

Modelo de Crecimiento y Rendimiento de Mangium (*Acacia mangium* Willd) en Costa Rica, Honduras y Panamá¹

Edwin Oliva²
David Hughell³

INTRODUCCION

Mangium (*Acacia mangium* Willd) es un árbol de la familia Leguminosae (Sub-familia Mimosoideae) nativa del noreste de Australia, Papua Nueva Guinea e Indonesia (CATIE, 1986). Ha sido introducida con buena aceptación en Asia, Africa, Suramérica, Centro América y las islas del Caribe (Oliva, 1990).

La especie es muy adaptable a diversas condiciones de sitio. En América Central, la especie ha demostrado su mejor desarrollo cuando ha sido plantada hasta 850 msnm de altitud, con una temperatura media anual hasta de 26,6°C, y con precipitación anual entre 1000 y 4500 mm al año (CATIE, 1986). La especie ha tenido comportamiento inicial bueno, en suelos no aptos para muchas especies forestales: suelos ácidos (pH hasta 4,5), con contenidos de aluminio altos, contenidos de arcilla altos, poca profundidad efectiva y compactados por sobrepastoreo (CATIE, 1986).

Mangium tiene un buen potencial para ser usada como leña o carbón, postes, o madera para aserrio de pequeñas dimensiones. Se puede plantar mangium como cortina rompevientos, en sistemas agroforestales, para control de erosión, en caminos y cercas, como ornamental, para elaboración de pulpa, para esencias aromáticas y obtención de taninos y, además, las hojas pueden emplearse como forraje animal (CATIE, 1986).

Debido al potencial de la especie y con base en los datos de la red de parcelas de crecimiento que establecieron los Proyectos Leña y Fuentes Alternas de Energía (Proyecto LEÑA) y Cultivo de Arboles de Uso Múltiple (Proyecto

Turrialba, Costa Rica

MADELEÑA) del CATIE, con financiamiento de AID⁴ y con la participación de las instituciones forestales respectivas de cada país en América Central⁵, se ha desarrollado un modelo para predecir el crecimiento y rendimiento de mangium en plantaciones con el fin de producir leña.

METODOLOGIA

Para desarrollar el modelo de predicción del crecimiento y rendimiento se utilizó la metodología descrita por Hughell (1990b), la cual ha sido aplicada a varias especies de uso múltiple en América Central (Hughell, 1990a, Oliva, 1990). Dicha metodología consiste en la construcción de una serie de ecuaciones para describir el desarrollo de los diferentes parámetros de la masa forestal (dap, altura, volumen, mortalidad) con base en el índice de sitio y la densidad de plantación. El objetivo principal del modelo es la confección de tablas de rendimiento para diferentes calidades de sitio y densidades de plantación.

Las parcelas de crecimiento de mangium utilizadas provienen de la red de ensayos y parcelas de crecimiento establecidas por los Proyectos LEÑA y MADELEÑA en la región centroamericana. Para mangium comprende 50 parcelas en Costa Rica, una parcela en Honduras y 7 parcelas en Panamá.

RESULTADOS

Estimación del volumen y biomasa

El primer paso para la construcción del modelo de predicción fue el desarrollo de una ecuación para estimar el volumen y biomasa de árboles individuales. Esto se realizó con base en árboles derribados y cuantificados en Guatemala con dap entre 7 y 11 centímetros para el volumen, y 8 y 11 centímetros para la biomasa. Los componentes del árbol evaluados son los volúmenes totales con y sin corteza, la biomasa en peso seco total (fuste+ramas+follaje) y biomasa en peso seco de leña (fuste+ramas). Todas las ecuaciones seleccionadas tuvieron la misma forma, con diferentes coeficientes de regresión de acuerdo con el producto del árbol por estimar (Cuadro 1). La incorporación de la altura en la ecuación no resultó significativa.

Para estimar la producción en unidades que utiliza el consumidor, se puede aplicar la relación que indica que un metro cúbico de madera equivale a 1,6 metros estéreos⁶ de madera apilada (Martínez, 1986).

¹ Parte de la tesis de Maestría del primer autor, para optar al título de Magister Scientiae del CATIE.

² Coordinador Nacional, Proyecto Desarrollo Forestal, DIGEBOS/GTZ, Guatemala.

³ Especialista en el Manejo de Información Forestal, Proyecto MADELEÑA.

⁴ Agencia para el Desarrollo Internacional del gobierno de los Estados Unidos de América.

⁵ América Central comprende: Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua y Panamá.

⁶ Un metro estéreo equivale a una pila de madera de 1m X 1m X 1m

Cuadro 1. Coeficientes de regresión y determinación de los modelos para estimar la producción por árbol de *Acacia mangium* Willd en América Central.

Modelo	r^2	n
$\ln \text{ esp (VTC)} = -8,2816 * 2,2534 * \ln(\text{dap})$ n = 16 (0,0762) ⁷	98	
$\ln \text{ esp (VTS)} = -8,5288 * 2,2892 * \ln(\text{dap})$ n = 16 (0,0970)	97	
$\ln \text{ esp (PST)} = -1,5825 * 2,1171 * \ln(\text{dap})$ n = 35 (0,1797)	80	
$\ln \text{ esp (PSL)} = -1,9971 * 2,1379 * \ln(\text{dap})$ n = 35 (0,1843)	98	

VTC	=	volúmen total con corteza ($m^3/\text{árbol}$)
VTS	=	volúmen total sin corteza ($m^3/\text{árbol}$)
PST	=	peso seco total (fuste+ramas+follaje) (kg/árbol)
PSL	=	peso seco de leña (fuste+ramas) (kg/árbol)
n	=	número de observaciones
R^2	=	coeficiente de determinación de la regresión

(Fuente: Oliva, 1990)

Datos de resúmenes por medición

Los otros análisis para la construcción del modelo de predicción se realizaron con base en datos de resúmenes por medición (promedios de dap, altura, número de árboles vivos por medición y parcela), de los cuales se realizó una depuración para eliminar los datos no consistentes, resultando un grupo de 90 mediciones. En el Cuadro 2, se muestran las variables analizadas y el ámbito de valores representados en las mediciones.

Cuadro 2. Ambito de las variables incluidas para los resúmenes por medición para las parcelas de *Acacia mangium* Willd en América Central.

Variable	Ambito		
	Promedio	Mínimo	Máximo
edad (meses)	24	12	74
N inicial (n/ha)	1696	1111	2500
N actual (n/ha)	1378	431	2500
supervivencia (%)	81	55	100
dap (cm)	8,1	1,7	15,4
altura (m)	4,3	0,9	13,4
altura Dominante (m)	5,3	1,1	15,5
índice de sitio (m)	11,6	6,2	19,8

N inicial	=	densidad inicial de plantación (árboles por ha)
N actual	=	densidad actual (árboles vivos por ha)

(Fuente: Oliva, 1990)

Estimación del índice de sitio

El índice de sitio (IS) se define como la altura dominante (Hdom o la altura promedio de los 100 árboles más altos por hectárea) que tendría el rodal a una edad base. Para *mangium* se seleccionó la edad base de 4 años.

Para desarrollar una ecuación que permita estimar el índice de sitio con base en 90 observaciones de edad y altura dominante, se utilizó el método de la "curva guía" con la ecuación de Schumacher (Alder, 1980; Hughell, 1990b). Para esto se empleó la "regresión jerárquica" ya que este tipo de regresión se ajusta mejor a los datos procedentes de mediciones repetidas (Alder, 1980). De acuerdo con esta metodología, las ecuaciones correspondientes al modelo "a común", fueron desarrolladas para estimar el índice de sitio y la altura dominante (ecuaciones 1 y 2 en el Cuadro 3, respectivamente).

Un análisis de correlación entre el índice de sitio y los factores ambientales (fisiográficos, climáticos y edáficos) demostró las siguientes correlaciones significativas (nivel de error menor de 5%): pH (0,50), aluminio (0,64), potasio (0,80), zinc (0,52), cobre (0,74) y meses secos (-0,74).

Estimación de los parámetros de la masa forestal

Después de calcular el índice de sitio para las parcelas estudiadas, se emplearon regresiones curvi-lineales y no lineales para obtener ecuaciones que describen el desarrollo de los diferentes componentes de la masa forestal (número de árboles vivos, altura media y dap) con el tiempo (la edad). En el Cuadro 3, se presenta esta serie de ecuaciones generadas que comprenden el modelo global de predicción del crecimiento y el rendimiento.

Cuadro 3. Serie de ecuaciones que comprende el modelo global para predecir el crecimiento y rendimiento de *Acacia mangium* Willd en América Central.

Índice de sitio	n = 90	
$\ln(\text{IS}) = 5,8369 + (\text{Hdom} - 5,8369) * (\text{Edad}/\text{Edad_base})^{0,30}$		(1)
altura dominante	n = 90	
$\ln(\text{Hdom}) = 5,8369 + (\text{IS} - 5,8369) * (\text{Edad_base}/\text{Edad})^{0,30}$		(2)
N actual	n = 90	
$N \text{ actual} = b * 0,80 * N \text{ inicial}$		(3)
dap	n = 43	$r^2 = 0,80$
$\text{dap} = 1,4393 * \text{IS} * (1 - \exp[-0,0517 * \text{Edad}])^{3,4763}$		(4)
	(0,1707)	(0,0154) (1,3346)
Altura media	n = 90	$r^2 = 0,96$
$\ln(\text{Altura}) = 0,4799 + -137643/\text{Edad} + 0,9947 * \ln(\text{IS})$		(5)
	(0,1324)	(0,8079) (0,0564)

Hdom	=	altura dominante (m)
IS	=	índice de sitio (Hd a la edad base)
edad base	=	48 meses
edad	=	edad actual (meses)
dap	=	diámetro altura de pecho (cm)
altura	=	altura media
N inicial	=	número de árboles iniciales plantados (N/ha)
N actual	=	número de árboles actuales (N/ha)
VTC	=	volúmen total con corteza (m^3 cúbicos/árbol)

(Fuente: Oliva, 1990)

Tablas de rendimiento

El conjunto de las ecuaciones del Cuadro 3 permite confeccionar tablas de rendimiento. Por la sencillez en su manejo y su flexibilidad, se utilizó la hoja electrónica "Lotus 123" para realizar esta actividad.

⁷ Los valores entre paréntesis corresponden al error estándar del coeficiente

De acuerdo con el modelo global, existen dos variables independientes que definen las condiciones iniciales: el índice de sitio (IS) y la densidad inicial (Ninicial). En el Cuadro 4 se muestra tres tablas de rendimiento, correspondientes a los índices de sitio de 12, 9 y 6 m a los 4 años. Estos índices representan sitios muy buenos, buenos y regulares. La densidad de plantación utilizado fue de 2500 árboles por hectárea (espaciamento de 2m X 2m), ya que esta fue la única densidad representada adecuadamente en los datos analizados y además, es la densidad recomendada para la producción de leña. Así mismo, se presentan las tablas para edades de uno a cuatro años por ser las edades representadas en los datos. Cabe mencionar que la aplicación del modelo está limitado a solamente estas condiciones representadas en los datos analizados.

Con base en el modelo y las tablas de rendimiento, la Figura 1 muestra el rendimiento en peso seco de leña para los índices de sitio de 12, 9 y 6 m y la Figura 2 muestra los incrementos medios anuales (IMA) y corrientes anuales (ICA) en peso seco de leña para el índice de sitio medio (9 m). Se puede observar que las curvas de IMA e ICA en peso seco de leña, aún no se cruzan a los cuatro años. Esto indica que el turno de máximo producción de leña debe ser mayor que los cuatro años.

Cuadro 4. Tablas de rendimiento de *Acacia mangium* Willd para los Índices de sitio 12, 9 y 6 m y a una densidad de plantación de 2500 árboles por hectárea, a los 4 años en América Central.

IS = 12 m N1 = 2500 Árboles/ha										
edad (años)	N (arb/ha)	dap (cm)	alt (m)	G (m ² /ha)	VTC (m ³ /ha)	VMA (m.e.) (tm/ha)	PSL (tm/ha)	IMA (tm/ha)	ICA (tm/ha)	
1	2000	1,2	1,1	0,2	0,7	1,2	0,4	0,39	0,39	
2	2000	5,3	4,7	4,4	21,4	34,2	9,5	4,73	9,07	
3	2000	9,6	7,5	14,4	92,5	132,1	34,1	11,36	24,63	
4	2000	12,7	9,5	25,5	156,6	250,6	62,6	15,65	28,51	

IS = 9 m N1 = 2500 Árboles/ha										
edad (años)	N (arb/ha)	dap (cm)	alt (m)	G (m ² /ha)	VTC (m ³ /ha)	VMA (m.e.) (tm/ha)	PSL (tm/ha)	IMA (tm/ha)	ICA (tm/ha)	
1	2000	0,9	0,9	0,1	0,4	0,2	0,2	0,21	0,21	
2	2000	3,9	3,5	2,4	11,2	17,2	5,1	2,56	4,91	
3	2000	7,2	5,6	8,1	43,2	69,7	18,4	6,14	13,31	
4	2000	9,6	7,1	14,3	81,9	131,6	33,8	8,46	15,41	

IS = 6 m N1 = 2500 Árboles/ha										
edad (años)	N (arb/ha)	dap (cm)	alt (m)	G (m ² /ha)	VTC (m ³ /ha)	VMA (m.e.) (tm/ha)	PSL (tm/ha)	IMA (tm/ha)	ICA (tm/ha)	
1	2000	0,6	0,6	0,1	0,2	0,2	0,1	0,09	0,09	
2	2000	2,6	2,4	1,1	4,5	7,2	2,1	1,08	2,06	
3	2000	4,8	3,8	3,6	17,3	27,7	7,7	2,58	5,59	
4	2000	6,4	4,8	6,4	32,9	52,2	14,2	3,56	6,48	

dap = diámetro a la altura del pecho
 alt = altura media
 G = área basal
 VTC = volumen total con corteza
 VMA = volumen de madera apilada en metros estéreos
 m.e. = metros estéreos
 PSL = biomasa en peso seco de leña
 IMA = incremento medio anual
 ICA = incremento corriente anual

Fuente: Oliva, 1990)

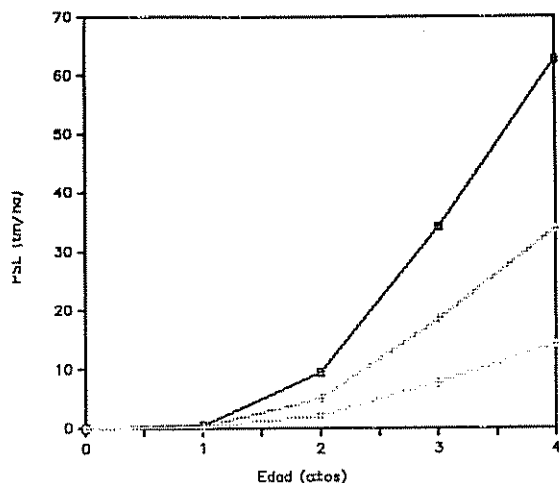


Figura 1. Desarrollo de peso seco de leña para los índices de sitio 12, 9 y 6 m de *Acacia mangium* Willd en América Central.

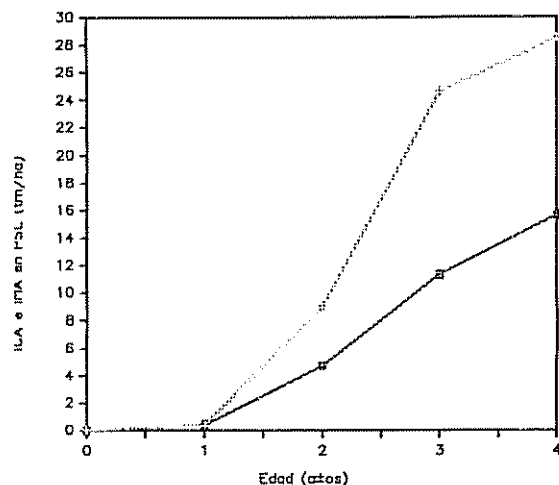


Figura 2. Incremento medio anual (IMA) e incremento corriente anual (ICA) de peso seco de leña para el índice de sitio medio (9 m) de *Acacia mangium* Willd en América Central.

Verificación del modelo

Por la falta de suficientes parcelas de crecimiento no fue posible obtener una muestra de datos independientes para realizar una "validación" del modelo. Sin embargo, con los mismos datos utilizados para la construcción del modelo, se realizó una "verificación". El resultado de este análisis dió coeficientes de variación (cv) para la estimación⁸ de los Nactual, dap, altura y PSL de 19%, 18%, 13% y 40%, respectivamente. Con base en estas estadísticas, se considera que este modelo tiene una precisión aceptable (menos del 20%), con la excepción de la estimación del PSL. La poca precisión encontrada en la estimación del PSL se atribuye a la variación encontrada entre el crecimiento de las diferentes parcelas y el efecto complementario del desajuste para estimar los otros tres parámetros que se usan para calcular el peso (Nactual, Dap y altura).

8

Coefficiente de variación de la estimación es la desviación estándar de la diferencia observada - estimada entre el valor promedio del observado.

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

SOCIOECONOMÍA

Thomas McKenzie, M.Sc. Economista Principal
Dean Current, M.Sc. Socioeconomía/Manejo de Información
Economía
Carlos Reiche, M.Sc. Economista Asistente
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
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. Mangium mostró buen crecimiento y adaptación a las condiciones de algunos sitios de América Central en los primeros años de crecimiento, por lo que se considera que es una especie con buen potencial para usarse en planes de reforestación en el trópico húmedo.
2. Con base en un grupo pequeño de parcelas, se logró construir un modelo matemático que permite la confección de tablas de rendimiento para diferentes calidades de sitio. Estas tablas pueden ser útiles para la predicción del crecimiento y rendimiento en sitios específicos; sin embargo, se debe limitar el uso del modelo a los ámbitos de calidad de sitio, densidad de plantación, edad, dap y altura representados en la muestra de datos analizados. Además, se debe tomar en cuenta la precisión del modelo para la estimación de peso seco de leña (PSL), y que la aplicación del modelo supone un manejo adecuado de la plantación.
3. Las parcelas estudiadas son muy jóvenes aún para llegar a conclusiones sobre todo el turno de la especie. Una estimación preliminar del turno óptimo para la producción de leña es de nueve años y para madera aserrada, hasta 15 años, con algunos aclareos.
4. Se desconoce la variabilidad genética de mangium; se considera que las variaciones mostradas por la especie en este estudio en cuanto a crecimiento y rendimiento, pueden deberse en parte a ella.

Recomendaciones

1. Se recomienda la continuación de la medición de las parcelas de crecimiento y el establecimiento de nuevas parcelas en diferentes sitios, con el fin de obtener una base de datos mayor para mejorar el modelo y poder realizar una "validación", con datos independientes.
2. Utilizando datos de parcelas de mayor edad, se recomienda incorporar al modelo el rendimiento de otros productos forestales además de leña.
3. Se recomienda estudiar los factores ambientales que influyen el crecimiento con un grupo de datos que represente un ámbito mayor de condiciones ambientales.

LITERATURA CITADA

- ALDER, D., 1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento. FAO: MONTES 22/2. 193 p.
- CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA, CATIE, 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.
- HUGHELL, D. A., 1990a. Modelos para la predicción del crecimiento y rendimiento de Eucalyptus camaldulensis, Gliciridia sepium, Guazuma ulmifolia y Leucaena leucocephala en América Central. Informe Técnico. Turrialba, C.R., CATIE 77 p.
- HUGHELL, D. A. 1990b. Metodología para el desarrollo de modelos para la predicción del crecimiento y rendimiento de árboles de uso múltiple. Informe Técnico. Turrialba, C.R., CATIE. 78 p. Sin publicar.
- MARTINEZ, H. A. 1986. Producción de leña en la zona seca de Guatemala. In Técnicas de producción de leña en fincas pequeñas y recuperación de sitios degradados por medio de la silvicultura intensiva. Ed. Rodolfo Salazar. Turrialba, C.R., CATIE 77-89 pp.
- NATIONAL ACADEMY OF SCIENCE (EE UU.) 1983. Innovation in tropical reforestation. Mangium and other fast-growing acacias for the humid tropics. Washington, D. C., National Academy Press. 62 p.
- OLIVA, E. 1990. Comportamiento en plantación de mangium (Acacia mangium Willd) y aripin (Caesalpinia velutina (ByR) Standl) en América Central. Tesis M.Sc. Turrialba, C.R., CATIE 117 p.

SILVOENERGIA N°35, Octubre de 1990, CATIE 7170, Turrialba, Costa Rica Edición: —E. Hidalgo de Caviedes / Diseño y Montaje: Ana Loaiza / Levantado de Texto: Carlos Solano / Este trabajo fue escrito por: D. Hughell y E. Oliva / Revisores: M. Musálem y R. Luján / Publicación patrocinada por el Proyecto Cultivo de Árboles de Uso Múltiple (MADELEÑA) / CATIE/ROCAP 596 - 0117. / Edición de 1500 ejemplares.