



SILVOENERGIA



No. 42

Abril, 1991

MODELO PRELIMINAR DE CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE *Casuarina cunninghamiana* Miq. EN COSTA RICA, GUATEMALA, HONDURAS Y PANAMA*

José Anibal Marchena¹
David Hughell²
Miguel Angel Musálem³

RESUMEN

Con base en los datos de 28 parcelas de *Casuarina cunninghamiana* Miq., fueron desarrollados modelos matemáticos para predecir el crecimiento y rendimiento de la especie, hasta la edad de cinco años, en América Central.

El índice de sitio se estimó mediante el método de la curva guía con la regresión jerárquica y la ecuación de Schumacher. La altura y el diámetro se estimaron usando el modelo logarítmico en función del índice de sitio y la edad. Se incorporó esta serie de ecuaciones a un modelo global, el cual, con la aplicación de la hoja electrónica, permitió la confección de tablas de rendimiento.

Se encontró una altura dominante de 10, 8 y 6 m para la edad base de cinco años. En sitios promedios ($IS = 8$ m) y a una densidad de plantación de 2500 árboles/ha, a los cinco años de edad, la especie presenta un rendimiento en peso seco de leña de 27,6 tm/ha.

Este modelo se considera preliminar y aplicable sólo dentro del rango de los datos utilizados para generarlo. Se recomienda validar y reajustar el modelo una vez que se tenga mayor número de datos.

INTRODUCCION

La casuarina (*Casuarina cunninghamiana* Miq.) es un árbol nativo del este y norte de Australia, desde el norte de Queensland y el Territorio del Norte, hasta el sur de Nueva Gales del Sur. Fue introducida en las regiones tropicales y subtropicales de América del Sur, sur de los Estados Unidos, África del Sur y Hawaii (CATIE, 1986).

En Australia, la *Casuarina cunninghamiana* Miq. es la especie del género que alcanza el mayor tamaño, obteniendo 20 a 35 m de altura y 0,5 a 1,5 m de diámetro (Doran y Hall, 1983). Es un árbol siempreverde, de base ensanchada y sistema radicular poco profundo y bastante amplio. El fuste es recto, con numerosas ramas curvadas hacia abajo que forman una copa irregular y poco densa.

La especie crece en zonas con temperatura promedio anual entre 13° y 27°C y puede soportar hasta 50 heladas por año; en América Central se ha plantado en sitios con precipitación entre 900 y 2800 mm anuales y elevación entre 700 y 1200 msnm con resultados aceptables (CATIE, 1986).

Crece en una gama amplia de suelos, desde limosos de aluvión, hasta gravilimosos, incluyendo suelos pobres y sitios erosionados (CATIE, 1986). La especie tolera el viento fuerte, caliente y salino y su hábito de crecimiento hace aceptable su uso en cortinas rompeviento (Mendoza, 1983).

La madera, con una densidad de 0,8 a 0,9 g/cm³, es excelente para leña. En Argentina se ha recomendado su uso en entarimados, cajas de empaque y enchapados. En Australia, en las áreas de pastoreo, los árboles jóvenes deben protegerse del ganado; además, en tiempos secos el follaje es utilizado como forraje. El hábito de crecimiento de la especie la hace recomendable para usos ornamentales y para protección contra el viento, fajas de protección y protección de los bancos de río. También es recomendable para la estabilización de dunas (Turnbull, 1986).

METODOLOGIA

La unidad básica de información para desarrollar los modelos, son resúmenes confeccionados por medición y por parcela, los cuales han sido generados, con los datos de mediciones, por el sistema MIRA (Manejo de Información sobre Recursos Arbores), del Proyecto Cultivo de Árboles de Uso Múltiple (MADELEÑA) del CATIE. Las 28 parcelas de crecimiento utilizadas, comprenden 11 parcelas en Costa Rica, una en Guatemala, 14 en Honduras y dos en Panamá.

Para desarrollar el modelo de predicción del crecimiento y rendimiento se utilizó la metodología que consiste, principalmente, en la construcción de una serie de ecuaciones para describir el desarrollo de los diferentes parámetros de la masa forestal (diámetro, altura, volumen, mortalidad), con base en el índice de sitio y la densidad de plantación (Hughell, 1990, en prensa). El objetivo principal del modelo es la confección de tablas de rendimiento para diferentes calidades de sitio y densidad de plantación.

RESULTADOS Y DISCUSION

Datos de resúmenes por medición

En el Cuadro 1 se presenta el ámbito de valores de las variables depuradas, incluidas en los resúmenes por medición por parcela de la especie en América Central. Se observa que la edad máxima de las parcelas es de 80 meses; el promedio de la densidad inicial y la actual es muy similar, resultando en una supervivencia promedio alta, de 86%; el diámetro y la altura promedio son 3,7 cm y 4,1 m, respectivamente; la altura dominante promedio es de 5,3 m.

* Parte de la tesis del primer autor, para optar por el título de Magister Scientiae del CATIE, octubre, 1990.

¹ Estudiante del Programa de Posgrado del CATIE. Actualmente Encargado de la Unidad Regional de Recursos Naturales, Secretaría de Estado de Agricultura, República Dominicana.

² Especialista en Manejo de Información Forestal. Proyecto Cultivo de Árboles de Uso Múltiple, CATIE. Turrialba, Costa Rica.

³ Silvicultor Principal. Proyecto Cultivo de Árboles de Uso Múltiple, CATIE. Turrialba, Costa Rica.

PROYECTO CULTIVO DE ARBOLES DE USO MULTIPLE
CATIE-ROCAP 596-0117 Turrialba, Costa Rica

Fuera del ámbito de los valores indicados en el Cuadro 1, el modelo no tiene validez.

Cuadro 1. Ambito de las variables incluidas para los resúmenes por medición para las parcelas de *Casuarina cunninghamiana* Miq. en América Central.

Variable	Ambito		
	Promedio	Mínimo	Máximo
Indice de sitio (m)	8,1	4,6	14,0
Edad (meses)	36,5	12,0	80,0
N _{inicial} (n/ha)	2847,0	1600,0	4444,0
N _{actual} (n/ha)	2451,0	278,0	4444,0
N _{sej} (n/ha)	2549,0	278,0	5000,0
Supervivencia (%)	86,0	64,0	100,0
dap (cm)	3,7	1,3	11,1
Altura (m)	4,1	0,8	11,5
Altura dominante (m)	5,3	1,3	14,1

Estimación de la producción en volumen y biomasa de árboles individuales

La producción en volumen y biomasa fue estimada en función del diámetro y la altura, aplicando las ecuaciones desarrolladas por Marchena (1990) para la especie *Casuarina equisetifolia*, las que se presentan en el Cuadro 2 (Ecuaciones 1 y 2).

Estimación directa del índice de sitio

Dentro del método de la **curva guía** descrito por Alder (1980), se seleccionó el modelo "a común" (Ecuación 3, Cuadro 2). La Figura 1 muestra el desarrollo de la altura dominante correspondiente a las curvas de IS de 10, 8 y 6 m para la edad base de cinco años. Estos valores de IS fueron seleccionados para representar sitios muy buenos, buenos y regulares, relativos a los valores de las parcelas estudiadas.

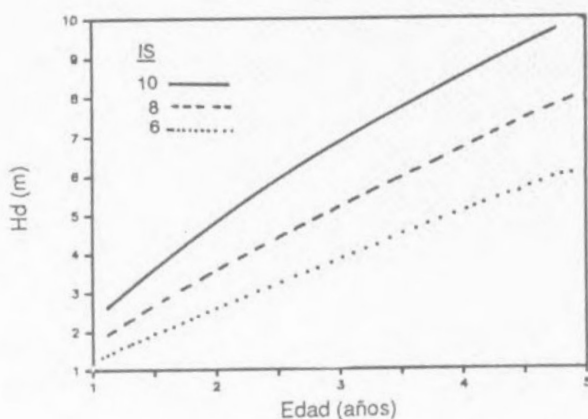


Figura 2. Rendimiento de peso seco de leña de *Casuarina cunninghamiana* Miq. para los índices de sitio de 10, 8 y 6 m a la edad base de cinco años y densidad de plantación de 2500 árboles/ha en América Central.

Para estimar el IS de cualquier plantación de esta especie, se utiliza la altura dominante y la edad de la plantación y se sustituyen en la ecuación 3 o se utiliza la Figura 1 para una estimación rápida.

Cuadro 2. Serie de ecuaciones que comprende el modelo global para predecir el crecimiento y rendimiento de *Casuarina cunninghamiana* Miq. en América Central.

Parámetro	Ecuación
Vol. total con corteza por árbol (m ³)	$\ln(\text{Vol}) = a + b \cdot \ln(\text{dap}) + c \cdot \ln(h)$ (1)** a=-9,0882 R ² =0,97 b=1,5402 (0,1055)* n=96 c=0,9755 (0,1466)
Peso seco biomasa leñosa por árbol (kg)	$\ln(\text{PSL}) = a + b \cdot \ln(\text{dap}) + c \cdot \ln(h)$ (2)** a=-1,3471 R ² =0,94 b= 1,6990 (0,0689) n=126 c=0,3949 (0,0994)
Estimación del índice de sitio (modelo "a común")	$\ln(\text{IS}) = a + [\ln(\text{Hdom}) - a] \cdot (\text{edad} / \text{edad base})^k$ (3) a= 5,1152 edad base=60 meses b=-6,7658 R ² =0,93 k= 0,2 n=86
Estimación del número de árboles por hectárea (N _{actual})	$N_{\text{actual}} = a \cdot N_{\text{inicial}}$ (4) a=0,86
Estimación de la altura media (m)	$\ln(h) = a + b \cdot \ln(\text{edad}) + c \cdot \ln(\text{IS})$ (5) a=-2,8210 (0,2442)* R ² =0,79 b=0,7475 (0,0470) n=86 c=0,7457 (0,0752)
Estimación del dap (cm)	$\ln(\text{dap}) = a + b \cdot \ln(\text{edad}) + c \cdot \ln(\text{IS})$ (6) a=-5,1178 (0,3423) R ² =0,81 b=1,1623 (0,0659) n=86 c=1,0760 (0,1054)

- Vol = volumen con corteza por árbol (m³)
- PSL = peso seco de biomasa leñosa por árbol (kg)
- IS = índice de sitio (m)
- N_{actual} = densidad actual
- h = altura media (m)
- N_{inicial} = densidad inicial
- Hdom = altura dominante (m)
- ln = logaritmo natural
- R² = coeficiente de determinación
- n = número de observaciones
- dap = diámetro a la altura del pecho (cm)
- edad = edad de las parcelas (meses)
- edad base = edad base para calcular el índice de sitio
- a, b, c y k = coeficientes estimados por la regresión
- AB = Area basal en m²/ha
- ICA = Incremento corriente anual
- IMA = Incremento medio anual

* El valor en paréntesis es el error estándar del coeficiente
** Ecuaciones de *Casuarina equisetifolia* Forst y Forst aplicables a *C. cunninghamiana* Miq. (Marchena, 1990)

Ecuaciones para estimar los parámetros de la masa forestal

Número de árboles por hectárea. Se utilizó la supervivencia promedio para las 28 parcelas de la especie, que fue de 86%.

Este valor se dejó constante para los demás años, ya que la mortalidad es muy poca y ocurre, principalmente, durante el primer año. Se seleccionó la Ecuación 4 (Cuadro 2) para describir este comportamiento.

Altura media y diámetro. Para estimar la altura media y el diámetro, en función de la edad y del índice de sitio, fueron seleccionados los modelos logarítmicos (Ecuaciones 5 y 6) que aparecen en el Cuadro 2.

Tablas de rendimiento. El conjunto de las ecuaciones del Cuadro 2 permite confeccionar tablas de rendimiento. Las tablas fueron hechas para plantaciones de hasta cinco años de edad, ya que solamente esta edad está bien representada en la muestra de datos (Figura 1). También, fueron confeccionadas para una densidad de 2500 árboles/ha, por ser la más representada en todas las parcelas. Asimismo, para el IS, se consideró el ámbito encontrado en los datos para esta variable y se eligió un valor alto, uno intermedio y otro bajo (10, 8 y 6 m). El Cuadro 3 muestra las tablas de rendimiento en volumen (m^3/ha) y leña seca (tm/ha) y la Figura 2, muestra el rendimiento de peso seco de leña para tres índices de sitio (10, 8 y 6 m) y una densidad de plantación de 2500 árboles/ha.

Cuadro 3. Tablas preliminares de rendimiento para tres de sitio de *Casuarina cunninghamiana* Miq. en América Central.

IS = 10 $N_{inicial} = 2500$								
Edad (años)	N (N/ha)	dap (cm)	h (m)	AB (m^2/ha)	VOL (m^3/ha)	PSL (tm/ha)	ICA (tm/ha)	IMA (tm/ha)
1	2150	1,2	2,1	0,28	0,74	1,1	1,1	1,1
2	2150	2,	3,5	1,39	4,26	5,5	4,4	2,8
3	2150	4,5	4,8	3,56	11,82	13,9	8,4	4,6
4	2150	6,4	5,9	6,96	24,24	26,7	12,8	6,7
5	2150	8,3	7,0	11,69	42,81	44,3	17,6	8,9

IS = 8 $N_{inicial} = 2500$								
Edad (años)	N (N/ha)	dap (cm)	h (m)	AB (m^2/ha)	VOL (m^3/ha)	PSL (tm/ha)	ICA (tm/ha)	IMA (tm/ha)
1	2150	1,0	1,8	0,17	0,44	0,7	0,7	0,7
2	2150	2,2	3,0	0,86	2,50	3,4	2,7	1,7
3	2150	3,6	4,0	2,21	6,94	8,6	5,2	2,9
4	2150	5,0	5,0	4,30	14,33	16,6	8,0	4,2
5	2150	6,5	5,9	7,23	25,14	27,6	11,0	5,5

IS = 6 $N_{inicial} = 2500$								
Edad (años)	N (N/ha)	dap (cm)	h (m)	AB (m^2/ha)	VOL (m^3/ha)	PSL (tm/ha)	ICA (tm/ha)	IMA (tm/ha)
1	2150	0,7	1,4	0,09	0,22	0,4	0,4	0,4
2	2150	1,6	2,4	0,46	1,26	1,9	1,5	0,9
3	2150	2,6	3,3	1,19	3,50	4,7	2,8	1,6
4	2150	3,7	4,0	2,32	7,22	9,0	4,3	2,3
5	2150	4,8	4,8	3,89	12,66	15,0	5,9	3,0

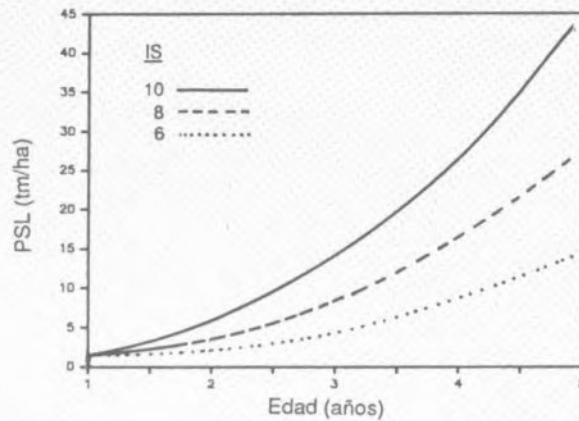


Figura 2. Rendimiento de peso seco de leña de *Casuarina cunninghamiana* Miq. para los índices de sitio de 10, 8 y 6 m a la edad base de cinco años y densidad de plantación de 2500 árboles/ha en América Central.

Verificación del modelo

La falta de datos impidió realizar una validación del modelo utilizando datos independientes, por lo que se realizó una verificación con los mismos datos utilizados para la construcción del modelo. Las estadísticas del Cuadro 4 corresponden a la diferencia entre el valor observado (real) y el valor calculado (predicho) con el modelo. La precisión para estimar el crecimiento de parcelas individuales es adecuada, ya que los coeficientes de variación (cv) de 16 a 39% son aceptables. Sin embargo se encontró poca precisión en la estimación del peso seco de leña, que resultó de 68%.

Cuadro 4. Resultado de la verificación de los modelos para estimar la altura, el diámetro y el peso seco de leña de *Casuarina cunninghamiana* Miq. en América Central.

Estadística*	Parámetros del crecimiento			
	N_{actual} (N/ha)	Altura (m)	dap (cm)	PSL (tm/ha)
Tamaño de la muestra	86	86	86	86
Promedio	-16,6	-0,2	-0,3	-0,9
Desviación estándar	420,7	1,0	1,4	5,0
cv(%)	16	27	39	68

* Las estadísticas corresponden a las diferencias entre el valor calculado y el valor observado.

PSL = peso seco de leña

cv = coeficiente de variación = desviación estándar de la diferencia, dividido entre el valor medio.

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 Paslora, Lic. Economía

EL SALVADOR

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

COSTA RICA

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

PANAMA

Blás Morán, Ing. Coordinador Nacional
Rafael Tirado, Lic. Economía
Sebastián Sutherland, Das. Silvicultura

* Madeleña es un proyecto de investigación, capacitación y disseminación 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, COHDEFOR de Honduras, CENREN de El Salvador, DIGEBOS de Guatemala con la coordinación regional del CATIE.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. La mortalidad observada ocurrió, principalmente, durante el primer año. La supervivencia promedio de las parcelas es de 86%.
2. Se encontró un índice de sitio de 10, 8 y 6 m para la edad base de cinco años. Estos índices representan los sitios muy buenos, buenos y regulares, respectivamente.
3. El ajuste de los modelos logarítmicos a los datos de la especie para la estimación de la altura media y el diámetro, en función de la edad y el índice de sitio, fue adecuado, hasta los cinco años de edad.

Recomendaciones

1. Este modelo debe considerarse como un modelo preliminar, debido a que no se contó con suficientes datos para validarlo.
2. Se recomienda la obtención de datos independientes de los utilizados en este estudio, con la finalidad de realizar la validación y reajuste de las ecuaciones utilizadas.
3. Hay que continuar con las mediciones, la instalación de nuevas parcelas permanentes y la incorporación de las experiencias obtenidas por otras instituciones, con la finalidad de mejorar la información y exactitud de los análisis de este y otros estudios posteriores.
4. Se debe obtener más información sobre la estimación del índice de sitio con base en factores ambientales, con la finalidad de desarrollar un modelo que sea aplicable a las condiciones de campo en que se encuentra creciendo la especie en América Central.

SILVOENERGIA No.42, Abril de 1991, CATIE 7170, Turrialba, Costa Rica Edición: /E.Hidalgo de Caviedes / Diseño y Montaje: Ana Loaiza / Levantado de Texto: Marcia Pacheco / Este trabajo fue escrito por: J. Marchena/ D. Hughell y M. Musálem / Revisores: L. Ugalde, W. Vásquez y M. Musálem/ Publicación patrocinada por el Proyecto Cultivo de Arboles de Uso Múltiple (MADELEÑA) / CATIE/ROCAP 596 - 0117. / Edición de 1500 ejemplares.

LITERATURA CITADA

- ALDER, D. 1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento, con referencia especial a los trópicos. FAO: Montes no. 22, vol. 2. 80p.
- 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. 222p.
- DORAN, J.; HALL, N. 1983. Notes on 15 Australian casuarina species. In Casuarina Ecology Management and Utilization, an International Workshop (1981, Canberra, Australia). Proceedings. Ed. by S.J. Midgley; J.W. Turnbull; R.D. Johnston. Australia, CSIRO. p. 19-52.
- HUGHELL, D. 1990. Modelos para la predicción del crecimiento y rendimiento de *Eucalyptus camaldulensis*, *Glicicidia sepium*, *Guazuma ulmifolia* y *Leucaena leucocephala* en América Central. CATIE. Serie Técnica. Boletín Técnico no.22. 57 p.
- HUGHELL, D. 1990. Manual para el desarrollo de modelos de crecimiento y rendimiento para árboles de uso múltiple. CATIE. En prensa.
- MARCHENA, J.A. 1990. Crecimiento inicial de las especies *Casuarina equisetifolia* L. ex J.R. Forst y G. Forst. y *Casuarina cunninghamiana* Miq. en plantación en América Central. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R., CATIE. 98p.
- MENDOZA, L.A. 1983. Growth and uses of *Casuarina cunninghamiana* in Argentina. In Casuarina Ecology Management and Utilization, an International Workshop. (1981, Canberra, Australia). Proceedings. Ed. by S.J. Midgley; J.W. Turnbull; R.D. Johnston. Australia, CSIRO. p. 53-54.
- TURNBULL, J.W. 1986. Aspects of seed collection, storage and germination in Casuarinaceae. Australian Forest Research (Australia) 12(4):281-294.