



MODELO PRELIMINAR DE CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE CIPRES (*Cupressus lusitanica* Miller) EN AMÉRICA CENTRAL

David Hughell¹
Eladio Chaves²

RESUMEN

Con base en datos de parcelas permanentes de crecimiento en Costa Rica, Guatemala y El Salvador, se desarrolló un modelo para predecir el crecimiento y rendimiento de *Cupressus lusitanica* Miller. Dicho modelo comprende una serie de ecuaciones para estimar, a nivel de rodal, el número de árboles, el crecimiento en área basal y la altura media y permite confeccionar tablas de rendimiento para sitios medios, simulando diferentes programas de aclareo.

INTRODUCCION

Cupressus lusitanica Miller (ciprés), es una especie arbórea importante para proyectos de reforestación en las zonas altas de América Central. Los árboles alcanzan alturas superiores a los 30 metros y diámetros de hasta un metro y producen madera para aserrió.

El ciprés se adapta fácilmente a una amplia gama de condiciones ambientales, sin embargo, debido a sus características de crecimiento es recomendable que sea cultivado en altitudes entre 1500 y 2500 msnm; con precipitaciones anuales entre 1000 y 3000 mm; temperatura promedio anual superior a los 12°C y en suelos con un adecuado drenaje.

El objetivo de este estudio es desarrollar un modelo matemático que permita confeccionar tablas de rendimiento de acuerdo con diferentes programas de aclareo.

METODOLOGIA

La metodología empleada para llegar al modelo, fue la construcción de una serie de ecuaciones para describir el desarrollo de los diferentes parámetros de la masa forestal (supervivencia, altura, área basal, volumen) para incorporarse en un modelo de simulación. Hughell (en prensa) describe en detalle esta metodología.

Se utilizaron las parcelas de la red de ensayos y parcelas de crecimiento establecidos por los Proyectos Leña y fuentes alternas de energía (LEÑA) y Cultivo de árboles de uso múltiple (MADELEÑA) en la región centroamericana y de parcelas establecidas por la Universidad Nacional de Costa Rica (Chaves, 1989). Estos dos grupos de datos comprenden un total de 24 parcelas en Costa Rica, 22 parcelas en Guatemala y 13 parcelas en El Salvador.

RESULTADOS

Para el desarrollo del modelo, se utilizaron los datos resumidos por medición y parcela almacenados en el sistema "Manejo de Información sobre Recursos Arbóreos" (MIRA), los cuales fueron depurados para eliminar datos inconsistentes. Se empleó la ecuación de Chinchilla (1990) (Ecuación 1), para estimar el índice de sitio para cada parcela. En el Cuadro 1, se muestran las variables analizadas y el ámbito de valores representados en los datos de resúmenes por medición.

$$\ln(IS) = 5,608 + (\ln(Hd) - 5,608) (E/EB)^{0,229} \quad (1)$$
$$R^2 = 0,90 \quad n = 111$$

Donde: IS = el índice de sitio, Hd = altura dominante, EB = edad base de 20 años y E = edad de la medición

1 Especialista en el Manejo de Información Forestal, Proyecto Cultivo de Árboles de Uso Múltiple (MADELEÑA), CATIE, Turrialba, Costa Rica.
2 Profesor, Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica.

Cuadro 1. Ambito de las variables incluidas en los resúmenes por medición para parcelas de *Cupressus lusitanica* Miller en América Central.

Variable	Ambito		
	Promedio	Mínimo	Máximo
E = edad (años)	12,1	1,0	22,1
NI = N inicial (N/ha)	1507	1280	2500
NA = N actual (N/ha)	1182	440	2500
D = dap (cm)	17,7	1,7	31,6
H = altura media (m)	8,1	1,1	21,8
Hd = alt. dominante (m)	16,0	1,3	24,3
G = área basal (m ² /ha)	23,4	0,6	41,4
IS = índice de sitio (m)	21,6	13,0	26,5

NI = densidad inicial (árboles plantados por ha)

NA = número de árboles actual (árboles vivos por ha)

Se emplearon regresiones curvilíneas y no lineales para obtener la serie de ecuaciones que describen el desarrollo de los diferentes componentes de la masa forestal (número de árboles vivos, área basal y la altura) con el tiempo. Estas ecuaciones se presentan en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Serie de ecuaciones que comprende el modelo global para predecir el crecimiento y rendimiento de *Cupressus lusitanica* Miller en América Central

$$\text{Volumen total sin corteza}^* \\ v = -0,01347 + 0,00002891 (d^2 h) \quad (2)$$

$$\text{N número de árboles} \\ NA = 0,960 NI \quad (3)$$

$$\text{Altura media } n = 62 \quad R^2 = 0,94 \\ H = 26,0 (1 - \exp(-0,06448 E))^{1,2059} \\ (0,00503)^E (0,0903)^{**} \quad (4)$$

$$\text{ICA en área basal } n = 64 \quad R^2 = 0,94 \\ ICA = 3,275 G^{0,7993} - 1,682 G \quad (5)$$

* Fuente: Peters (1977)
v = volumen comercial sin corteza hasta un diámetro mínimo de utilización de 10 cm (m³/árbol)
d, h = dap (cm) y altura del árbol (m)
ICA = incremento corriente anual en área basal (m²/ha)

Las otras variables están definidas en el Cuadro 1.

La ecuación para estimar el volumen comercial fue tomada de Peters (1977). La ecuación para estimar el número de árboles actuales (Ecuación 3) se determinó con base en la supervivencia promedio hasta los ocho años (la edad del primer raleo); la ecuación para estimar la altura (Ecuación 4) es la ecuación de rendimiento de Richards (1959) con una asíntota (altura máxima) dada de 26,0 m.

Para estimar el incremento corriente anual en área basal (ICA) se aplicaron las ecuaciones simultáneas de crecimiento y rendimiento de Richards (1959). Los coeficientes de la ecuación de rendimiento de Richards (Ecuación 6) fueron estimados mediante una regresión no lineal, y los coeficientes de la ecuación de crecimiento (Ecuaciones 5 y 7) fueron calculados de acuerdo con la relación entre las ecuaciones de crecimiento y rendimiento (Ecuaciones 8 y 9). El documento de Hughell (en prensa) describe en detalle el manejo de estas ecuaciones.

$$G = A (1 - \exp(-k E))^{1/(1-m)} \quad (6)$$

$$A = 27,68 \quad (0,830)^{**}$$

$$k = 0,3375 \quad (0,057)$$

$$m = 0,7993 \quad (0,268)$$

$$ICA = c1 G^m - c2 G \quad (7)$$

$$c2 = k / (1-m) \quad (8)$$

$$c1 = A^{(1-m)} c2 \quad (9)$$

La contribución del índice de sitio para la estimación del área basal resultó no significativa y, por lo tanto, este parámetro no fue incluido en las ecuaciones para estimar tanto el área basal como la altura. Asimismo, como el ámbito de densidades de plantación (N inicial) fue muy reducido, tampoco este parámetro fue incluido en las ecuaciones para área basal y altura.

Tabla de rendimiento

Para incorporar las ecuaciones al modelo de simulación y confeccionar tablas de rendimiento, de acuerdo con diferentes programas de aclareos, se utilizó la hoja electrónica "Lotus 123". El Cuadro 3 presenta un ejemplo de una tabla de rendimiento generada con este modelo.

Este, se considera un modelo de simulación, ya que el desarrollo de la masa forestal en el tiempo se basa en el incremento en área basal (ICA) que se va agregando por interacciones (una para cada año) al área basal del año anterior. Para iniciar el modelo se utilizó el área basal promedio a los ocho años (18,8 m²/ha).

** Los valores entre paréntesis corresponden al error estándar del coeficiente.

Cuadro 3. Tabla de rendimiento preliminar de *Cupressus lusitanica* Miller para sitios medios y una densidad inicial de 1111 árboles por hectárea en América Central.

Edad (años)	Árboles remanentes					Árboles extraídos				Todos los árboles		
	N (N/ha)	D (cm)	H (m)	G (m ² /ha)	Vol (m ³ /ha)	N (N/ha)	G (m ² /ha)	D (cm)	V (m ³ /ha)	V.Acum (m ³ /ha)	IMA (m ³ /ha)	ICA (m ³ /ha)
8	637	16,8	8,7	14,2	53,9	430	7,2	14,6	28,8	82,7	10,3	15,3
12	637	22,0	12,3	24,2	118,3					147,1	12,3	14,2
16	387	24,5	15,3	18,2	107,5	250	8,8	21,1	52,7	189,1	11,8	8,7
20	387	29,0	17,6	25,5	170,5					252,0	12,6	11,6
24	237	31,6	19,5	18,5	136,0	150	8,7	27,2	64,6	282,1	11,8	5,8
28	237	37,1	20,9	25,6	200,2					346,2	12,4	10,8
30	237	37,8	24,7	26,7	215,1					361,2	12,0	6,6

V.Acum = volumen acumulado (árboles remanentes mas árboles extraídos)
 IMA = Incremento medio anual en volumen
 ICA = Incremento corriente anual en volumen
 Las otras variables están definidas en Cuadro 1.

El programa de aclareo se define especificando la edad y la intensidad, en términos del número de árboles extraídos por hectárea, y la razón de aclareo (RA) para cada intervención. La razón de aclareo (Ecuación 10) representa la relación entre el tamaño de los árboles, antes y después del aclareo (Alder, 1980). Manipulando algebraicamente esta ecuación, se obtiene una para estimar el área basal después del aclareo (Ecuación 11).

$$RA = \frac{(D \text{ antes del aclareo})^2}{(D \text{ después del aclareo})^2} \quad (10)$$

$$G \text{ después} = \frac{(N \text{ después}) (G \text{ antes})}{(N \text{ antes}) (RA)} \quad (11)$$

D = dap promedio
 N = número de árboles
 RA = razón de aclareo

Una vez que se tiene el número de árboles y el área basal, antes y después del aclareo, se puede calcular el área basal de los árboles extraídos, el dap promedio de los árboles remanentes, de los árboles extraídos y el volumen.

La tabla de rendimiento del Cuadro 3 se calculó para una densidad inicial de 1111 árboles por hectárea (espaciamiento 3m x 3m) y para una calidad de sitio medio (Índice de sitio de 21,5 a una edad base de 20 años). El programa de aclareos es el recomendado por los autores para la producción de leña y madera de aserrío con un turno de 30 años. Por falta de datos empíricos, fue seleccionada una razón de aclareo de 0,9 para todas las intervenciones. Las Figuras 1 y 2 demuestran el desarrollo de los diferentes componentes de la masa forestal con la edad. Cabe indicar que para

presentar todo el turno de la especie, fue necesario extrapolar los valores de la tabla de rendimiento dado que no existió representación de las edades mayores de 22 años en la muestra.

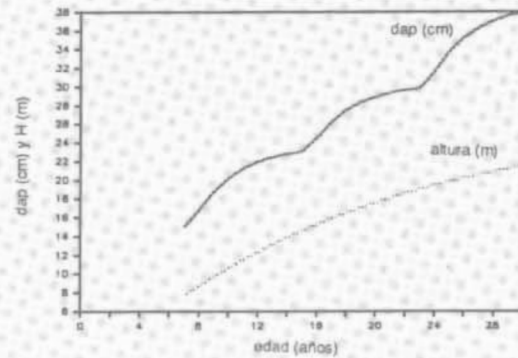


Figura 1. Desarrollo del dap y altura de *Cupressus lusitanica* Miller de acuerdo con la edad y programa de aclareo recomendado.

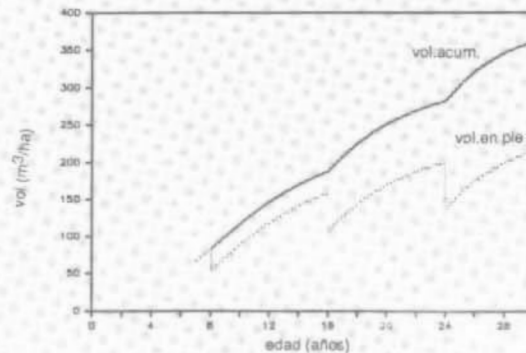


Figura 2. Rendimiento en volumen de la masa remanente y volumen acumulado de *Cupressus lusitanica* Miller de acuerdo con la edad y programa de aclareo recomendado.

PERSONAL TECNICO DEL CATIE/PROYECTO MADELEÑA*

JEFATURA

Rodolfo Salazar, Ph.D. Líder Regional
Douglas Asch, Sr. Administración

SILVICULTURA

Miguel Musálem, Ph.D. Silvicultor Principal
David Hughell, M.Sc. Modelación
William Vásquez, M.Sc. Silvicultura
Luis Ugalde, Ph.D. Manejo de Información

SOCIOECONOMIA

Thomas McKenzie, M.Sc. Economista Principal
Dean Current, M.Sc. Socioeconomía/Manejo de Información

Carlos Reiche, M.Sc. Economía
Manuel Gómez, M.Sc. Economista Asistente

EXTENSION

Carlos Rivas, M.Sc. Extensionista Principal
Héctor Chavarría, Lic. Extensionista Asistente
Ana Loaiza Bch. Diseño Gráfico

PAISES

GUATEMALA
Carlos Figueroa, M.Sc. Coordinador Nacional
Eberto de León, Lic. Economía

HONDURAS

Rolando Ordoñez, Das. Coordinador Nacional
Juan Pastora, Lic. Economía

EL SALVADOR

Hugo Zambrana, M.Sc. Coordinador Nacional
Modelo Juárez, M.Sc. Economía

COSTA RICA

Carlos Navarro, M.Sc. Coordinador Nacional
Fabian Salas, Ing. Economía

PANAMA

Bias Morán, Ing. Coordinador Nacional
Rafael Trado, Lic. Economía
Sebastián Sutherland, Das. Silvicultura

* Madeleña es un proyecto de investigación, capacitación y diseminación del cultivo de árboles de uso múltiple en América Central y Panamá. Es financiado por AID/ROCAP, y ejecutado por INRENARE de Panamá, DGF de Costa Rica, CONDEFOR de Honduras, CENREN de El Salvador, DIGEBOS de Guatemala con la coordinación regional del CATIE.

CONCLUSIONES

1. A pesar del grupo limitado de datos de crecimiento, se logró desarrollar una serie de ecuaciones que describen el desarrollo de los diferentes parámetros de la masa forestal, las cuales, incorporadas en un modelo de simulación permiten generar tablas preliminares de rendimiento de *Cupressus lusitanica* en América Central.
2. Los crecimientos de 1,2 cm en dap y 0,9 m en altura a los 20 años, coinciden con los resultados encontrados en otros estudios (Del Valle, 1975).
3. El modelo permite simular diferentes programas de aclareo, tomando en cuenta la diferencia entre los árboles extraídos y remanentes, con la razón de aclareo, y simulando un aumento en el crecimiento en área basal como respuesta del mismo.
4. La aplicación del modelo solamente es válida para sitios medios y alrededor de 1100 árboles por hectárea. Por no contar con datos que cubran adecuadamente un ámbito amplio de diferentes calidades de sitio y densidades de plantación.
5. La confiabilidad del modelo disminuye si se aplica el modelo fuera de los ámbitos de calidad de sitio, densidad de plantación, edad, dap y altura representados en la muestra de datos analizados.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda la continuación de la medición de las parcelas de crecimiento y el establecimiento de nuevas parcelas, especialmente con diferentes calidades de sitios y edades mayores. Esto permitirá incorporar el índice de sitio dentro del modelo.
2. Se recomienda la incorporación de datos de plantaciones establecidas en otros países de América Central, para obtener un modelo con aplicación más amplia.
3. Se recomienda aprovechar los datos provenientes de análisis de fuste para mejorar el modelo.

AGRADECIMIENTO

Se agradece a los técnicos de las instituciones nacionales forestales de la región centroamericana, quienes ayudaron en el establecimiento, mantenimiento y medición de las parcelas de crecimiento.

LITERATURA CITADA

- ALDER, D. 1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento. FAO/MONTES, V. 22/2. 193 p.
- CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA. 1986. Silvicultura de especies promisorias para producción de leña en América Central: resultados de cinco años de investigación. CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico no. 86. 228 p.
- CHAVES, E. 1989. Ensayo de aclareo en plantaciones de ciprés (*Cupressus lusitanica*) en Cartago, Costa Rica. Guía Agropecuaria de Costa Rica 7(13):58-60.
- CHINCHILLA, O. 1990. Ciprés (*Cupressus lusitanica* M.) en la zona de distribución artificial en Costa Rica. Tesis. Heredia, C.R. Universidad Nacional. 84 p.
- HUGHELL, D.A. En prensa. Manual para el desarrollo de modelos para la predicción del crecimiento y rendimiento de árboles de uso múltiple. En prensa. Informe Técnico. CATIE, Proyecto Madeleña.
- RICHARDS, F.J. 1959. A flexible growth function for empirical use. Journ. of Exper. Botany. (G.B.) 10(29):290-300.
- PETERS, P. 1977. Tablas de volumen para las especies coníferas de Guatemala. Proyecto PNUD/FAO/GUA/22 p. 29-42.
- VALLE, J.I. DEL. 1975. Crecimiento y rendimiento de *Cupressus lusitanica* Mill. en Antioquia, Colombia, utilizando parcelas permanentes. Tesis M.Sc. Turrialba C.R. CATIE 120 p.

SILVOENERGIA No.38, Diciembre de 1990, CATIE 7170, Turrialba, Costa Rica Edición: /E.Hidalgo de Caviedes / Diseño y Montaje: Ana Loaiza / Levantado de Texto: Kathia Ramos / Este trabajo fue escrito por: D. Hughell y E. Chaves/ Revisores: L. Ugalde, W. Vásquez y M. Musálem/ Publicación patrocinada por el Proyecto Cultivo de Árboles de Uso Múltiple (MADELEÑA) / CATIE/ROCAP 596 - 0117. / Edición de 1500 ejemplares.