



MODELO PRELIMINAR DE RENDIMIENTO PARA POCHOTE (Bombacopsis quinata (Jacq) Dugand) EN COSTA RICA Y PANAMA

David Hughell*

RESUMEN

Con base en los datos de parcelas permanentes de crecimiento en Costa Rica y Panamá y del análisis de fuste en Costa Rica, se desarrolló un modelo para predecir el rendimiento de Bombacopsis quinata (Jacq) Dugand. Dicho modelo comprende una serie de ecuaciones para estimar el número de árboles, dap y altura, a nivel de rodal y permite confeccionar tablas de rendimiento para sitios medios, con base en diferentes programas de aclareos.

INTRODUCCION

Bombacopsis quinata (Jacq) Dugand es una especie nativa de América Central, de gran aceptación para la producción de madera en programas de reforestación en las zonas secas de esta región. La especie crece bien en suelos bien drenados y profundos, en sitios por debajo de los 800 msnm, con períodos secos de cinco a seis meses de duración (Navarro y Martínez, 1989).

El objetivo de este estudio es desarrollar un modelo matemático de crecimiento y rendimiento que permita confeccionar tablas de rendimiento para diferentes programas de aclareos.

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



METODOLOGIA

La metodología empleada consiste en la construcción de una serie de ecuaciones para describir el desarrollo de los diferentes parámetros de la masa forestal (número de árboles, altura, dap, volumen) con base en el índice de sitio, la densidad de plantación y la incorporación de estas ecuaciones en un modelo global que permita la confección de tablas de rendimiento bajo diferentes condiciones iniciales y programas de aclareos. Hughell (en prensa) describe en detalle esta metodología.

Los datos de crecimiento del pochote utilizados provienen de la red de parcelas de crecimiento establecidas por los Proyectos Leña y Fuentes Alternas de Energía (LEÑA) y Cultivo de Árboles de Uso Múltiple (MADELEÑA) en la región centroamericana. Esta comprende 14 parcelas en Costa Rica y siete parcelas en Panamá, los datos se encuentran almacenados dentro del "Sistema Manejo de Información sobre Recursos Arbóreos" (MIRA). Además de los datos de parcelas de crecimiento, se utilizaron datos provenientes del análisis del fuste de 16 árboles de cinco plantaciones en Costa Rica, incluyendo una parcela temporal establecida en cada plantación (Hannah, 1989).

Antes de realizar los análisis para el desarrollo del modelo, se calcularon los datos resumidos por medición. A este grupo de datos de resúmenes, se agregó el índice de sitio aplicando la ecuación (Ecuación 2, Cuadro 2) desarrollado por Navarro (1988a y 1988b) con base en las mismas 14 parcelas de Costa Rica. En el Cuadro 1, se muestran las variables analizadas y el ámbito de valores representados en las mediciones.

Cuadro 1. Ambito de las variables incluidas en los resúmenes por medición para las parcelas de *Bombacopsis quinata* (Jacq) Dugand en Costa Rica y Panamá.

Variable	Ambito		
	Promedio	Mínimo	Máximo
E = edad (años)	7,9	1,0	27,0
NI = N inicial(N/ha)	2072	525	2500
NA = N actual (N/ha)	1622	400	2500
D = dap (cm)	14,2	1,7	52,3
H = altura media (m)	8,8	1,1	22,9
Hd = alt. dominante(m)	10,2	1,1	31,8
G = área basal (m ² /ha)	23,7	1,1	45,6
IS = índice de sitio(m)	13,9	7,4	19,3

NI = densidad inicial (árboles plantados por ha)

NA = densidad actual (árboles vivos por ha)

RESULTADOS

Las ecuaciones seleccionadas de las regresiones curvilíneas y no lineales describen el desarrollo de los diferentes componentes de la masa forestal. Por no tener una muestra suficientemente representativa de diferentes índices de sitio y diferentes densidades de plantación, no se incorporaron estos dos parámetros en las ecuaciones para estimar dap o altura.

La ecuación para estimar el volumen total sin corteza (Ecuación 1) fue desarrollada utilizando los datos de dap, altura y volumen generado por análisis del fuste de 16 árboles representando diámetros entre 2 y 40 cm y alturas entre 1 y 21 m.

Cuadro 2. Serie de ecuaciones que comprende el modelo global para predecir el crecimiento y rendimiento de *Bombacopsis quinata* (Jacq) Dugand en Costa Rica y Panamá.

volumen total (m ³ /árb) n = 106	R ² = 0,97	
ln(v) = -8,0758 + 1,2678 ln(d) + 0,9729 ln(h)	(0,0939) (0,0568) (0,0772)*	(1)
índice de sitio: R ² = 0,72		
ln(IS) = 6,129 + (Hd - 6,129)(E/EB) ^{0,199}		(2)
Número de árboles actual		
NA = 0,916 NI		(3)
dap (cm) n = 94	R ² = 0,88	
D = 48,42 (1 - exp(-0,04107 E)) ^{0,8898}	(7,63) (0,0161) (0,1048)*	(4)
altura media (m) n = 95	R ² = 0,76	
H = 25,0 (1 - exp(-0,04296 E)) ^{0,7513}	(0,00639) (0,0740)*	(5)

v = volumen total sin corteza (m³/árbol)

d,h = dap (cm) y altura del árbol (m)

EB = edad base de 10 años

Las otras variables están definidas en el Cuadro 1.

La ecuación para estimar el número de árboles actuales (Ecuación 3) representa la supervivencia promedio hasta los 5 años. Posterior a esta edad, se supone que el aclareo elimina los árboles suprimidos antes que estos mueran.

Como una parte significativa de los datos, provienen del análisis de fuste, no fue posible desarrollar una ecuación para el área basal. Por lo tanto, se utilizó la ecuación de Richards (1959) para estimar el dap promedio (Ecuación 4). Cabe mencionar que, a causa de las limitaciones de la muestra de datos, resultó que la inclusión del índice de sitio no mejoró el modelo para estimar el dap.

También, se utilizó la ecuación de Richards para la estimación de la altura (Ecuación 5), pero en este caso especificando una asíntota (altura máxima) dada de 25,0 m. Ya que el índice de sitio no entró en la ecuación para estimar el dap, este parámetro no fue incluido en la ecuación para estimar la altura.

Tabla de rendimiento

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

Este modelo se clasifica como uno de Integración en vez de Iteración o simulación debido a que la proyección del dap es una función de la edad (Ecuación 4) en vez de una acumulación del incrementos. Una desventaja de este tipo de modelo es que no permite simular un aumento en el crecimiento con la reducción en competencia después de los aclareos.

El programa de aclareos se define especificando, para cada intervención, la edad en años, la intensidad en el número de árboles extraídos por hectárea y el tipo de aclareo utilizando la razón de aclareo (RA). Según

* Error estándar del coeficiente.

Alder (1980), la razón de aclareo representa la relación entre el tamaño de los árboles antes y después del aclareo (Ecuación 6). Si se despeja el "dap después del aclareo" de esta ecuación, se obtiene la ecuación utilizada en el modelo (Ecuación 7).

$$RA = \frac{(D \text{ antes del aclareo})^2}{(D \text{ después del aclareo})^2} \quad (6)$$

$$D \text{ después del aclareo} = \frac{D \text{ antes del aclareo}}{\sqrt{RA}} \quad (7)$$

D = diámetro geométrico
RA = razón de aclareo

Con los diámetros antes y después del aclareo se calculan las áreas basales correspondientes y el área basal extraída. La aplicación de la hoja electrónica asegura que todos los diferentes componentes del modelo se ajusten y se cuadren matemáticamente entre sí.

La tabla de rendimiento presentada en el Cuadro 3 se confeccionó para una densidad inicial de 1600 árboles por hectárea (espaciamiento 2,5m x 2,5m) y para una calidad de sitio medio (índice de sitio de 15,5 m a la edad base de 10 años). El programa de aclareos es uno recomendado por el autor para la producción de madera

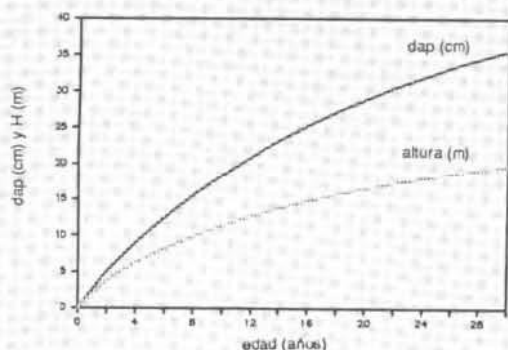


Figura 1. Desarrollo del dap y altura de *Bombacopsis quinata* (Jacq) Dugand de acuerdo con la edad y el programa de aclareo recomendado.

de aserri con un turno de 30 años. Por falta de datos de campo para determinar la razón de aclareo, se seleccionó 0,9 para todas las intervenciones. Las Figuras 1 y 2 muestran el desarrollo de los diferentes componentes de la masa forestal, con la edad.

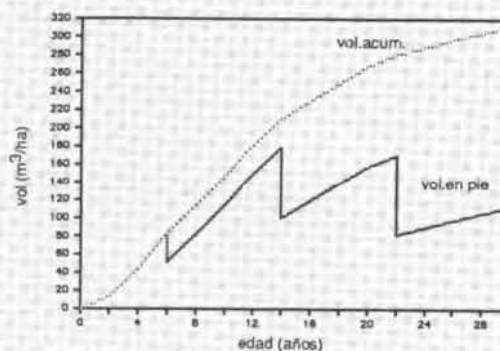


Figura 2. Rendimiento en volumen de la masa remanente y volumen acumulado de *Bombacopsis quinata* (Jacq) Dugand de acuerdo con el programa de aclareo recomendado.

CONCLUSIONES

1. Con base en los datos del análisis de fuste fue posible desarrollar una ecuación para estimar el volumen total sin corteza de madera con el dap y la altura.
2. Empleando datos de parcelas de crecimiento y análisis fustal se logró desarrollar una serie de ecuaciones las cuales, incorporadas en un modelo de integración, permiten generar tablas de rendimiento de *Bombacopsis quinata*. Por las limitaciones en el tamaño y representación de la muestra, ésta se considera un modelo preliminar.
3. El modelo permite confeccionar tablas de rendimiento correspondientes a diferentes programas de aclareo, tomando en cuenta la diferencia entre el tamaño de los árboles extraídos, con relación a los árboles remanentes, mediante la razón de aclareo; sin embargo, por el tipo de modelo empleado no fue posible simular un aumento en el crecimiento diamétrico como respuesta al aclareo.

Cuadro 4. Tabla preliminar de rendimiento de *Bombacopsis quinata* (Jacq) Dugand para sitios medios y una densidad de plantación de 1600 árboles por hectárea en Costa Rica y Panamá.

Edad (años)	Arboles remanentes					Arboles extraídos					
	N (N/ha)	D (cm)	H (m)	G (m ² /ha)	Vpl (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)
6	866	13,2	8,2	11,8	51,4	600	6,2	11,5	31,9	83,2	13,9
10	866	18,4	11,3	23,0	114,6	147	14,7				
14	466	24,5	13,8	21,9	100,0	400	14,7	21,6	78,7	210,5	15,0
18	466	27,2	15,7	27,0	138,9	249	13,9				
22	216	32,2	17,3	17,5	81,7	250	16,5	29,0	88,9	281,1	12,8
26	216	33,3	18,6	18,8	97,9	297	11,4				
30	216	35,6	19,6	21,5	112,6	312	10,4				

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

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
Modesto Juárez, M.Sc. Economía

COSTA RICA

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

PANAMA

Bías Morán, Ing. Coordinador Nacional
Rafael Tirado, 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, COHDEFOR de Honduras, CENREN de El Salvador, DIGEBOS de Guatemala con la coordinación regional del CATIE.

4. Por no contar con datos que cubran adecuadamente un ámbito amplio de diferentes índices de sitio y densidades de plantación, la aplicación del modelo solamente es válida para sitios medios y una densidad inicial de plantación de alrededor de 1600 árboles por hectárea.

5. Cabe mencionar que la confiabilidad del modelo disminuye si se aplica éste 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 permanentes de crecimiento y el establecimiento de nuevas parcelas, especialmente con diferentes calidades de sitios y edades mayores. Esto permitiría incorporar el índice de sitio dentro del modelo.
2. Asimismo, 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 utilizar más datos provenientes del análisis de fuste para mejorar el modelo.
4. Se recomienda establecer ensayos de aclareos para poder mejorar este componente del modelo y obtener datos empíricos sobre la razón de aclareo.
5. Hay necesidad de desarrollar un modelo que permita estimar el índice de sitio con base en los factores ambientales (fisiográficos, climatológicos y edáficos).
6. Debe mejorarse la ecuación para estimar el volumen, utilizando datos de árboles cuantificados de toda la región centroamericana.
7. Es importante realizar una validación del modelo con un grupo de datos independientes de los utilizados para el desarrollo del modelo. Dichos datos deben venir de parcelas donde se ha aplicado un programa de aclareos.

LITERATURA CITADA

- ALDER, D., 1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento. Vol. 22/2. FAO: MONTES, 193 p.
- HANNAH, P.R. 1989. Early growth in volume and height of *Bombacopsis quinata* in Costa Rica Plantations. (Informe Interno). CATIE. Turrialba, C.R., 5 p.
- HUGHELL, D.A. Manual para el desarrollo de modelos para la predicción del crecimiento y rendimiento de árboles de uso múltiple (en prensa). Informe Técnico. CATIE. Turrialba, C.R. 78 p.
- HUGHELL, D.A.; CHAVES, E. 1990. Modelo de crecimiento y rendimiento de ciprés (*Cupressus lusitanica* Miller) en América Central. Silvoenergía. (C.R.)
- NAVARRO, C.M. 1988a. Evaluación del crecimiento y rendimiento de *Bombacopsis quinata* en 14 sitios en Costa Rica; índices de sitio y algunos aspectos financieros de la especie. Tesis Mag. Sc. Turrialba C.R. CATIE. 136 p.
- NAVARRO, C.M. 1988b. Relación factores de sitio y crecimiento de *Bombacopsis quinata* en Costa Rica. Silvoenergía (C.R.) No. 26.
- NAVARRO, C.M. y MARTINEZ, H. 1989. El Pochote (*Bombacopsis quinata*) en Costa Rica. CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico No. 142. 44 p.
- RICHARDS, F.J. 1959. A flexible growth function for empirical use. Journ. of Exper. Botany. (G.B.), 10(29):290-300.

SILVOENERGIA No.39, Enero de 1991, 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 / 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.