

ARBOLES DE GUAYABA (*Psidium guajava* L.) EN PASTIZALES
III PRODUCCION DE LEÑA¹ /

E. SOMARRIBA*
J. BEER*

Summary

*A case study of *Psidium guajava* fuelwood volume and increments was made in a naturally regenerated stand (264/ha) associated with natural pasture at 1 200 masl in a premontane humid forest zone.*

The average dimensions of the trees were: stem basal diameter at 10 cm from the soil surface 20 cm, fuelwood volume to a minimum diameter of 2.5 cm, 0.12 m³, dry weight of fuelwood, 69 kg. This represents 6.5 m³/ha fuelwood (solid volume) equivalent to a stacked volume of 148 m³/ha which has a value (1984) of \$595/ha. Volume increments were calculated to be 4.3 m³/ha/year.

Standing volumes (V) can best be predicted from the sum of the basal area of the branches at the first fork (ABR) using the relation $\ln(V) = 2.64 + 1.264 \ln(ABR)$ ($R^2 = 0.90$). A simpler but less accurate method of predicting volumes, based on the stem basal diameter, has been used to prepare a volume table. A method of predicting fuelwood volumes from crown diameters, measured from aerial photographs, is also suggested.

Introducción

La producción de leña de buena calidad y amplio mercado es uno de los beneficios más importantes obtenido de los árboles de guayaba (*Psidium guajava* L.) presentes en los pastizales de muchas áreas ganaderas de los trópicos. La leña es utilizada en la finca o comercializada irregularmente

en su estado original o en forma de carbón. La cuantificación de la producción de leña de guayaba en los potreros engloba cuatro aspectos principales: 1) estimar la cantidad de leña disponible por unidad de superficie, bajo las condiciones promedio de densidad y de manejo de los "rodales" de guayaba en los potreros, 2) estimar la tasa de crecimiento volumétrico, 3) cuantificar la capacidad de regeneración vegetativa de los árboles y 4) estudiar la dinámica del ingreso de nuevos árboles a los rodales. En este trabajo se estudiaron los primeros dos aspectos. Los estudios se han hecho en una finca ganadera de la zona alta (1 100 msnm) de La Suiza, Turrialba, Costa Rica. Las condiciones ambientales, el manejo de los pastos y del ganado, se describieron anteriormente (13)

Las relaciones entre las dimensiones de árboles creciendo dentro del bosque y en plantaciones forestales, se han estudiado exitosamente por medio de análisis dimensionales (5, 10, 18), utilizando combinaciones y transformaciones de diámetros y alturas como variables independientes (6). Los estudios dimensionales en árboles o arbustos de formas irregulares, creciendo en espacios abiertos, son escasos. Las complicaciones de medición (debidas a las formas irregulares) se incrementan por las particularidades de manejo

1. Recibido para publicación el 27 de setiembre de 1984

Estos estudios han sido posibles gracias al apoyo económico brindado por la Universidad de las Naciones Unidas (UNU) al CATH, a través de un proyecto cooperativo iniciado en 1977 para la investigación y la enseñanza de la agroforestería.

Los autores agradecen al Dr. Rodolfo Salazar por la revisión técnica del manuscrito, al Ing. Mario Gutiérrez por dedicada asistencia en los trabajos de campo, a la Sra. Marjorie de Hernández por su impecable trabajo mecanográfico y al Sr. Guillermo Thiele, propietario de la finca en estudio, por su entusiasta anuencia al desarrollo de estas investigaciones.

* Departamento Recursos Naturales Renovables, CATH, Turrialba, Costa Rica.

a que son sometidos (p.e. podas, quemas, ramoneo, etc.). En árboles < 2 m altura y sin ramificaciones fuertes, el diámetro basal del tallo principal es la variable más predictiva sobre la biomasa total (15, 16, 18). En árboles podados frecuentemente, donde lo que interesa es la producción de biomasa obtenida de las podas y no la biomasa total del árbol, las mejores variables predictivas están relacionadas con las dimensiones de la copa y de las ramas. En árboles que son regularmente sometidos a podas totales, la edad homogénea de las ramas permite que la biomasa leñosa de la copa se pueda estimar con modelos de regresión que utilizan el diámetro promedio de las ramas y el número de ramas (12) o la suma del área basal de estas ramas (3), como variables independientes. Resta por ver si estos conocimientos son aplicables en árboles de guayaba, con formas irregulares, ramificaciones bajas y que no son podados.

La utilización práctica inmediata de los estudios dimensionales, es la identificación de las variables que deben utilizarse para estimar la tasa de crecimiento de una dimensión del árbol (p.e. peso o volumen) en función de la tasa de cambio de otra (p.e. diámetro, área basal, etc.). En el caso de *P. guajava*, no existen estudios previos de las relaciones dimensionales de los árboles ni de las tasas de crecimiento de la biomasa leñosa.

Materiales y métodos

Producción de leña

Se midieron los diámetros basales (10 cm sobre el suelo) de todos los árboles de guayaba, presentes en un lote de 0.64 ha, con una densidad de 264 árboles/ha (14). Los diámetros se agruparon en clases diamétricas de 4 cm y se escogió al azar un 30% de los individuos de cada clase hasta obtener un total de 53 árboles para cosecha. Antes de cortarlos, se tomaron mediciones de la altura total, el promedio de dos mediciones perpendiculares del diámetro de la copa, la altura del tronco hasta la primera ramificación y el diámetro basal de todas las ramas en la primera ramificación. Esta última variable serviría para calcular la suma del área basal de todas las ramas en la primera ramificación. La primera ramificación se definió como aquella donde el diámetro de al menos una de las ramas es > 30% del diámetro del tronco a 10 cm sobre el suelo. Se consideraron únicamente las bifurcaciones a < 2 m de altura. Árboles con un tronco bien definido de > 2 m, se midieron únicamente en su diámetro a 10 cm del suelo.

Los 53 árboles seleccionados se cortaron a ras del suelo. Cada árbol se desramó hasta un diámetro mínimo de 2.5 cm y se cortó en trozos de 0.70 m de lon-

gitud, que se pesaron en el campo y se introdujeron en un sistema de barriles (205 litros) con agua para medir su volumen por xilometría. El xilómetro, se instaló en el centro del lote de muestreo. El contenido promedio de humedad de la madera se calculó con base a cinco muestras de diferentes diámetros (3 hasta 42 cm) tomadas de cada árbol. Las muestras se llevaron al laboratorio en bolsas plásticas, se pesaron en verde, se metieron en un horno con ventilación forzada durante 120 horas a 70°C y se pesaron nuevamente.

Las relaciones entre las variables dendrométricas y el volumen o el peso seco de cada árbol, se analizaron por medio de correlaciones lineales y regresiones. Se evaluaron cuatro modelos de regresión univariados (uno lineal simple y tres logarítmicos), y se seleccionó el de mejor ajuste en base a la inspección simultánea de: 1) el más alto coeficiente de determinación, 2) el mayor valor de F, 3) las pruebas de "t" para los coeficientes de regresión, 4) el índice de Furnival más bajo (7), 5) el ajuste gráfico de los datos y 6) la distribución de los residuos de regresión.

Crecimiento volumétrico

En 1979 se estableció una primer parcela permanente con 60 árboles de guayaba (2). Durante 1979-1981 se hicieron mediciones anuales del DAP del tallo o de la rama principal del árbol, pero se descontinuaron a raíz de un estudio volumétrico que indicó que la suma del área basal de las ramas en la primera ramificación (ABR), es la variable con mayor poder predictivo sobre el volumen del árbol (14). En 1982 se midió esta variable. En 1983, se amplió la parcela original para incluir un nuevo lote de 59 árboles. En 1983 y 1984, se hicieron mediciones del ABR. Debido a la mortalidad natural y a la extracción de leña, el número total utilizado en los estudios de crecimiento fue de 80 árboles.

Se calculó el volumen total (V) de cada árbol en cada fecha de medición, utilizando un modelo de regresión (ver resultados) que expresa el volumen total en función del ABR. El incremento periódico medio anual en volumen por árbol (ICAVOL), se estimó como el promedio anual de la diferencia entre los volúmenes estimados en las dos fechas de medición más distanciadas. Los árboles se agruparon en clases diamétricas de 4 cm y se promediaron los valores de ICAVOL por árbol. Estos promedios, conjuntamente con la distribución de frecuencias de árboles/clase, permitieron calcular el crecimiento anual en volumen por hectárea.

El incremento periódico medio anual en área basal de ramas (ICABR), por árbol y por clase diamétri-

ca, se calculó de igual forma que ICAVOL. Los promedios por clase sirvieron para calcular los incrementos diamétricos (ICDIAM) esperados en el tronco principal del árbol. Los valores de ICDIAM se calcularon matemáticamente, derivando implícitamente la función $L_n(D) = 0.129 + 0.5167 \ln(ABR)$, donde D = diámetro basal del tronco y ABR = suma del área basal de ramas en la primera ramificación (Somarriba, E. datos no publicados $R^2 = 0.92$). Derivando se obtiene $dD/dt(1/D) = 0.5176(1/ABR) dABR/dt$, donde dD/dt es el incremento diamétrico anual que deseamos conocer; $1/D$ y $1/ABR$ son los recíprocos del diámetro medio de clase y del área basal de ramas del árbol de diámetro medio, respectivamente (i.e. son valores constantes para cada clase), y $dABR/dt$ es el incremento corriente medio anual en área basal de ramas medido en el campo para cada clase diamétrica. Igualando $1/D = K_i$, $1/ABR = K_j$ y $dABR/dt = Z$, sustituyendo y despejando valores en la ecuación, se obtiene $dD/dt = (0.5167 \times K_i \times Z)/K_j$. Con el propósito de identificar el diámetro en el que las tasas anuales de cambio en volumen total y en área basal de ramas son máximas, se hicieron análisis de regresión entre ICABR e ICAVOL y el diámetro medio de clase.

Resultados

Distribución de tamaños y relaciones entre el volumen y las variables dendrométricas.

Un 96% de los árboles midió entre 10-33 cm de diámetro a 10 cm sobre el suelo, con una clase modal entre 18-21 cm y un diámetro promedio de 20 cm. El volumen promedio de leña por árbol fue de 0.12 m^3 , con un peso seco de 69 kg. La distribución de diámetros es aproximadamente normal ($P < 0.05$), con una ligera asimetría hacia la derecha. El área basal del área del rodal (10 cm sobre el suelo) fue $9.6 \text{ m}^2/\text{ha}$.

Existe una relación lineal positiva bien definida ($r = 0.94$) entre ABR y el volumen (V) de los árboles (Figura 1). El diámetro del tronco a 10 cm sobre el suelo (D) y el área basal correspondiente, mostraron también un comportamiento lineal muy parecido con el volumen ($r = 0.82$ y 0.84 , respectivamente). En el Cuadro 1 se presentan los modelos de mejor ajuste para describir las relaciones $ABR-V$ y $D-V$. Además, se han incluido: 1) un modelo entre ABR y el peso seco del árbol para facilitar la conversión a unidades de peso y 2) un modelo que utiliza el diámetro de copa como variable independiente, para facilitar inventarios de leña en rodales de guayaba con base a fotos aéreas a escalas de 1:2 500 o 1:5 000. Una tabla de volumen y de pesos, obtenida utilizando el diámetro basal del tronco como variable independiente, se presenta en el Cuadro 2.

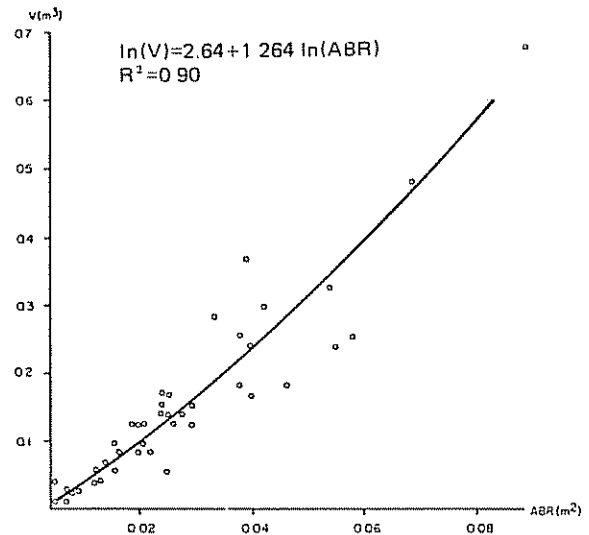


Fig. 1. Diagrama de dispersión y línea de regresión entre volumen total (ramas ≥ 2.5 cm diámetro) y la suma del área basal de todas las ramas en la primera ramificación (ABR) de árboles de guayaba (*Psidium guajava* L.) en potreros, La Suiza, Turrialba, Costa Rica.

Cuadro 1. Modelos de regresión y parámetros estadísticos entre algunas variables dendrométricas y el volumen (m^3) o el peso/ m^3 seco (kg) de árboles de guayaba (*Psidium guajava* L.) en potreros, La Suiza, Turrialba, Costa Rica. 1982.

MODELO	R2
$\ln(V) = -9.5 + 2.461 \ln(D)$	0.78
$\ln(V) = -4.58 + 0.339(DC)$	0.65
$\ln(V) = 2.64 + 1.264 \ln(ABR)$	0.90
$\ln(P) = 9.02 + 1.271 \ln(ABR)$	0.90
$P = -3.19 + 605.58(V)$	0.99

D	= Diámetro del tronco principal a 10 cm sobre el suelo (cm).
H	= altura total del árbol (m)
DC	= diámetro de copa (m)
ABR	= suma del área basal de todas las ramas en la primera ramificación (m^2)
V	= volumen total del árbol hasta ramas > 2.5 cm diámetro (m^3).
P	= peso seco total del árbol hasta ramas > 2.5 cm diámetro (kg).

Crecimiento volumétrico

El incremento periódico medio anual en volumen (ICAVOL) en el sitio de estudio fue de $4.3 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{año}$. El ICAVOL y el ICABR aumentaron hacia las clases diamétricas más grandes (Cuadro 3). El incremento corriente medio anual en diámetro (ICDIAM), también aumentó hacia las clases grandes, pero con algunos ascensos y descensos leves entre los 24 y 40

Cuadro 2. Tabla de volumen total (m³) y de peso seco total (kg) de árboles de guayaba (*Psidium guajava* L.) en potreros, La Suiza, Turrialba, Costa Rica, 1982.

D	V	P	D	V	P	D	V	P
5	0.004	—	20	0.119	69	35	0.472	283
6	0.006	—	21	0.134	78	36	0.506	303
7	0.009	—	22	0.151	88	37	0.541	325
8	0.012	—	23	0.168	99	38	0.578	347
9	0.017	7	24	0.187	110	39	0.616	370
10	0.022	10	25	0.206	121	40	0.656	394
11	0.027	13	26	0.227	134	41	0.697	419
12	0.034	17	27	0.249	148	42	0.740	445
13	0.041	22	28	0.273	162	43	0.784	471
14	0.050	27	29	0.297	177	44	0.829	499
15	0.059	32	30	0.323	193	45	0.877	528
16	0.069	39	31	0.350	209	46	0.925	557
17	0.080	45	32	0.379	226	47	0.976	588
18	0.092	53	33	0.409	244	48	1.027	619
19	0.105	60	34	0.440	263	49	1.081	651

$$\ln(V) = -9.5 + 2.461 \ln(D); P = 3.19 + 605.58(V)$$

V y P sólo incluyen ramas > 2.5 cm diámetro.

cm. Los valores de ICDIAM aumentaron desde 0.21 cm/año en árboles de 4-8 cm, hasta 1.76 cm/año en árboles de 36-40 cm de diámetro basal (Cuadro 3).

Discusión

El elevado poder predictivo de la suma del área basal de las ramas en la primera ramificación, sobre la biomasa leñosa total de árboles de guayaba, abre

grandes posibilidades para el estudio de otras especies arbóreas de formas irregulares presentes en pastizales y que no son podadas (p.e. *Crescentia alata*, *Byrsonima crassifolia*, *Parmentiera edulis*, etc.). Es posible que estos resultados sean también extensivos para cultivos perennes que si son podados (p.e. *Theobroma cacao*, *Citrus* spp., *Bixa orellana*, etc.). Nuestros resultados y los obtenidos por otros autores (3), sugieren que existen buenas perspectivas para utilizar estos modelos con árboles en pastizales, podados regularmente (12).

Cuadro 3. Incremento periódico medio anual en área basal de ramas (ICABR), en volumen total (ICAVOL) y en diámetro a 10 cm sobre el suelo (ICDIAM) de árboles de guayaba (*Psidium guajava* L.), en potreros, La Suiza, Turrialba, Costa Rica.

Diámetro (cm)	ICABR (cm ² /año)	ICAVOL (m ³ /año)	ICDIAM (cm/año)
0 - < 4	0.30*	0.00010*	0.08*
4 - < 8	2.00*	0.00090*	0.21*
8 - < 12	5.09	0.00287	0.40
12 - < 16	12.74	0.00695	0.57
16 - < 20	20.16	0.01251	0.73
20 - < 24	30.57	0.02096	0.92
24 - < 28	33.51	0.02563	0.87
28 - < 32	43.25	0.03564	0.98
32 - < 36	48.92	0.04312	0.99
36 - < 40	95.76	0.08676	1.76
40 - < 44	96.01	0.09452	1.62
44 - < 48	109.00*	0.10970*	1.88*
48 - < 52	127.00*	0.13350*	2.05*

* estimados por regresión

En fincas ganaderas, la presencia de rodales densos de guayaba que producen 65 m³ de leña/ha, representa una reserva de capital considerable. En la región de estudio, el valor de la leña de guayaba puesta en el mercado es de \$4/m³ estereo (1984). Para *P. guajava* se ha estimado una relación volumen estereo/volumen real de 0.44 (14), de modo que los rodales de guayaba representan unos 148 m³ esteréos/ha y un equivalente a \$595/ha.

Es probable que debido a su agresividad para colonizar pastizales y a su gran capacidad de regeneración vegetativa, *P. guajava* ha sido considerada como una especie de rápido crecimiento (8, 9). Sin embargo, la revisión de más de 500 artículos publicados sobre esta especie demostró que no se ha prestado ninguna atención a la evaluación de su productividad leñosa. Por esta razón, no se puede juzgar si el crecimiento medido en este trabajo es bajo o alto para esta especie en las condiciones del sitio de estudio.

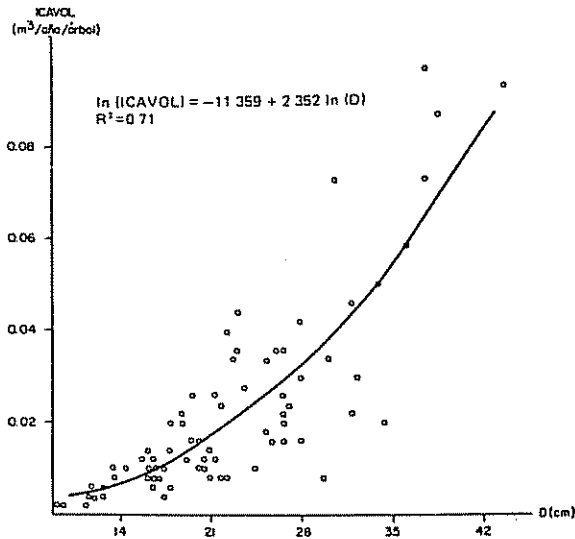


Fig. 2. Incremento corriente medio anual en volumen de leña (ICAVOL) en función del diámetro basal (D) de árboles de guayaba (*Psidium guajava* L.) en potreros, La Suiza, Turrialba, Costa Rica.

El incremento de 4,3 m³/ha/año medido en este trabajo, es comparable a los 2-15 m³/ha/año medidos en rodales naturales de *Diphysa robinoides* (4) y de *Gliricidia sepium* (11) y en árboles de *Guazuma ulmifolia* creciendo en potreros (4, 12). Plantaciones de especies de rápido crecimiento producen leña a razón de 10-40 m³/ha/año (4), pero estos resultados no son directamente comparables con los de este estudio debido a las grandes diferencias en las densidades (2 500-10 000 árboles/ha en plantaciones de leña) y al poco cuidado que se dispensa a los árboles de guayaba en los pastizales (aplicación de herbicidas, daños con machete, pisoteo del ganado, etc.).

La leña de guayaba tiene un poder calórico de 18 556 kJ/kg (1), lo que la clasifica como una especie muy recomendada como fuente energética. Un estudio del consumo de leña en Costa Rica (17), mostró que la guayaba es una de las especies preferidas para leña. A nivel nacional, esto puede significar facilidades de mercado. El único posible impedimento para la explotación regular de la leña en los potreros es la dificultad para extraerla en terrenos con pendientes pronunciadas. Sin embargo, la conversión a carbón solventaría parcialmente este problema.

Conclusiones

La suma del área basal de todas las ramas al nivel de la primera ramificación es la variable con el mejor predictivo sobre el volumen total (excluyendo ramas

2.5 cm) de los árboles de *Psidium guajava*. Esta es la variable que debe ser utilizada para mediciones exactas del crecimiento volumétrico. En las estimaciones de volumen en pie, para comercialización, basta utilizar el diámetro del tronco a 10 cm del suelo como variable para predicción.

La cantidad de leña de guayaba en pie (65 m³/ha) disponible en rodales con densidades de árboles/ha en los potreros, constituye una importante reserva económica. El crecimiento volumétrico de 4.3 m³/ha, medido en este trabajo, confirma esta apreciación.

Resumen

En este trabajo se presenta un estudio de caso sobre la cantidad de leña disponible y del crecimiento leñoso de árboles de guayaba (*Psidium guajava*) en un rodal de regeneración natural (264 árboles/ha) en pastizales naturales, a una elevación de 1 200 m.s.n.m. (zona de vida de bosque premontano húmedo). Las dimensiones promedio de los árboles fueron: diámetro del tronco a 10 cm sobre el suelo = 20 cm; volumen de leña hasta ramas con un diámetro mínimo de 2.5 cm = 0.12 m³ árbol; peso seco de leña por árbol = 69 kg. Esto representa 65 m³/ha de leña sólida, equivalente a 148 m³ estereos/ha, el cual tiene un valor (1984) de \$595/ha. Se estima que el incremento en volumen es de 4.3 m³/ha/año.

Los volúmenes en pie (V) de árboles individuales pueden estimarse en base a la suma del área basal de todas las ramas a la altura de la primer ramificación (ABR) usando el modelo $\ln(V) = 2.64 + 1.264 \ln(ABR)$ $R^2 = 0.90$. Se ha preparado una tabla de volumen usando un método más simple, pero menos exacto, basado en el diámetro basal del tronco. También se presenta una ecuación para predecir V, basada en el diámetro de copas, que podría utilizarse con fotografías aéreas.

Literatura citada

- AGUILAR, L. Calorific values of Philippine woods. *Philippine J. Forestry* 2:217-223. 1949.
- BEER, J. *et al.* A case study of traditional agroforestry practices in a wet tropical zone: The "La Suiza" Project. In: Chavarría, ed. *Seminario Internacional, sobre Las ciencias forestales y su contribución al desarrollo de la América Tropical*. San José, Costa Rica, CONICIT-INTERCIENCIA - SCITEC: 1981. pp. 191-210.

3. BELIARD, C.A. Producción de biomasa de *Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud, en cercas vivas bajo tres frecuencias de podas (tres, seis y nueve meses). Tesis Mag. Sci., Turrialba, Costa Rica, UCR-CATIE. 1984. 97 p.
4. CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA (CATIE) Informe técnico anual, proyecto leña y fuentes alternas de energía, DGF-CATIE-ROCAP 1984. 181 p.
5. CROW, T.R. Common regressions to estimate tree biomass in tropical stands. *Forest Science* 24: 110-114. 1978.
6. DAWKINS, H.C. Estimating total volume of some caribbean trees. *Caribbean Forestry* 22:62-63. 1961.
7. FURNIVAL, G.M. An index for comparing equations used in volume tables. *Forest Science* 7(4): 337-341. 1961.
8. LITTLE, Jr., E.L. Common fuelwood crops: a handbook for their identification. Mc Clain, Parsons, West Virginia. 1982. pp. 247-249.
9. NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. Firewood crops: shrub and tree species for energy production. Washington, D.C., NAS. v.2. 1983. pp. 24-25.
10. OGAWA, H. *et al* Comparative ecological studies on three main types of forest vegetation in Thailand. II. Plant biomass. *Nature and Life in Southeast Asia* 4:49-80. 1965.
11. OTAROLA, A. y UGALDE, L.A. Productividad y tablas de biomasa de *Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud, en bosques naturales de Nicaragua. Turrialba, Costa Rica., CATIE, 1983. 39 p. (mimeografiado).
12. SALAZAR, R. y ROSE, D. Rendimiento de leña de árboles individuales de *Guazuma ulmifolia* Lam en potreros en Hojancha, Guanacaste, Costa Rica. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 1983. 12 p. (mimeografiado).
13. SOMARRIBA, E. Árboles de guayaba (*Psidium guajava* L.) en pastizales. I. Producción de fruta y potencial de dispersión de semillas. *Turrialba* 35(3):289-296. 1985.
14. SOMARRIBA, E. Guayaba (*Psidium guajava* L.) asociado con pastos: Métodos de análisis volumétrico y potencial de producción de leña. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 1982. 33 p. (mimeografiado).
15. STANEK, W. and STATE, D. Equations predicting primary productivity (biomass) of trees, shrubs and lesser vegetation, based on current literature. Victoria, B.C. Canadian Forestry Service, Pacific Forest Research Centre. 1978. 59 p.
16. TELFER, E.S. Weight-diameter relationships for 22 woody plant species. *Canadian Journal of Botany* 47:1851-1855. 1969.
17. TORRES, A.S., SEVILLA, E.L. y RODRIGUEZ, H.H. Análisis de las especies usadas y preferidas para leña en diferentes regiones de Costa Rica. Turrialba, Costa Rica, CATIE, 1981. 27 p. (mimeografiado).
18. WHITTAKER, H. and WOODWELL, G.M. Dimension and production relations of trees and shrubs in the Brookhaven Forest, New York. *Journal Ecology* 56(1):1-25. 1968.