

Efecto de la iluminación de copa en el crecimiento de *Pentaclethra macroloba* y *Goethalsia meiantha* Implicaciones para la silvicultura de los bosques tropicales húmedos¹

Octavio Galván

WWF-Perú, Iquitos, Perú
ogalvan@catie.ac.cr

Bastiaan Louman

CATIE. blouman@catie.ac.cr

Glenn Galloway

CATIE. galloway@catie.ac.cr

German Obando

FUNDECOR. gobando@fundecor.org

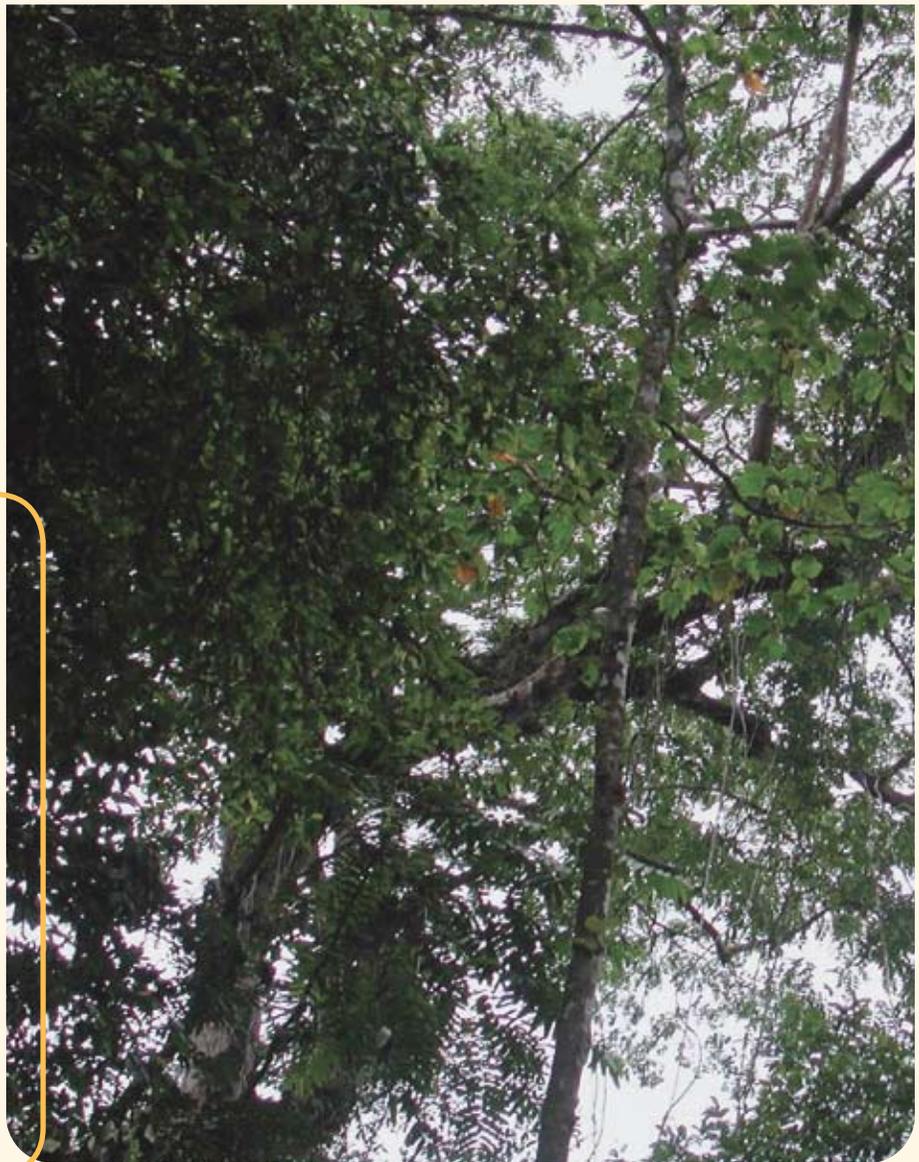


Foto: Sara Yalle.

Los diferentes comportamientos mostrados por las dos especies permiten afirmar que se requiere investigar los requerimientos de iluminación sobre las copas de las especies tropicales, en función de las exigencias que plantea el gremio ecológico al que pertenecen y las características intrínsecas de las mismas.

¹ Basado en Galván Gildemeister, OFJ. 2003. Efecto de la iluminación de la copa sobre el crecimiento de *Pentaclethra macroloba* y *Goethalsia meiantha* e implicaciones para la silvicultura de los bosques tropicales húmedos. Tesis Mag. Sc. Turrialba. CR, CATIE. 67 p.

Resumen

En Costa Rica se propone aumentar el crecimiento de árboles comerciales por medio de la eliminación de individuos competidores alrededor del árbol de futura cosecha (AFC), de manera que aumente la disponibilidad de iluminación al AFC y, por ende, su crecimiento. Se estudió la importancia del grado de iluminación para el crecimiento de dos especies (*Pentaclethra macroloba* y *Goethalsia meiantha*) en los bosques húmedos tropicales de la zona norte de Costa Rica. La primera especie es tolerante a la sombra; la segunda requiere de luz desde las fases iniciales de su desarrollo. En parcelas permanentes de medición se midieron el dap; la iluminación, forma y diámetro de la copa; la densidad circundante, la infestación de lianas, la posición topográfica y la relación altura de copa-altura total a un total de 1088 árboles de *P. macroloba* y 146 de *G. meiantha*. Los resultados muestran que la iluminación es uno de los factores determinantes para el crecimiento de individuos de *G. meiantha* con un dap menor a 40 cm. En *P. macroloba* no se detectó la relevancia de la iluminación de copa sobre el crecimiento secundario. Otros factores que influyen en el crecimiento de ambas especies son el tamaño del árbol y el diámetro y forma de copa. Se necesita investigar si estos últimos fueron influidos por condiciones de iluminación anteriores a las mediciones. Los resultados también muestran la importancia del área basal como variable en la toma de decisiones sobre la aplicación de tratamientos y el momento de la cosecha.

Palabras claves: Crecimiento; iluminación; *Pentaclethra macroloba*; *Goethalsia meiantha*; bosque tropical húmedo; silvicultura; regímenes de luz; Costa Rica.

Summary

The effect of crown position on the growth of *Pentaclethra macroloba* y *Goethalsia meiantha*; implications for silviculture in humid tropical forests.

In Costa Rica, increases in diameter increment of commercial trees is sought by eliminating competing individuals around a future harvestable tree (FHT), so as to increase available light to favour its growth. The importance of the availability of light for tree growth was studied for two species (*Pentaclethra macroloba* and *Goethalsia meiantha*) in northern Costa Rica humid tropical forests. The first species is shade tolerant; the second requires direct light from the seedling stage onward. In permanent sample plots the following variables were measured in 1088 trees of *P. macroloba* and 146 of *G. meiantha*: dbh; crown position, form, and diameter; surrounding stocking basal area; vine infestation, topographical position, and the relation between total height and crown length. Results show that light availability influences tree growth of individuals of *G. meiantha* smaller than 40 cm dbh. Crown diameter and form influence growth of individuals of both species. These variables were probably influenced by light availability in early growth phases, prior to measurements taken for this study, but this conclusion needs to be confirmed by further research. Results also show the importance of taking basal area, rather than dbh growth as a variable in determining timing of silvicultural treatments and harvest.

Keywords: Growth; lightfall; *Pentaclethra macroloba*; *Goethalsia meiantha*; humid tropical forest; silviculture; light regimes; Costa Rica.

A pesar de los esfuerzos que se están realizando, la deforestación y degradación de los bosques tropicales húmedos continúa en América Latina. En América del Sur, la tasa de deforestación durante la década 1990-2000 fue del 0,41%, casi el doble de la tasa mundial (FAO 2000). La deforestación ocurre principalmente debido a factores socioeconómicos (pobreza y aumento poblacional), en combinación con factores institucionales y tecnológicos (Geist y Lambin 2002).

Aunque la sociedad considera la extracción de madera como una causa directa de la extinción de especies y degradación del medio ambiente (Boyle y Sayer 1995), varios estudios han demostrado que la extracción de madera difícilmente elimina especies (*e.g.* Sayer *et al.* 1995, Finegan *et al.* 2001). Por esta razón, se propone complementar las áreas naturales protegidas con bosques bien manejados (Sayer *et al.* 1995). En estos bosques, la forestería debe reponer la madera extraída e incrementar la productividad mediante tratamientos silviculturales simples, eficientes y de bajo costo (Hutchinson 1987).

Entre los tratamientos silviculturales, la liberación tiene el objetivo de aumentar la iluminación de la copa de los árboles ya establecidos (Quirós 2001), bajo la premisa de que el crecimiento del árbol depende de la cantidad de luz que recibe su copa. No obstante, como señala Wadsworth (2000), los resultados de la liberación (en términos de eficiencia, productividad y rentabilidad financiera) no son bien conocidos. Esta investigación pretende determinar la importancia del factor iluminación de la copa en el incremento diamétrico y basimétrico de *Pentaclethra maculosa* y *Goethalsia meiantha*, en comparación con otras variables.

Entre los tratamientos silviculturales, la liberación tiene el objetivo de aumentar la iluminación de la copa de los árboles ya establecidos, bajo la premisa de que el crecimiento del árbol depende de la cantidad de luz que recibe su copa.

Materiales y métodos

El estudio se realizó con la información de una base de datos y de mediciones colectadas en un muestreo de campo. Todos los datos provienen de parcelas permanentes de medición (PPM) establecidas por la Fundación para la Conservación de la Cordillera Volcánica Central (FUNDECOR) en el cantón de Sarapiquí, provincia de Heredia, Costa Rica y la Empresa PORTICO S.A. en el cantón de Pococí, provincia de Limón, Costa Rica. El sector de Sarapiquí tiene una temperatura media mensual que oscila entre 24,7 y 27,1°C y una precipitación media anual de 3962 mm (Sanford *et al.* 1994). Para el sitio de Pococí se reporta una temperatura media anual entre 21,1 y 30,7°C y una precipitación media anual de 4650 mm (Forestales L&S s.f.); el terreno es plano, con drenaje interno deficiente y temporalmente inundable (Forestales L&S s.f.). Lo anterior permitió comparar el crecimiento de *P. maculosa* en bosques inundables y no inundables; *G. meiantha* sólo se encuentra en bosques no inundables. Ambas especies fueron seleccionadas por su valor comercial, abundancia de individuos y pertenencia a gremios ecológicos distintos.

Variable de respuesta.- La variable de respuesta fue el incremento

periódico anual del dap (cm/año) y del área basal (m²/año), el cual tiende a eliminar (parcialmente) el efecto de las fluctuaciones anuales (Husch *et al.* 1982). No se tomaron en cuenta los árboles en los que la altura de medición del dap había variado en mediciones sucesivas. Tampoco se consideraron aquellos con incrementos mayores a 2,5 cm/año ó menores a -0,2 cm/año (Louman *et al.* 2001b).

Variables determinísticas o independientes.- Estas son variables que influyen (individual o asociadamente) en el crecimiento. En este estudio se consideraron:

- **Iluminación de copa.** Se utilizó la clasificación de Hutchinson (1993) (adaptada de Dawkins 1958). Tal como sugieren Pinelo (2000) y Louman *et al.* (2001b), esta clasificación se simplificó en tres categorías: *buena* (luz plena vertical y lateral, luz plena vertical), *aceptable* (alguna luz vertical) y *deficiente* (luz lateral, sin luz vertical ni lateral).
- **Forma de copa.** Se evaluó mediante la clasificación de Synnott (1991) (adaptada de Dawkins 1958): *perfecta* (círculo completo), *buena* (círculo irregular), *tolerable* (medio círculo), *pobre* (menos de medio círculo), *muy pobre* (sólo una o pocas ramas).
- **Diámetro del fuste (dap).** Medido a la altura señalada por mediciones anteriores; los dap se agruparon en las clases diamétricas comúnmente utilizadas (*Clase 10-20*: 10-19 cm, etc. hasta *Clase >60*: ≥60 cm).
- **Diámetro de copa.** Definido como el promedio del diámetro máximo y el diámetro perpendicular al diámetro máximo. Las clases de diámetro de copa se formaron mediante la relación diámetro de copa-diámetro de fuste de 20 a 1 (Dawkins 1963): *Clase 1*: 200-399 cm, *Clase 2*: 400-599 cm, etc. hasta *Clase 6*: ≥1200 cm).

■ **Densidad circundante.** Área basal de árboles, arbustos y palmas (dap ≥ 10 cm) que se encontraron en un radio de 6 m, alrededor de cada árbol medido de *P. macroloba* y *G. meiantha*. Se formaron tres categorías de vegetación circundante: Categoría 1 conformada por individuos circundantes con dap de 10 cm hasta 29,9 cm (*Clase 1*: de 0,008 a 0,094 m²); Categoría 2 por individuos con dap de 10 cm hasta de 49,9 cm (*Clase 2*: de 0,095 m² a 0,269 m²) y Categoría 3 por individuos con dap de 10 cm hasta ≥ 50 cm (*Clase 3*: de 0,27 a 1,59 m²).

■ **Infestación de lianas (y hemiepi-fitas) en la copa.** Se utilizó la clasificación de Clark y Clark (1990), la cual indica el porcentaje de ocupación por lianas: 1 = 0%, 2 = 1-25%, 3 = 26-50%, 4 = 51-75% y 5 = 76-100%.

■ **Posición topográfica.** Se refiere a la posición del árbol en el terreno: *cima*, *ladera*, *parte baja no inundable* y *parte baja inundable*.

■ **Altura total - altura de copa.** Es la razón entre la altura total y la altura de la copa, donde la altura de la copa comprende desde el ápice del árbol hasta el nivel más bajo con follaje (Philip 1994). Se establecieron dos categorías: 1 = altura de copa menor al 25% de la altura total del árbol y 2 = altura de copa mayor al 25% pero menor al 50% de la altura total del árbol.

Los incrementos se calcularon utilizando el dap de la primera y última medición. Para *P. macroloba* el efecto de la iluminación de copa se analizó con la última medición de la base de datos, pero para *G. meiantha* el análisis empleó los datos del muestreo de campo. En ambas especies se comparó el efecto de la iluminación de copa con el efecto de las otras variables; para ello se utilizó la información colectada por un muestreo en las PPM de FUNDECOR (bosque no inundable). Para *P. macroloba*,



Foto: Sara Yalle.

El monitoreo del crecimiento de las especies se mantiene como una necesidad ineludible para el manejo del bosque húmedo tropical

las PPM se seleccionaron de acuerdo con las facilidades de transporte y accesibilidad; el número de árboles a muestrear se calculó mediante el método de cálculo para un muestreo por conglomerados con un límite de confianza del 5%. Este tipo de muestreo no se aplicó para *G. meiantha* pues, en este caso, se midieron casi todos los árboles que existían en las PPM de una sola finca.

Los análisis estadísticos se hicieron con el programa SAS. El análisis de covarianza utilizó como covariable el número de años del periodo de medición cuando este varió entre las PPM. Este análisis permitió discriminar el efecto de los factores transitorios sobre el incremento (Husch *et al.* 1982).

Resultados

Pentaclethra macroloba

Influencia del tipo de iluminación de copa

El análisis de covarianza ($n = 1088$) con modelo matemático irrestricto al azar (factores: iluminación de

copa y clase diametral de fuste; covariable: periodo de años) por tipo de bosque (no inundable en Sarapiquí e inundable en Pococí) señaló que en los bosques no inundables ($n = 619$, correspondiente a seis fincas) el efecto de la iluminación de copa no fue significativo. En los bosques inundables ($n = 469$), la iluminación de copa tuvo un efecto altamente significativo ($p = 0,0005$) en el incremento diamétrico y significativo ($p = 0,0295$) en el incremento basimétrico.

Para los bosques inundables se hizo un análisis separando los bosques aprovechados de los no aprovechados. En los bosques aprovechados ($n = 244$, fincas *Mata de Banano* y *Gerardo Fallas*) no se detectó ninguna significancia. En el bosque no aprovechado ($n = 225$, finca *Sardinas*), el efecto de la iluminación de copa fue altamente significativo sobre el incremento diamétrico ($p = <0,0001$) y basimétrico ($p = 0,0003$); pero se encontró que este efecto no es independiente de

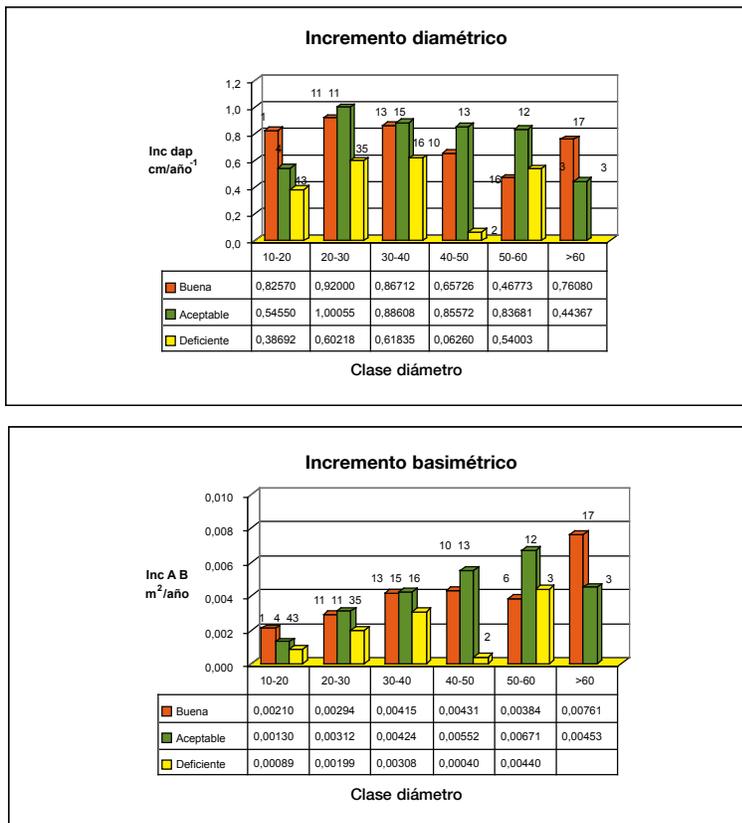


Figura 1. Incremento diamétrico (a) y basimétrico (b) de *Pentaclethra macroloba* por iluminación de copa y clase diamétrica de fuste en el bosque inundable no aprovechado (Sardinas)

la clase diametral de fuste del árbol (Fig. 1). La prueba de Kruskal-Wallis halló que la iluminación de copa fue significativa (para el incremento diamétrico y basimétrico) en las clases diamétricas 20-30 ($p = 0,0129$ y $0,0149$, respectivamente) y 40-50 ($p = 0,0196$ y $0,0194$, respectivamente).

Influencia de la clase diamétrica

Al analizarse el incremento de todos los árboles, se obtuvo un efecto altamente significativo de la clase diamétrica de fuste sobre ambos incrementos ($p = <0,0001$). Lo anterior se mantuvo cuando se disgregó la información por tipo de bosque (inundable y no inundable) y también cuando en los

bosques inundables se discriminó entre bosque aprovechado y no aprovechado.

En el bosque inundable, el menor incremento diamétrico se registró en la *clase 10-20* y en el bosque no inundable en la *clase >60*. En ambos tipos de bosque, el incremento basimétrico aumentó en relación directa con la clase diamétrica; no obstante, en el bosque no inundable el incremento disminuyó en la *clase >60* (Fig. 2).

Influencia de otros factores

La influencia de otros factores se evaluó exclusivamente en los bosques no inundables. La selección de las principales variables determinísticas mediante el método “paso

a paso” (*stepwise*) indicó que los incrementos diamétrico y basimétrico se relacionan principalmente con las variables diámetro de copa, dap, forma de copa, topografía, lianas e iluminación de copa (Cuadro 1). Los parámetros estimados del dap indicaron tendencias contrarias: al aumentar el dap disminuye el incremento diamétrico pero aumenta el incremento basimétrico. Por esta razón, se decidió analizar (análisis de varianza) el efecto de las variables regresoras sobre el incremento basimétrico, el cual se relaciona directamente con el incremento volumétrico.

De dicha evaluación se encontró que:

- La infestación de 26 a 50% de la copa resultó en un menor crecimiento basimétrico que con menores infestaciones; este nivel de infestación sólo se encontró en las clases diamétricas entre 20 y 60 cm. El incremento basimétrico aumentó en relación directa con el diámetro de copa ($p = <0,0001$); la prueba de Duncan arrojó diferencias entre las clases de copa 1-2, 3-4, 5 y 6 (Fig. 3). La infestación de lianas no influyó en estos resultados ($p = <0,4172$).
- El incremento basimétrico fue afectado por la forma de copa ($p = <0,0001$) y aumentó conforme mejoró esta. Se hallaron diferencias significativas entre la copa *perfecta* y las copas *tolerable*, *pobre* y *muy pobre*, así como entre la copa *buena* y la *muy pobre*.
- Se encontraron efectos significativos de la topografía ($p = 0,0154$); la prueba de Duncan arrojó diferencias entre la *parte baja inundable* y la *ladera* y la *cima*, así como entre la *parte baja no inundable* y la *cima*.
- Pruebas de Chi cuadrado detectaron asociación entre la iluminación de copa con la clase diamétrica de copa ($p = <0,0001$) y la forma de la misma ($p = 0,0026$).

Goethalsia meiantha

Influencia de la iluminación de copa

El análisis de varianza ($n = 146$), con modelo matemático irrestricto al azar (factores: iluminación de copa y clase diametral de fuste), indicó que el efecto de la iluminación de copa fue altamente significativo para el incremento en diámetro ($p = 0,0002$) y en área basal ($p = 0,0002$). La prueba de Duncan encontró diferencias significativas entre la iluminación *deficiente* y las iluminaciones *buenas* y *aceptables* (Fig. 4).

La prueba de Kruskal-Wallis señaló que se encontró un efecto significativo de la iluminación de copa (sobre el incremento diamétrico y basimétrico) solamente en la *clase 20-30* ($p = 0,0338$ y $0,0182$, respectivamente); si se aceptara una probabilidad de 90%, también sería significativo en las *clases 10-20* ($p = 0,0743$ y $0,0524$, respectivamente) y *30-40* ($0,0530$ y $0,0583$, respectivamente). No se encontró este efecto en las *clases diamétricas superiores* debido a que no tenían árboles con iluminación deficiente.

Influencia de la clase diamétrica

El análisis de varianza ($n = 146$) halló que el efecto de la clase de diámetro para los incrementos diamétrico y basimétrico fue no significativo ($p = 0,1466$) y altamente significativo ($p = 0,0001$) respectivamente. El incremento basimétrico aumentó en relación directa con la clase de diámetro, con diferencias significativas entre

las *clases 10-20* y *20-30* con cada una de las otras *clases*.

Influencia de otros factores

En esta especie se encontró que el incremento basimétrico está más relacionado (en orden descendente) con las variables *dap*, diámetro de

copa, densidad circundante y forma de copa (Cuadro 2). De las variables determinísticas, se consideró a la densidad circundante como variable manejable. La prueba de Chi cuadrado detectó una dependencia altamente significativa ($p = <0,0001$) de la iluminación de copa con la forma

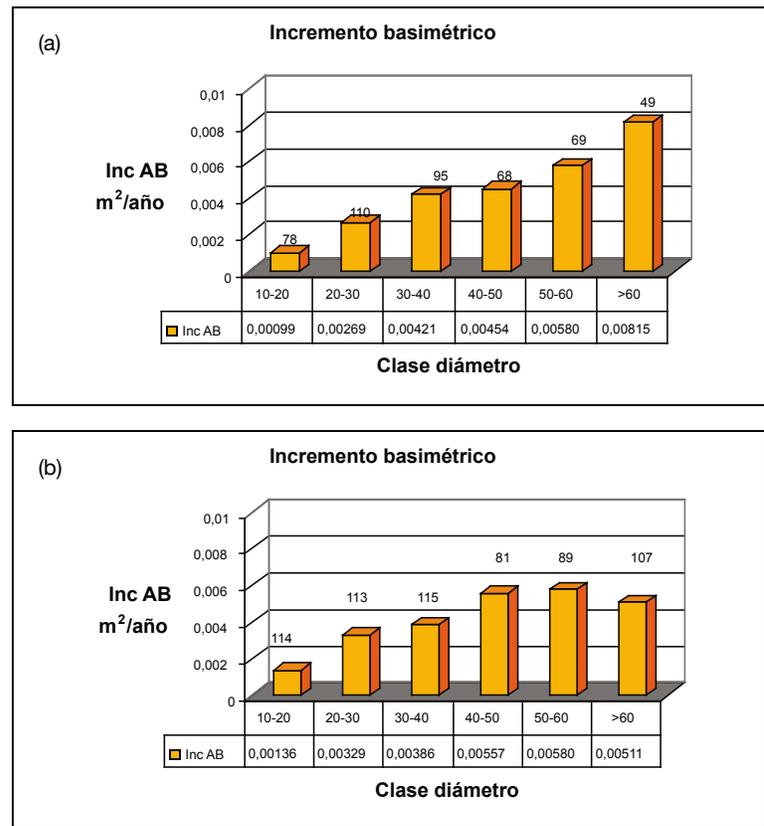


Figura 2. Incremento basimétrico de *Pentaclethra macroloba* por clase diamétrica de fuste en el bosque inundable (a) y no inundable (b) (números sobre las barras = n; Prueba de T para medias ajustadas: letras diferentes = diferencias significativas)

Cuadro 1.

Principales variables regresoras para el incremento diamétrico y basimétrico de *Pentaclethra macroloba* ($n = 501$)

Variable	Incremento diamétrico		Variable	Incremento basimétrico	
	Parámetro estimado	Pr > F		Parámetro estimado	Pr > F
Forma copa	-0,13523	<0,0001	Diámetro copa	0,00040472	<0,0001
dap	-0,01046	<0,0001	dap	0,0005011	<0,0001
Posición topográfica	0,14871	0,0002	Forma copa	-0,00073974	<0,0001
Lianas	-0,13358	0,0005	Posición topográfica	0,00077796	0,0002
Diámetro copa	0,07101	0,0011	Lianas	-0,0008825	0,0006
Iluminación copa	-0,11077	0,0042	Iluminación copa	-0,00030445	0,1225

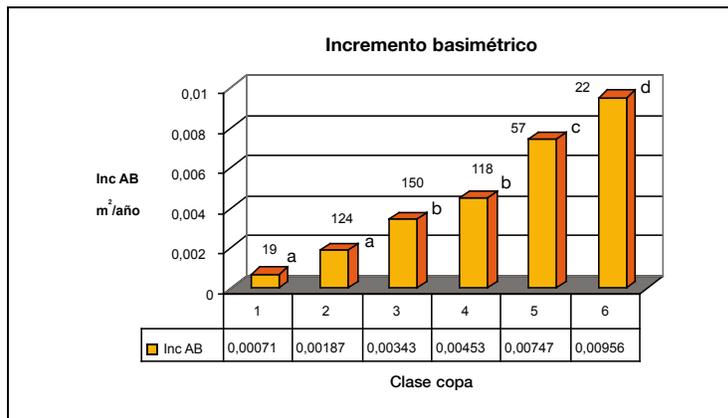


Figura 3. Incremento basimétrico de *Pentaclethra macroloba* por clase diamétrica de copa (números sobre las barras = n; Prueba de Duncan: letras diferentes = diferencias significativas)

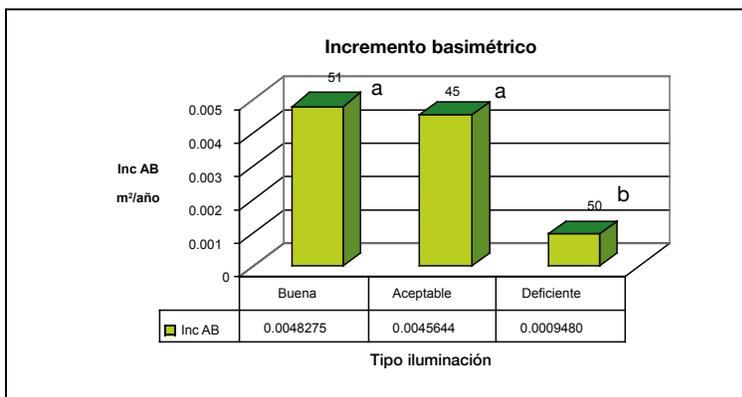
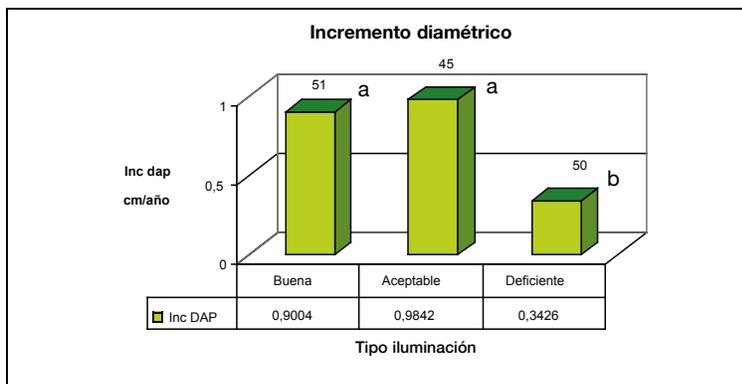


Figura 4. Incremento diamétrico y basimétrico de *Goethalsia meiantha* por iluminación de copa (números sobre las barras = n; Prueba de Duncan: letras diferentes = diferencias significativas)

de copa, clase diamétrica de copa y densidad circundante.

Para caracterizar las principales variables, se evaluó el efecto (mediante un análisis de varianza) de la densidad circundante (como variable a manejar) con el diámetro de fuste y de copa. Al analizarse conjuntamente con el diámetro de fuste, la densidad circundante tuvo un efecto significativo sobre el incremento en área basal ($p = 0,0013$). A menor densidad circundante hay mayor incremento basimétrico en las clases diamétricas menores y de 50-60 cm (Fig. 5). El efecto negativo de la densidad circundante se encontró en todas las clases diamétricas de la copa.

Discusión

Crecimiento de las especies *Pentaclethra macroloba*

Influencia del tipo de iluminación de copa

En los bosques no inundables, el efecto no significativo de esta variable podría explicarse porque la tasa máxima de fotosíntesis neta² se alcanzaría con bajos niveles de intensidad lumínica, lo cual determinaría que no se detecte (estadísticamente) la relevancia del tipo de iluminación de copa. Este estudio no concuerda con los resultados de Sabogal *et al.* (2001) en La Lupe, Nicaragua, ni con Camacho y Finegan (1997) en La Tirimbina, Costa Rica. Dichos autores encontraron que *P. macroloba* aumentó su incremento diamétrico por efecto de un aumento en la iluminación sobre la copa de los árboles favorecidos por una liberación. Camacho y Finegan (1997) sugieren que lo anterior podría deberse a la disminución de la competencia por recursos del suelo, aunque el presente estudio no encontró que la densidad circundante sea una variable importante. Para los bosques inundables, los resultados de este estudio serían preliminares, dado el escaso número de bosques evaluados.

² Corresponde al punto de saturación lumínica o intensidad de luz desde la cual su aumento no ocasiona un incremento en la tasa de fotosíntesis neta (Daniel *et al.* 1982).

Cuadro 2.

Principales variables regresoras para el incremento diamétrico y basimétrico de *Goethalsia meiantha* (n = 146)

Variable	Incremento diamétrico		Variable	Incremento basimétrico	
	Parámetro estimado	Pr > F		Parámetro estimado	Pr > F
Forma copa	-0,21169	<0,0001	dap	0,00010858	<0,0001
Topografía	0,24010	0,0293	Diámetro copa	0,00035148	0,0014
Diámetro copa	0,07866	0,0300	Densidad circund	-0,00188	0,0042
Densidad circundante	-0,41722	0,0390	Forma copa	-0,00060368	0,1275

Influencia del tamaño del árbol (dap)
La clase diamétrica de fuste fue una variable muy influyente en el incremento diamétrico y basimétrico. Se encontró que los árboles de *P. macroloba* se mantuvieron en crecimiento hasta las mayores clases de diámetro, aunque los mayores incrementos diamétricos ocurrieron en las clases diamétricas intermedias (20-30, 30-40 y 40-50), de modo que los incrementos diamétricos varían entre las clases diamétricas y tienden a declinar cuando los árboles son grandes.

El incremento basimétrico tuvo otro comportamiento. Incrementos más altos se obtuvieron en las clases diamétricas mayores (50-60 y >60). Este resultado es coherente con el estudio de Morataya *et al.* (1999), quienes, al probar la Teoría del Modelo Vascular en plantaciones de *Tectona grandis* y *Gmelina arborea*, encontraron que un árbol que mantiene un incremento constante de área de albura (área basal) necesariamente reduce su crecimiento en diámetro.

Influencia de la forma de copa, diámetro de copa, posición topográfica e infestación de lianas
Los resultados de este estudio coinciden con Dawkins (1958) (citado por Synnott 1991) en cuanto a que la forma de copa es una variable de mayor valor que la iluminación de copa para interpretar las tasas de crecimiento. La asociación entre iluminación de copa y forma de copa (también encontrada por Camacho

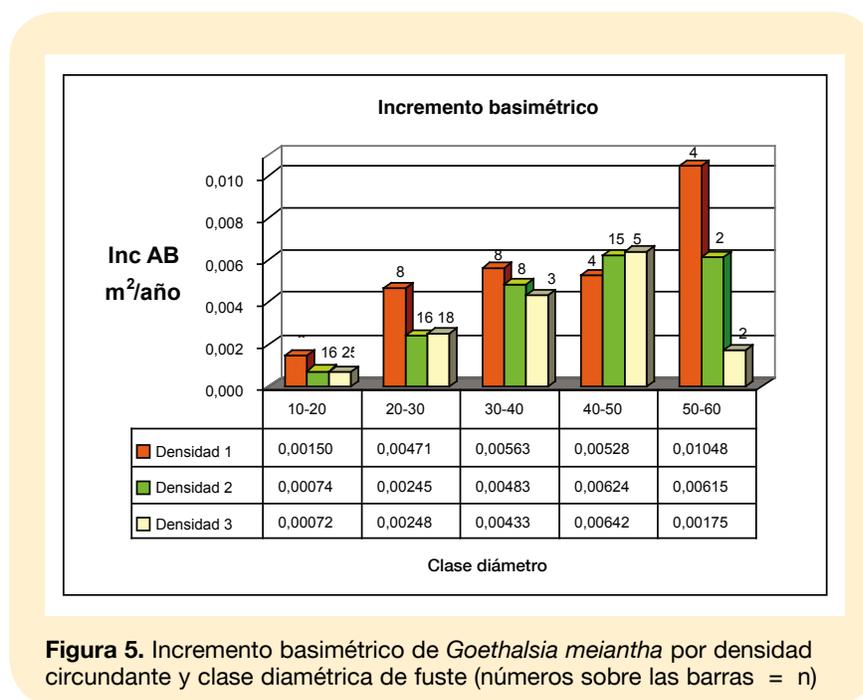


Figura 5. Incremento basimétrico de *Goethalsia meiantha* por densidad circundante y clase diamétrica de fuste (números sobre las barras = n)

y Finegan 1997) y diámetro de copa podría sugerir la necesidad de mejorar la iluminación de la copa en beneficio de los otros atributos y, por consiguiente, del incremento diamétrico y basimétrico. Sin embargo, pudiera ser que esta no necesariamente implique una relación de causa-efecto, por lo que se necesitaría mayor investigación al respecto. Asimismo, la relevancia de los atributos forma de copa y diámetro de copa sugeriría que la Teoría del Modelo Vascular investigada por Morataya *et al.* (1999) en plantaciones podría cumplirse en árboles de bosques naturales.

El análisis de regresión identificó a la infestación de lianas como

la única variable importante que se puede manejar; sin embargo, su efecto no se pudo separar de los otros factores, lo que indica posibles interacciones entre estos y la infestación de lianas. Esto no concuerda con los estudios de Camacho y Finegan (1997) y Clark y Clark (1990), quienes encontraron una relación significativa y negativa entre el crecimiento y la infestación de lianas. La diferencia de resultados podría deberse a la clasificación usada por Camacho y Finegan (1997) (que no considera niveles distintos de infestación en la copa), mientras que Clark y Clark (1990) quizás estudiaron especies más susceptibles a la infestación de lianas.

Goethalsia meiantha

Influencia del tipo de iluminación de copa

La influencia de la iluminación de la copa en las clases diametrales menores coincide con el comportamiento heliófito de la especie. Este rasgo del crecimiento se relaciona con el umbral de crecimiento de la especie (Louman *et al.* 2001a) y ofrece buenas oportunidades para practicar una liberación.

Influencia del tamaño del árbol (dap)

La clase de diámetro es una variable que influye significativamente sobre el incremento basimétrico pero no sobre el incremento diamétrico; esto coincide con un estudio de Gálvez (1996) sobre un grupo de especies heliófitas, el cual demostró que el incremento basimétrico no se detiene en los árboles más grandes (hasta 60 cm dap).

Influencia de la forma de copa, diámetro de copa, posición topográfica y densidad circundante

Para el incremento basimétrico, sólo la densidad circundante pudo ser considerada como variable apta para el manejo silvicultural, ya que es evidente la tendencia de que a menor densidad, mayor incremento. Lo anterior corrobora los estudios de Louman *et al.* (2001b) y Foli *et al.* (2003), quienes hallaron que el crecimiento (a nivel de rodal) disminuye con el aumento del área basal por hectárea.

Implicaciones para la silvicultura de los bosques tropicales húmedos

Para *P. maculoba*, la iluminación de copa no fue un atributo directamente relacionado con el incremento basimétrico. Variables más importantes fueron el diámetro de fuste, diámetro de copa y forma de copa; estos dos últimos relacionados con la cantidad de follaje y, probablemente, asociados con el historial de la iluminación de copa. Entonces,

por un lado, se podría proponer la no ejecución de liberaciones para esta especie; pero, por otro lado, se tendría que investigar si existe una intensidad y momento oportuno de aplicación para que las liberaciones beneficien el tamaño y la forma de copa e, indirectamente, los incrementos en diámetro y área basal.

No se recomienda realizar inversiones en tratamientos silviculturales hasta que investigaciones locales no demuestren su efectividad, eficiencia y rentabilidad. Además, se apoya la sugerencia de mantener estudios a largo plazo para monitorear la reacción de cada especie a los tratamientos silviculturales.

La iluminación de copa fue relevante para el crecimiento de *G. meiantha*, pero sólo para los árboles de las clases diamétricas menores; se constató que una liberación no beneficia indiscriminadamente a todos los árboles. También se evidenció la importancia de la densidad circundante, la cual se relaciona con la competencia por recursos del suelo. Esto obliga a recordar que la liberación disminuye la competencia por luz, pero no necesariamente por recursos del suelo, de manera que, tal como se ejecuta actualmente, sería insuficiente para favorecer los incrementos del fuste. Lo anterior indicaría que, convenientemente modificada, la guía de espaciamiento para liberar árboles (Wadsworth 2000) podría ser más útil que las prescripciones silviculturales que se obtienen de un muestreo diagnóstico.

Los diferentes comportamientos mostrados por las dos especies permiten afirmar que se requiere investigar los requerimientos de iluminación sobre las copas de las especies tropicales, en función de las exigencias que plantea el gremio ecológico al que pertenecen y las características intrínsecas de las mismas. Además, esto sugeriría que debe revisarse la utilidad de los criterios que deciden la aplicación de la liberación; por ejemplo, la información del muestreo diagnóstico que determina la necesidad de un tratamiento silvicultural, pues además del tipo de iluminación de copa de los árboles de futura cosecha, habría que considerar también la especie y/o el gremio ecológico al que pertenecen.

Finalmente, este estudio no recomendaría realizar inversiones en tratamientos silviculturales hasta que investigaciones locales no demuestren su efectividad, eficiencia y rentabilidad; lo cual ya fue sugerido por Synnott (1994) para los bosques de El Petén, Guatemala. Además, se apoya la sugerencia de Hutchinson (1987) de mantener estudios a largo plazo para monitorear la reacción de cada especie a los tratamientos silviculturales. Sólo el monitoreo puede mostrar los efectos positivos de un tratamiento silvicultural (Hutchinson 1993) y ampliar el conocimiento de la dinámica del bosque para su manejo (Alder 1997).

Conclusiones y recomendaciones

■ En los bosques no inundables, el crecimiento secundario del fuste de *P. maculoba* no mostró una relación significativa con el incremento de iluminación de copa; o sea que no todos los árboles están en condiciones de responder a un aumento en la iluminación. Este comportamiento podría verse modificado bajo condiciones hidromórficas del suelo.

- Por su carácter heliófito, *G. meiantha* reacciona favorablemente al incremento de iluminación de copa; el momento oportuno para manejar la iluminación de copa es cuando los árboles tienen un dap entre 10 y 40 cm.
- Se sugiere investigar la práctica de raleos circundantes a los árboles de futura cosecha de *G. meiantha*, dado que los tratamientos silviculturales podrían beneficiar el crecimiento al reducir la competencia por recursos del suelo e intensidad lumínica.
- No debe generalizarse la creencia de que la liberación beneficia directamente el crecimiento secundario (dap o área basal) del fuste de los árboles. Aun en especies que responden positivamente a la liberación, es importante determinar el momento apropiado para su aplicación.
- Para las dos especies, el incremento periódico en área basal aumenta en relación directa con el dap. Esta tendencia se mantiene (inclusive) en los árboles con dap mayores a 60 cm y debe considerarse como otro criterio para decidir el momento oportuno para la cosecha de los árboles.
- La relevancia del diámetro de copa y forma de copa, además de su asociación con la iluminación de copa, sugieren que el manejo de la iluminación de copa (indirectamente) mejoraría el crecimiento del fuste. Por lo tanto, tendría que determinarse la intensidad y el momento oportuno para que un tratamiento silvicultural (disminución de la competencia por luz y recursos del suelo, mediante el manejo de la densidad circundante) mejore los atributos relevantes para el crecimiento de los árboles.
- El monitoreo del crecimiento de las especies se mantiene como una necesidad ineludible para el manejo del bosque húmedo tropical. 🌿

Literatura citada

- Alder, D. 1997. Guía del usuario para SIRENA II: modelo de simulación para el manejo de los bosques tropicales naturales. Ciudad Quesada, CR, CODEFORSA. 58 p.
- Boyle, T; Sayer, J. 1995. Measuring, monitoring and conserving biodiversity in managed tropical forests. *Commonwealth Forestry Review* 74(1):20-25.
- Camacho, M; Finegan, B. 1997. Efectos del aprovechamiento forestal y el tratamiento silvicultural en un bosque húmedo del noreste de Costa Rica: el crecimiento diamétrico con énfasis en el rodal comercial. Turrialba, CR, CATIE. 38 p. (Serie Técnica. Informe Técnico no. 295).
- Clark, DB; Clark, DA. 1990. Distribution and effects on tree growth of lianas and woody hemiepiphytes in a Costa Rican tropical wet forest. *Journal of Tropical Ecology* 6(3):321-331.
- Daniel, PW; Helms, UE; Baker, FS. 1982. Principios de silvicultura. 2 ed. México DF, Mc Graw-Hill. 490 p.
- Dawkins, HC. 1958. The management of natural tropical high forest with special reference to Uganda. Oxford, UK, Imperial Forestry Institute, University of Oxford. 155 p.
- Dawkins, HC. 1963. Crown diameters: their relation to bole diameter in tropical forest trees. *Commonwealth Forestry Review* 42(2):318-333.
- FAO. 2000. Forest Resource Assessment. Consultado 11-2002. <http://www.fao.org/forestry/fo/fra/index.jsp>
- Finegan, B; Delgado, D; Camacho, M; Zamora, N. 2001. Timber production and plant biodiversity conservation in a Costa Rican rain forest: an experimental study and its lessons for adaptive sustainability assessment. In Franc, A; Laroussinie, O; Karjalainen, T. eds. 2000. Criteria and Indicators for Sustainable Forest Management at the Forest Management Unit Level. EFI Proceedings no. 38. Nancy, FR, CIFOR, CATIE, FAO, ECOFUR, IUFRO, EFI. p.123-133.
- Foli, EG; Alder, D; Miller, HG; Swaine, MD. 2003. Modelling growing space requirements for some tropical forest tree species. *Forest Ecology and Management* 173(1-3):79-88.
- Forestales L&S. (s.f.). Plan de ordenación forestal para la finca del Sr. Guido Madrigal, Río Penitencia, Colorado, Pococí, Limón. s.n.t. 155 p.
- Gálvez, JJ. 1996. Elementos técnicos para el manejo forestal diversificado de bosques naturales tropicales en San Miguel, Petén, Guatemala. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 163 p.
- Geist, HJ; Lambin, EF. 2002. Proximate causes and underlying driving forces of tropical deforestation. *Bioscience* 52(2):143-150.
- Husch, B; Miller, CI; Beers, TW. 1982. Forest mensuration. 3 ed. New York, US, John Wiley&Sons. 402 p.
- Hutchinson, ID. 1987. Improvement thinning in natural tropical forests: aspects and institutionalization. In Mergen, F; Vincent, JR. Natural management of tropical moist forests: silvicultural and management prospects of sustained utilization. New Haven, US, Yale University. p.113-133.
- Hutchinson, ID. 1993. Puntos de partida y muestreo diagnóstico para la silvicultura de bosques naturales del trópico húmedo. Turrialba, CR, CATIE. 32 p. (Serie Técnica. Informe Técnico no. 204. Colección Silvicultura y Manejo de Bosques Naturales no. 7).
- Louman, B; Valerio, J; Jiménez, W. 2001a. Bases ecológicas. In Louman, B; Quirós, D; Nilsson, M. Eds. Silvicultura de bosques latifoliados húmedos con énfasis en América Central. Turrialba, CR, CATIE. p. 21-78. (Serie Técnica. Manual Técnico no. 46).
- Louman, B; Pinelo, G; Morales, J. 2001b. Informe de avances en el monitoreo de la dinámica del bosque en Petén, Guatemala. s.l., CONAP, CATIE, NPV. 27 p.
- Morataya, R; Galloway, G; Berninger, F; Kanninen, M. 1999. Foliage biomass-sapwood (area and volume) relationships of *Tectona grandis* L.F. and *Gmelina arborea* Roxb.: silvicultural implications. *Forest Ecology and Management* 113(2-3):231-239.
- Pinelo M, GI. 2000. Manual para el establecimiento de parcelas permanentes de muestreo en la Reserva de Biosfera Maya, Petén, Guatemala. Turrialba, CR, CATIE. Serie Técnica. Manual Técnico no. 40. 52 p. (Colección Manejo Forestal en la Reserva de la Biosfera Maya Petén, Guatemala no. 10).
- Philip, MS. 1994. Measuring trees and forests. Wallingford, UK, CABI. 310 p.
- Quirós M, D. 2001. Tratamientos silviculturales. In Louman, B; Quirós, D; Nilsson, M. eds. Silvicultura de bosques latifoliados húmedos con énfasis en América Central. Turrialba, CR, CATIE. p. 131-153. (Serie Técnica. Manual Técnico no. 46).
- Sabogal, C; Castillo, A; Mejía, A; Castañeda, A. 2001. Aplicación de un tratamiento silvicultural experimental en un bosque de La Lupe, Río San Juan, Nicaragua. Turrialba, CR, CATIE. 37 p. (Colección Manejo Diversificado de Bosques Naturales no. 22).
- Sanford, R; Paaby, P; Luvall, JC; Phillips, E. 1994. Climate, geomorphology and aquatic systems. In Mc Dade, LA; Bawa, KS; Hespeneheide, HA; Hartshorn, GS. Eds. La Selva, US, The University of Chicago Press. p. 19-33.
- Sayer, JA; Zuidema, PA; Rijks, MH. 1995. Managing for biodiversity in humid tropical forests. *Commonwealth Forestry Review* 74(4):282-287.
- Synnott, TJ. 1991. Manual de procedimientos de parcelas permanentes para bosque húmedo tropical. Trad. J Valerio. Cartago, CR, Instituto Tecnológico de Costa Rica. 103 p.
- Synnott, TJ. 1994. Concesiones de manejo forestal para la Reserva Biosfera Maya, Petén, Guatemala. p.irr.
- Wadsworth, FH. 2000. Producción forestal para América tropical. Manual de Agricultura 710-S. Washington, US, USDA. 603 p.