 \times \text{LOG (D)} + 1.204418 \times \text{Log (H)}$$

Tamaño de muestra = 139 árboles.

$$\text{Múltiple } r = 0.9725 \quad R^2 = 0.9458 \quad F = 1186.92$$

Para la tabla de volumen sin corteza de dos entradas, después de haber ajustado los datos de las variables diámetro normal sin corteza en cm, altura del fuste en m y volumen sin corteza del fuste total en  $m^3$  el modelo resultante fue el siguiente:  $\text{Log (VOL SC)} = (-10.254366) + 1.6025 \times \text{Log (D)} + 4.320357 \times \text{Log (H)}$  (Cuadro 12), el cual presenta un coeficiente de determinación también alto ( $r^2 = 0.9456$ ) e indica un ajuste correcto de los datos.

Cuadro 12. Tabla de volumen de dos entradas del volumen sin corteza (m<sup>3</sup>) para *E. camaldulensis* en Morelia, Mich.

Clase diamétrica (cm)	Altura total (m)						
	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0	22.2	25.0
7.5	0.01859	0.02496	0.03175	0.03892	0.04642	0.05423	0.06233
10.0	0.02948	0.03957	0.05035	0.06171	0.07370	0.08599	0.09883
12.5	0.04215	0.05669	0.07200	9.08824	0.10525	0.12296	0.14131
15.0	0.05645	0.07579	0.09642	0.11818	0.14096	0.16468	0.18926
17.0	0.07226	0.09702	0.12343	0.15129	0.18046	0.21083	0.24230
20.0	0.08951	0.12017	0.15288	0.18740	0.22352	0.26113	0.30011
22.5	0.10810	0.14514	0.18464	0.22632	0.26996	0.31538	0.36245
25.0	0.12798	0.17184	0.21860	0.26795	0.31961	0.37339	0.42912
27.5	0.14910	9.20019	0.25468	0.31217	0.37235	0.43501	0.49993.
30.0	0.17141	0.23014	0.29278	0.35887	0.43807	0.50609	0.57473
32.5	0.19487	0.26164	0.33285	0.40799	0.48665	0.56854	0.65339
35.0	0.21945	0.29463	0.37483	0.45944	0.54102	0.64023	0.73578

Modelo:  $LOG (VOL SC) = a + b \text{Log } D + C \text{Log } H$

$$\text{Log } (VOL SC) = -10.254366 + 1.6025 \times \text{Log } (D) + 4.320357 \times \text{Log } (H)$$

Tamaño de muestra = 139 árboles

Múltiple  $r = 0.9724$   $R^2 = 0.9456$   $F = 1182.43$

Estas tablas se obtuvieron alimentando el modelo en cada caso, a partir de un diámetro normal mínimo de 7.5 cm y alturas de fuste total cada 2.5 m desde una altura mínima de 10.0 m hasta un rango máximo para el diámetro normal sin corteza de 35.0 cm, y para la altura total del fuste de 25.0 m que fueron los valores máximos determinados.

En el caso de los ocho modelos de regresión que se probaron para la elaboración de las tablas de volúmenes de doble entrada para esta especie (Cuadro 6), el modelo  $\text{Log } V = a + b \text{Log } D + c \text{Log } A$ , así como el modelo  $\text{Log } V = \text{Log } a + b \text{log } (AD) + \text{log } (D^2A)$ , presentaron un coeficiente de determinación alto, sin embargo se eligió el primer modelo porque era el más sencillo.

## CONCLUSIONES

En trabajos posteriores sobre tablas de volumen se deberá utilizar un tamaño de muestra como mínimo de 10 árboles, por categoría diamétrica y altura.

El modelo de regresión que mejor se ajustó para elaborar las tablas de una y de doble entrada respectivamente fue el de  $\text{Log } V = a+b (1/D.5)$  y el de  $\text{Log } V = a+b \log D + C \log A$ , por presentar un coeficiente de determinación alto, con respecto a los demás modelos probados.

Estas tablas pueden aplicarse a plantaciones de la especie de interés donde se presenten condiciones similares de crecimiento, particularmente en el Municipio de Morelia, Mich.

## REFERENCIAS

- Assmann, E. 1970. The principles of forest yield study. Pergamon Press. 1970. 506 p.
- Avery, T.E. 1967 Forest measurements. McGraw Hill Book Company, New York USA. 290 p.
- Bruce, D. 1919. Alinement Charts in Forest Mensuration. Jour. Forestry 17. pp.773-801.
- Bruce, D. Y. and L. H. Reineke. 1932. Correlation alinement charts in forest research: a method of solving problems in curvilinear multiple correlation. USDA Technical Bulletin TB-210. 28 p.
- Chapman, H. H. 1924. Forest mensuration. John Wiley and Sons, Inc. New York. 557 p.
- Comisión Federal de Electricidad (CFE). 1994. Estudio geoeléctrico de resistividad realizado en terrenos del vivero forestal "Lázaro Cárdenas", Municipio de Morelia, Mich. 2 p.
- Caballero, D. M. 1972. Tablas y tarifas de volúmenes. SFF. México. Nota informativa No. 7. 30 p.
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. UNAM. México. 246 p.
- González, H. G. Evaluación del crecimiento de las plantaciones forestales de la cuenca de Coitzió. Comisión Forestal del Estado de Michoacán. Serie técnica reforestación, Bol. No. 17. 127 p.
- Husch, E., C.I. Miller, and T.W. Beers. 1972. Forest mensuration. The Ronald Press. New York; USA. 410 p.
- Instituto Forestal de Chile. 1965. Tablas de volumen para pino insigne (*Pinus radiata* D. Don). Boletín Técnico No. 2. 54 p.
- Spurr, H.S. 1952. Forest inventory. The Ronald Press Company. New York. 476 p.
- Ugalde, L.K. y O.T. Augusto. 1972. Tablas de volúmenes para *Eucalyptus*

*camaldulensis* en Nicaragua. Proyecto IRENA-CATIE-ROCAP. No. 59996-00089. 3 p.

- Ugalde, A. L. 1980. Rendimiento y aprovechamiento de dos intensidades de raleos selectivos en *Eucalyptus deglupta* Bl. en Turrialba, Costa Rica. Simposio Producción de madera en los neotrópicos por medio de plantaciones. IUFRO-MAB. Servicio Forestal. Río Piedras, Puerto Rico. 109-132 .