

# Relaciones entre follaje y albura en *Tectona grandis* y *Gmelina arborea*

aplicación de la Teoría del Modelo Vascular e implicaciones de manejo

Ricardo Morataya  
Glenn Galloway

## Resumen

La mayoría de las plantaciones forestales establecidas en América Central carecen de manejo silvicultural apropiado. Este problema se agrava en plantaciones destinadas a la producción de madera para aserrío, donde el éxito depende de la obtención de árboles con un buen desarrollo en diámetro. Una de las causas de las deficiencias en el manejo silvicultural es el poco entendimiento por parte de algunos técnicos forestales y reforestadores acerca de la importancia de raleos oportunos en plantaciones forestales. En este artículo se presenta un estudio que demuestra la relevancia de los raleos, mediante un análisis de las relaciones entre albura y biomasa del follaje en árboles de *Tectona grandis* L.F. (teca), y *Gmelina arborea* Roxb. (melina) evaluando la aplicación de la Teoría de Modelo Vascular (TMV). Para llevar a cabo el estudio, se muestrearon 80 árboles (40 por especie) de plantaciones sin raleos, con raleos de baja intensidad y/o tardíos, con raleos oportunos y finalmente de linderos donde los árboles casi alcanzan un libre crecimiento. Se determinó que la Teoría del Modelo Vascular (TMV) aplica en ambas especies. Los resultados demuestran que se debe favorecer el desarrollo de las copas de los árboles (aumento en la biomasa de follaje) desde los primeros años sin permitir una recesión prematura de copas si se desea producir madera para aserrío.

## Summary

**Relationships between foliage and sapwood in *Tectona grandis* L.F. and *Gmelina arborea* Roxb.: applicability of the Pipe Model Theory and silvicultural implications.** The majority of the tree plantations established in Central America lack appropriate silvicultural management. This problem is more serious in plantations grown for sawtimber, where success depends on the production of large diameter trees. One of the principal causes of deficient silvicultural management is that landowners and technical foresters involved in plantation establishment often possess a poor understanding of the importance of timely density reductions in established stands. This study demonstrates the importance of thinning by examining the relationships between sapwood and foliage biomass in trees of *Tectona grandis* L.F. (teak) and *Gmelina arborea* Roxb. (melina) and evaluating the applicability of the Pipe Model Theory to these species. To carry out the study, 80 trees were sampled (40 per species) from un-, late and early thinned plantations and from fencerow plantings where open grown conditions prevailed during the first years of tree development. It was determined that the Pipe Model Theory is applicable to both species. The results show that it is important to favor tree crown development (allow foliage biomass to increase) without permitting premature crown recession if the aim is to produce sawtimber in established stands.

**Palabras clave:** *Tectona grandis*; *Gmelina arborea*; albura; superficie foliar; volumen; peso; crecimiento; biomasa; sistemas silviculturales; aclareo; técnicas de predicción; modelos; Costa Rica.

Los programas y proyectos de reforestación en los países de América Central y en muchos otros países del trópico y subtropical, han hecho esfuerzos considerables para establecer plantaciones forestales, pero han descuidado las etapas posteriores de su manejo silvicultural (Zanotti et. al. 1995; Sánchez 1994; Centeno 1993; Evans 1992; Galloway 1987). Esta situación es lógica desde el punto de vista histórico, pues en muchos países los programas de reforestación iniciaron recientemente y el énfasis se ha puesto en el establecimiento exitoso de los árboles.

Los objetivos de las plantaciones en América Central son variables, desde la obtención de leña de diámetro pequeño para uso doméstico, hasta madera para aserrío. Las plantaciones de *Tectona grandis* L.F., *Eucalyptus deglupta* Blume. (Sánchez 1994), *Acacia mangium* Willd., *Gmelina arborea* Roxb. y la mayoría de las plantaciones de coníferas, se cultivan para producir madera para aserrío.

Una de las operaciones silviculturales más importantes en el manejo de plantaciones forestales destinadas a producir madera para aserrío, es el raleo, cuyo objetivo es favorecer los mejores individuos para el turno final. Varios estudios sobre programas de plantaciones en América Central y en América del Sur, han demostrado que aunque existe un reconocimiento creciente de la necesi-

dad de aplicar raleos en plantaciones, hay una falta de claridad sobre el momento oportuno, la intensidad y la frecuencia de esta operación (Galloway et. al. 1996; Muziol y Sánchez 1992).

Actualmente, se practica con frecuencia el raleo de plantaciones en América Central, pero ello no garantiza que los árboles remanentes mantendrán o incrementarán su crecimiento en diámetro, ya que la respuesta de los árboles al raleo depende del estado de competencia de éstos en el momento de la intervención. Los árboles que han experimentado una competencia fuerte por luz (por ejemplo, en plantaciones raleadas en forma tardía), se caracterizan por tener copas pequeñas (poco follaje) y fustes delgados debido a un crecimiento pobre en diámetro. Por la reducida cantidad de follaje que poseen, dichos árboles captan pocos rayos solares y por ende, presentan niveles bajos de fotosíntesis y si responden a un raleo, la respuesta suele ser lenta y débil.

La anterior afirmación resalta el importante papel del follaje en el desarrollo de los árboles, especialmente en diámetro. Para poder anticipar la respuesta de los árboles en una plantación a un raleo, es importante comprender la relación que existe entre el crecimiento diametral y el follaje (cantidad y permanencia). Este estudio analizó esta relación para *T. grandis* L.F. (teca) y *G. arborea* Roxb. (melina), dos de las especies más ampliamente plantadas en América Central. Los resultados presentados demuestran la importancia de ejecutar en forma oportuna los raleos de plantaciones de estas especies.

### Antecedentes

En cada período de crecimiento, un árbol agrega una capa de tejido xilemático activo, que se denomina albura. La albura es el

tejido que contiene poros libres (activos), por los cuales asciende agua y nutrimentos a las hojas. El tejido xilemático de un período dado se le conoce como un anillo de crecimiento. En regiones donde anualmente hay una estación seca o fría, cada anillo corresponde a un año de crecimiento. Tal es el caso de teca y melina plantada en el lado pacífico de América Central.

La albura o tejido xilemático activo puede incluir un número diferente de anillos (tres a siete en este estudio), siendo los demás anillos interiores inactivos. Estos anillos inactivos forman el duramen del árbol.

Shinozaki et al. (1964) demostró que existe una relación estrecha entre los tejidos que transportan agua y nutrimentos (albura) y el

follaje. Este científico desarrolló la Teoría del Modelo Vascular (TMV), que establece que el área de albura a una altura "x" se relaciona con la biomasa del follaje "y" por medio de una proporción constante; es decir, por cada unidad de área de albura le corresponde una unidad de follaje.

La TMV ha sido aplicada para desarrollar ecuaciones de predicción del área y/o biomasa foliar, a partir del área de albura a la altura del pecho (AP). La Figura 1 ilustra esquemáticamente la TMV para facilitar su comprensión.

La mayoría de los estudios que han aplicado la TMV se han realizado en especies de zonas templadas, especialmente coníferas. Espinosa, Perry y Bancalary (1987) mostraron que este modelo era válido para árboles de *Pseudotsuga*

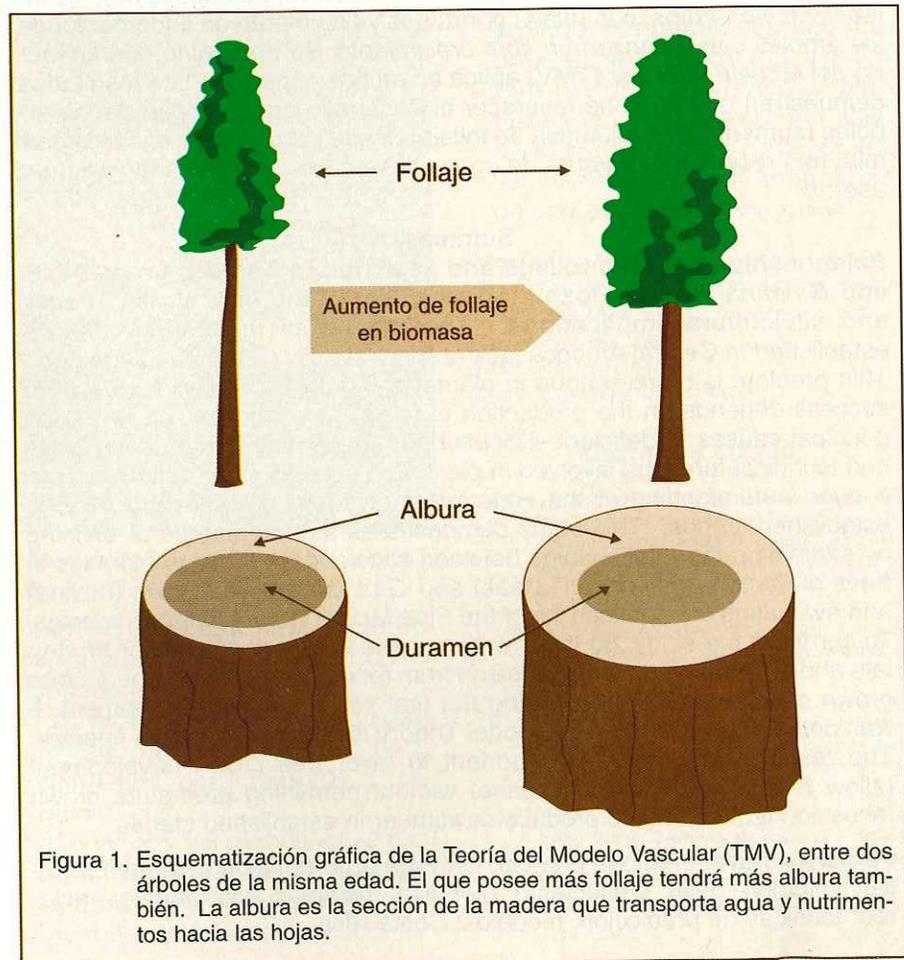


Figura 1. Esquemización gráfica de la Teoría del Modelo Vascular (TMV), entre dos árboles de la misma edad. El que posee más follaje tendrá más albura también. La albura es la sección de la madera que transporta agua y nutrimentos hacia las hojas.

*menziesii* (Mirb.) Franco., y que también aplicaba en árboles dominantes, codominantes y suprimidos. En igual forma, Robichaud y Methven (1992) encontraron una fuerte relación entre el área de albura y la biomasa del follaje en un rango amplio de condiciones ambientales en bosques boreales de *Picea mariana* (Mill.) B.S.P. Esta relación fue independiente de la edad y tamaño de los árboles, calidad de sitio y densidad del rodal.

Kaufmann y Troendle (1981) encontraron que el peso seco del follaje y área foliar en *Picea engelmannii* Perry., *Abies lasiocarpa* (Hook.) Nutt., *Pinus contorta* Dugl. y *Populus tremuloides* Michx. mantiene una correlación fuerte con el área de albura con  $R^2$  de 0,93 y 0,99. Ryan (1989) determinó que el volumen de albura se incrementa exponencialmente con aumentos en el área foliar. Hay decenas de estudios que confirman la aplicación de la TMV para un número considerable de especies de bosques templados.

En el presente artículo se presentan los resultados de un estudio que tuvo como objetivo general, determinar la relación entre albura y biomasa de follaje en árboles de teca y melina.

Para efectuar el estudio se plantearon los siguientes objetivos específicos:

- Evaluar hasta qué grado, la Teoría del Modelo Vascular, se aplica en árboles de teca y melina.
- Desarrollar ecuaciones de predicción para estimar la biomasa del follaje en peso a partir de: área de albura a la AP y en la base de la copa viva; área y volumen del penúltimo anillo de crecimiento; y el volumen de albura.
- Analizar las implicaciones de los resultados en la formulación de estrategias de manejo silvicultural para plantaciones de las especies estudiadas.

## Materiales y métodos

El estudio se realizó en los cantones de Nicoya y Hojancha de la región Chorotega, provincia de Guanacaste, Costa Rica (Figura 2). Esta Región presenta dos estaciones, una seca muy marcada y una lluviosa. Los árboles de melina y teca crecen en la época lluviosa y disminuyen al mínimo su desarrollo en la estación seca, esta calidad facilita la identificación de los anillos de crecimiento.

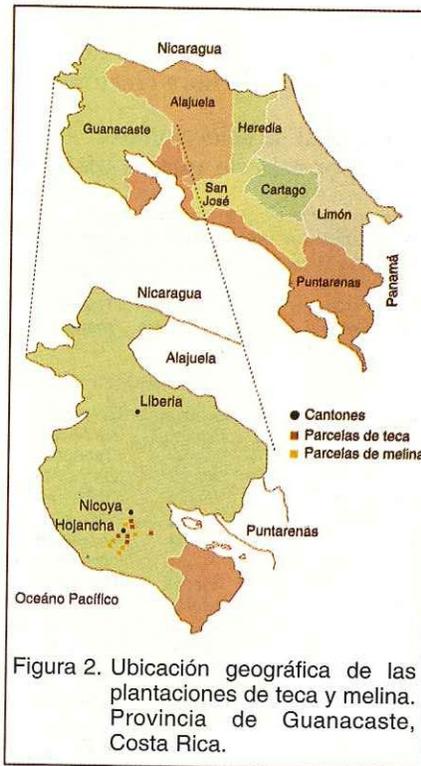


Figura 2. Ubicación geográfica de las plantaciones de teca y melina. Provincia de Guanacaste, Costa Rica.

Como prueba preliminar, se derribó un árbol de melina, y otro de teca con el propósito de observar, en el campo, la practicabilidad en la identificación de la albura activa y la medición de la biomasa del follaje (kg). Resultó fácil distinguir la albura en ambas especies, ya que se observó que un número variable de anillos de crecimiento, manaban fluidos denotando el área de albura activa. El color de la albura activa también fue distinto.

Al observar los anillos de crecimiento de la albura en teca con

una lupa (10X), se detectó que la diferenciación entre porosidad activa (libre) y no activa (obstruida) coincide con el cambio de color entre albura y duramen, aunque siempre existe un tejido de transición, donde este cambio ocurre.

Como prueba adicional para corroborar las observaciones de campo, se secaron varias secciones transversales de melina en una cámara con un bombillo de 100W, después de sumergirlas en agua por 72 horas. Como producto de este procedimiento, se observó que el área de albura se sobresaltó (expansión volumétrica longitudinal) de la superficie normal de la sección transversal, mientras que el duramen se mantuvo compacto. La parte que había expandido coincidió con los anillos que manaban fluidos en el tocón al momento de hacer el corte, confirmando así la factibilidad de delimitar (con lapicero) la albura del duramen en el campo.

La toma definitiva de datos se realizó en la época de lluvia, ya que una de las variables principales fue la biomasa del follaje, la cual logra su máximo anual en el mes de agosto.

## Muestreo de árboles

Se ubicaron y seleccionaron plantaciones raleadas que tenían al menos una parcela permanente (PP) y otras plantaciones de ambas especies sin ninguna clase de manejo. En las plantaciones sin raleos, el número actual de árboles/ha, varió respecto de los plantados originalmente, debido a procesos de mortalidad (Cuadro 1).

Se seleccionaron las plantaciones raleadas con base en el grado de competencia que habían experimentado los árboles antes de las entresacas. Se buscó maximizar el contraste entre los rodales clasificando la competencia como *menor* o *fuerte*. El nivel de competencia

se determinó con base en el historial de manejo de cada rodal complementado con observaciones al momento de medir las parcelas permanentes.

Una plantación que había experimentado una competencia fuerte reunía una combinación de las siguientes características: densidades altas, raleos ejecutados después de una fuerte recesión de copas, crecimiento actual pobre en diámetro. Las plantaciones con niveles menores de competencia, en contraste, se ralearon sin dejar avanzar en forma prematura el proceso de recesión de copas y los árboles en estas plantaciones, presentaron tasas de crecimiento diametral superiores, expresadas en

el espesor promedio (cm) y área (cm<sup>2</sup>) (árboles dominantes y codominantes) del penúltimo anillo de crecimiento (Cuadro 2).

De cada plantación intervenida, se seleccionaron seis árboles: dos por clase de diámetro (alto, medio y bajo). Los árboles por tumar se eligieron de una franja alrededor de las PP para no intervenir en las parcelas de medición.

Finalmente, se eligieron dos árboles de teca y dos de melina en linderos que experimentaron durante mucho tiempo de su desarrollo, un estado de libre crecimiento.

En total se seleccionaron 40 árboles por especie que se distribu-

yeron de la siguiente manera: 18 árboles por especie de plantaciones raleadas pero en forma tardía, un número igual de árboles de las tres clases de diámetro; 18 árboles por especie de plantaciones con raleos oportunos, un número igual de árboles de las tres clases de diámetro; dos árboles por especie de plantaciones sin raleos; y dos árboles por especie provenientes de linderos.

Después de talar un árbol, se observó el cambio de brillo en la superficie cortada, debida al flujo de savia de la albura activa y el contraste de color para diferenciar la albura y duramen para luego trazar el límite entre ambos tejidos; se midió la longitud total de cada árbol (m); se pesó el follaje sano de cada árbol excluyendo las hojas secas y amarillas usando una balanza de 0,5 kg de precisión; los árboles se trocearon a cada dos metros de distancia hasta detectar que no existía más duramen (después de la base de la copa viva la distancia fue variable). En cada sección transversal (rodaja o galleta), se midió el espesor de la albura y duramen en dos direcciones, abarcando lo más ancho y angosto de la sección transversal. Tanto el área de albura activa, como el área de duramen fueron expresados en centímetros cuadrados. Se tomaron medidas adicionales de albura y duramen a la AP y a la base de la copa viva (BCV).

### Análisis de la información

Primero, se calculó el volumen total de albura (m<sup>3</sup>) y del penúltimo anillo (m<sup>3</sup>). Así también se determinó el área de albura a la AP (cm<sup>2</sup>), área del penúltimo anillo a la AP (cm<sup>2</sup>) y área total de albura a la BCV (cm<sup>2</sup>). Seguidamente, con el objetivo de determinar las relaciones entre la albura [área (cm<sup>2</sup>) y volumen (m<sup>3</sup>)] y biomasa del follaje (kg), en árboles de melina y teca, se desarrollaron modelos (ecuaciones) simples de regresión usando metodologías estándares. Ello

Cuadro 1. Parcelas permanentes y árboles individuales de teca y melina estudiados en Hojancha y Nicoya, Guanacaste, Costa Rica.

Especie	Edad (años)	Arboles Iniciales /ha	Número actual de árboles/ha	Dap 1996	Raleos hasta junio 1996	Estado de competencia	Tipo de manejo
<b>Parcelas</b>							
<i>T. grandis</i> L.F.	18	1862	745	19,45	0	Extrema	Sin raleos
<i>G. arborea</i> Roxb.	8	1203	1117	14,71	0	Extrema	Sin raleos
<i>T. grandis</i> L.F.	3,991	1111	578	13,75	1	Menor	Oportuno
<i>T. grandis</i> L.F.	7,02	1111	533	18,16	1	Menor	Oportuno
<i>T. grandis</i> L.F.	3,9	1111	511	15,34	1	Menor	Oportuno
<i>T. grandis</i> L.F.	9,94	1600	544	19,47	3	Fuerte	Inoportuno
<i>T. grandis</i> L.F.	10,06	1600	320	20,24	3	Fuerte	Inoportuno
<i>T. grandis</i> L.F.	9,94	1600	416	20,16	3	Fuerte	Inoportuno
<i>G. arborea</i> Roxb.	3,98	1111	544	16,44	1	Menor	Oportuno
<i>G. arborea</i> Roxb.	4,98	1111	478	22,22	1	Menor	Oportuno
<i>G. arborea</i> Roxb.	7,03	1600	416	22,56	2	Menor	Oportuno
<i>G. arborea</i> Roxb.	6,97	1111	478	20,25	3	Fuerte	Inoportuno
<i>G. arborea</i> Roxb.	6,9	1600	704	21,94	2	Fuerte	Inoportuno
<i>G. arborea</i> Roxb.	10,91	1600	240	25,9	3	Fuerte	Inoportuno
<b>Arboles individuales</b>							
<i>T. grandis</i> L.F.	10,08	22*	No aplica	31,7	No aplica	Leve	En lindero
<i>T. grandis</i> L.F.	10,08	22*	No aplica	32,8	No aplica	Leve	En lindero
<i>G. arborea</i> Roxb.	8,17	14*	No aplica	30,5	No aplica	Leve	En lindero
<i>G. arborea</i> Roxb.	8,17	14*	No aplica	38,1	No aplica	Leve	En lindero

\* = Número de árboles cada 100m.

\*\*= Oportuno significa "a tiempo" e intenso. Inoportuno significa atrasado y/o débil.

Cuadro 2. Espesor (cm) y área (cm<sup>2</sup>) promedio del penúltimo anillo de crecimiento en árboles dominantes y codominantes de teca y melina, Hojancha y Nicoya, Costa Rica.

Estado de competencia	Espesor promedio - penúltimo anillo de crecimiento (cm)		Área promedio - penúltimo anillo de crecimiento (cm <sup>2</sup> )	
	teca	melina	teca	melina
Extrema (sin raleos)	0,35	1,38	9,36	30,21
Fuerte (manejo inoportuno)	1,04	1,72	26,12	55,47
Menor (manejo oportuno)	3,04	3,53	54,85	84,45
Leve (en linderos)*	1,88	4,23	74,26	238,83

\* = El espaciamiento de teca es más estrecho que el caso de melina con 22 y 14 árboles cada 100 m, respectivamente.

permitió evaluar hasta qué grado la TMV aplica en estas especies. Así también, se desarrollaron ecuaciones de predicción para estimar la biomasa del follaje (kg) a partir del área (cm<sup>2</sup> a la AP) y volumen (m<sup>3</sup>) del penúltimo anillo de crecimiento.

### Resultados y discusión

El resumen de cinco de los modelos más importantes desarrollados en este estudio para teca y melina, se presentan en el Cuadro 3. Todos los modelos son altamente significativos estadísticamente y aplican sobre un rango amplio de biomasa de follaje (6,0 a 93,5 kg/árbol en teca; 7,5 a 73 kg/árbol en melina). Las Figuras 3 y 4 muestran como ejemplos, las curvas ajustadas de los modelos (1) y (4) respectivamente. La Figura 3 presenta la curva de regresión para el logaritmo natural del peso del follaje observado y pronosticado para teca, y la Figura 4 el modelo correspondiente para melina. En ambas especies la biomasa de follaje y el área de albura a la AP están estrechamente relacionadas.

Los modelos (1) y (4) son buenos predictores del peso del follaje a partir de área de albura; es decir, solo midiendo el área de albura a la AP se puede estimar la biomasa de follaje. Estas relaciones lineales confirman la aplicación de la TMV tanto para teca como para melina en árboles de todas las clases de copa (dominantes, codominantes y suprimidos).

El modelo (4) de melina es más robusto que el modelo (1) de teca ( $R^2$  de 0,923 versus 0,796). El follaje activo de melina es más fácil de distinguir, pues en esta especie no hay hojas sombreadas provenientes de brotes epicórmicos como en el caso de teca que aumentan la biomasa de follaje, pero aportan pocos carbohidratos al crecimiento de albura.

Finalmente, los modelos (2) y (3) muestran que para teca es posible predecir la cantidad de follaje (kg) a partir del área a la AP y volumen del penúltimo anillo de crecimiento. La implicación de este resultado se discute en la próxima sección.

fuerte (en plantaciones sin raleos y las intervenidas en forma tardía) tienen mucho menos follaje que los árboles que han tenido más espacio para desarrollarse (Cuadro 4). Por ejemplo, en teca los árboles dominantes y codominantes en plantaciones sin raleos, tenían

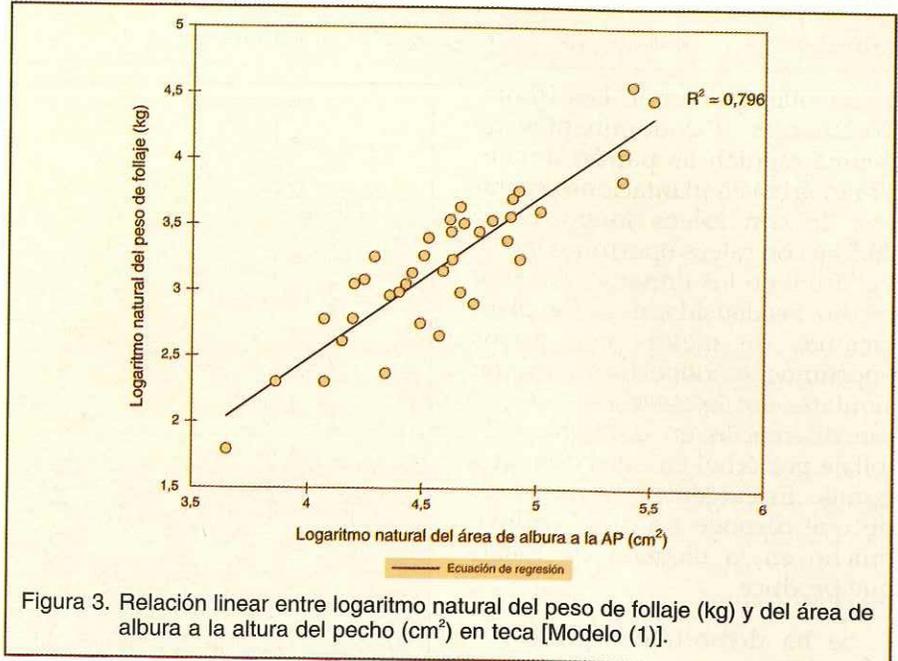


Figura 3. Relación lineal entre logaritmo natural del peso de follaje (kg) y del área de albura a la altura del pecho (cm<sup>2</sup>) en teca [Modelo (1)].

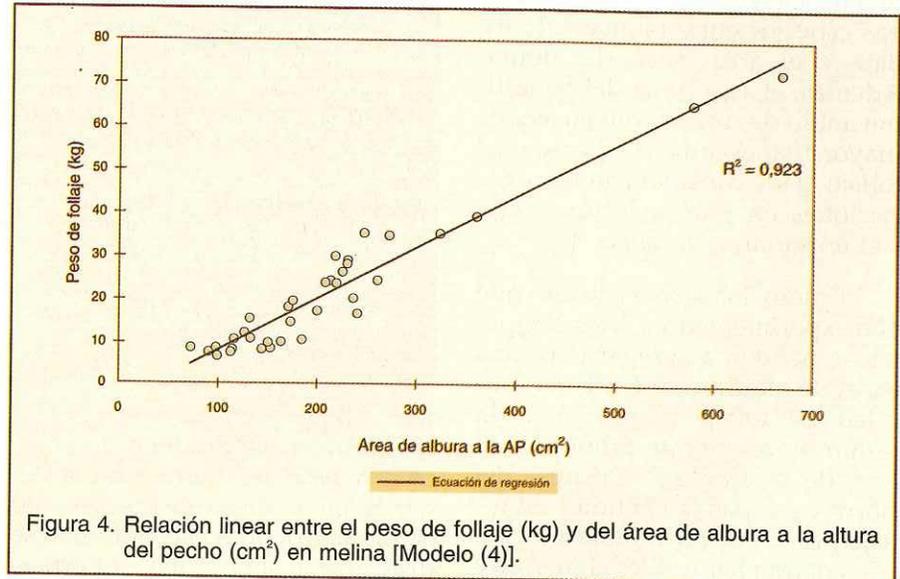


Figura 4. Relación lineal entre el peso de follaje (kg) y del área de albura a la altura del pecho (cm<sup>2</sup>) en melina [Modelo (4)].

### Implicaciones de los modelos desarrollados

En general, los árboles (dominantes y codominantes) que han experimentado una competencia

apenas un promedio de 19,5 kg de follaje, con raleos inoportunos 24 kg y con raleos oportunos 35,63 kg de follaje por árbol. El contraste es aún mayor en árboles de linderos que tenían un promedio de 89,25

**Cuadro 3. Modelos de predicción desarrollados para el peso del follaje (Kg) y volumen de albura (m<sup>3</sup>) en teca y melina.**

Especie	Modelo	Ecuación	R <sup>2</sup>
Teca	1	$\text{Ln Peso de follaje (kg)} = 2,375 + 1,211 (\text{Ln Area de albura a la AP en cm}^2)$	0,796
Teca	2	$\text{Ln Peso de follaje (kg)} = 0,888 + 0,6888 (\text{Ln Area del penúltimo anillo en cm}^2)$	0,686
Teca	3	$\text{Ln Peso de follaje (kg)} = 5,893 + 0,716 (\text{Ln Volumen del penúltimo anillo en m}^3)$	0,791
Melina	4	$\text{Peso de follaje (kg)} = -3,95 + 0,012 (\text{Area de albura a la AP en cm}^2)$	0,923
Melina	5	$\text{Volumen de albura (m}^3) = -0,104 + 0,109 (\text{Ln Peso de follaje en kg})$	0,734

Referencias: Ln = Logaritmo natural      R<sup>2</sup> = Coeficiente de determinación

kg de follaje por árbol. Los árboles dominantes y codominantes de melina seguían un patrón similar: 12 kg/árbol en plantaciones sin raleo; 26 con raleos inoportunos; 20,5 kg con raleos oportunos y 69,5 kg/árbol en los linderos. En promedio, las densidades de las plantaciones de melina con raleos oportunos e inoportunos fueron similares por lo que no se detectaron diferencias en la biomasa de follaje por árbol en estas dos categorías. Es evidente que el espacio de que dispone un árbol influye mucho en la biomasa de follaje que produce.

Se ha demostrado que existe una relación positiva fuerte en ambas especies entre biomasa de follaje y el área basal de albura. Además, el área basal del penúltimo anillo de crecimiento en teca es mayor cuando un árbol posee más follaje. Hay consideraciones y variaciones en estas relaciones que son importantes señalar.

Primero, los árboles de teca que han experimentado menos competencia tienden a agregar más área basal de albura con la misma cantidad de follaje (Figura 5; cada punto representa un árbol por un total de 25 árboles). Después del cierre de copas la cantidad de follaje por árbol no cambia mucho, aún cuando los árboles siguen creciendo en altura (debido a la recesión de copas). Como resultado, las plantaciones sin raleos o con raleos leves y/o tardíos generan árboles altos, delgados y con poco follaje. Entre un árbol alto y un árbol más bajo (dentro de una plan-

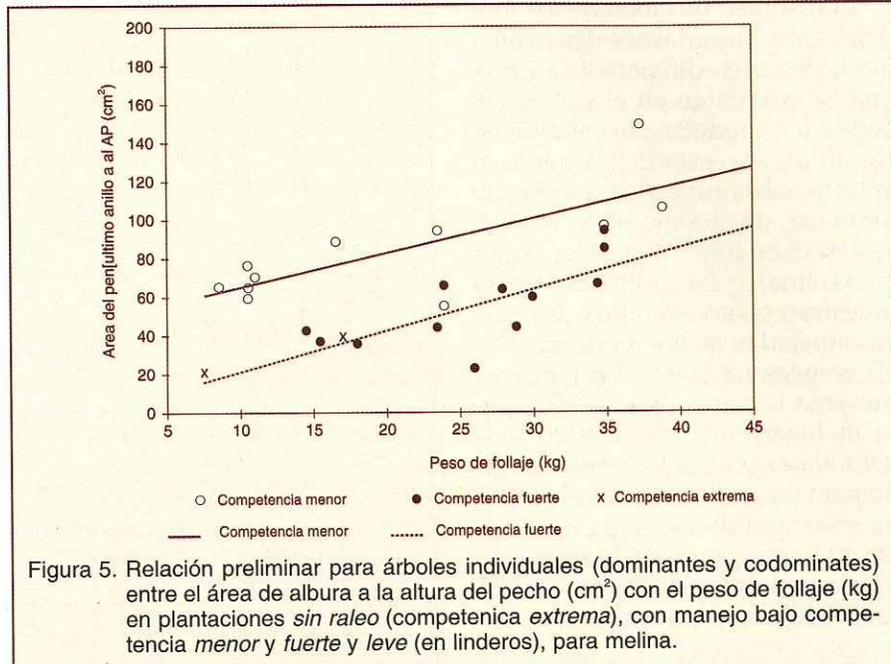


Figura 5. Relación preliminar para árboles individuales (dominantes y codominantes) entre el área de albura a la altura del pecho (cm<sup>2</sup>) con el peso de follaje (kg) en plantaciones *sin raleo* (competencia *extrema*), con manejo bajo competencia *menor* y *fuerte* y *leve* (en linderos), para melina.

Cuadro 4. Promedio del peso de follaje (kg) y área de albura a la altura del pecho (cm<sup>2</sup>) en árboles dominantes de teca y melina.

Estado de competencia	teca		melina	
	Peso de follaje (kg)	Área de albura a la AP (cm <sup>2</sup> )	Peso de follaje (kg)	Área de albura a la AP (cm <sup>2</sup> )
Extrema (sin raleos)	19,5	89,17	12,55	155,29
Fuerte (manejo inoportuno)	24,00	97,59	26,08	219,89
Menor (manejo oportuno)	35,63	129,77	20,54	248,68
Leve (en linderos)	89,25	235,99	69,55	618,61

tación más joven, por ejemplo), el alto tendría que producir un volumen mayor de albura para sostener la misma tasa de crecimiento en diámetro, pues este volumen se distribuiría sobre una superficie mayor. Esta aseveración se ilustra en la relación altamente significativa entre biomasa de follaje de teca con el volumen del penúltimo anillo (modelo 3; R<sup>2</sup> = 0,791). El modelo (3) nos indica que cuando no se aumenta la biomasa de follaje,

la producción de albura (en volumen) se mantendría constante, y por ende, el crecimiento en diámetro se reduciría progresivamente con el paso de tiempo.

Segundo, hay otra razón por lo que los árboles que experimentan una competencia fuerte sufren reducciones drásticas en su crecimiento en diámetro. Si la biomasa de follaje se mantiene más o menos constante, el incremento en

área basal de albura no aumentará, más bien se reducirá paulatinamente como se explicó en el párrafo anterior. La Figura 6 muestra una simulación preliminar del crecimiento anual en diámetro (cm), en la cual los primeros tres años el árbol crece sin competencia de copas, pero a partir del cuarto año entra en competencia.

Con base en el modelo (2), se estima la biomasa de follaje (kg) requerido por un árbol de teca para generar una cantidad "x" de albura en  $\text{cm}^2$  a la AP. Así que, examinando la primera etapa de crecimiento (sin competencia de copas), en el primer año se tiene 1 cm de diámetro, lo cual representa  $0,785 \text{ cm}^2$  de albura, con lo cual es necesario una cantidad de follaje de unos 2,06 kg. En el segundo año, el incremento es de 4 cm, lo cual implica un aumento  $18,85 \text{ cm}^2$  de albura, por lo que es necesario tener una cantidad de follaje equivalente a 18,37 kg para la producción de dicha área.

En el tercer año, se da otro incremento de 4 cm que representa un área de albura de  $44,77 \text{ cm}^2$ , producto de aproximadamente 33,33 kg de follaje. A partir del cuarto año, se simula que el árbol entra en competencia y, por ende, se mantiene constante la biomasa de follaje (kg). Así, el árbol mantiene un incremento constante de  $44,77 \text{ cm}^2$  de área de albura entre el cuarto y sexto año. Como se constata, un árbol que mantiene un incremento constante de área de albura, necesariamente reduce su crecimiento en diámetro. Es decir, si la cantidad de follaje por árbol no aumenta -lo que sólo se logra dando más espacio a los árboles mediante los raleos- el crecimiento en diámetro se va a disminuir.

Otra forma de ilustrar este concepto es analizar el caso de un árbol de teca que mantiene constante su tasa de crecimiento en diámetro durante varios años

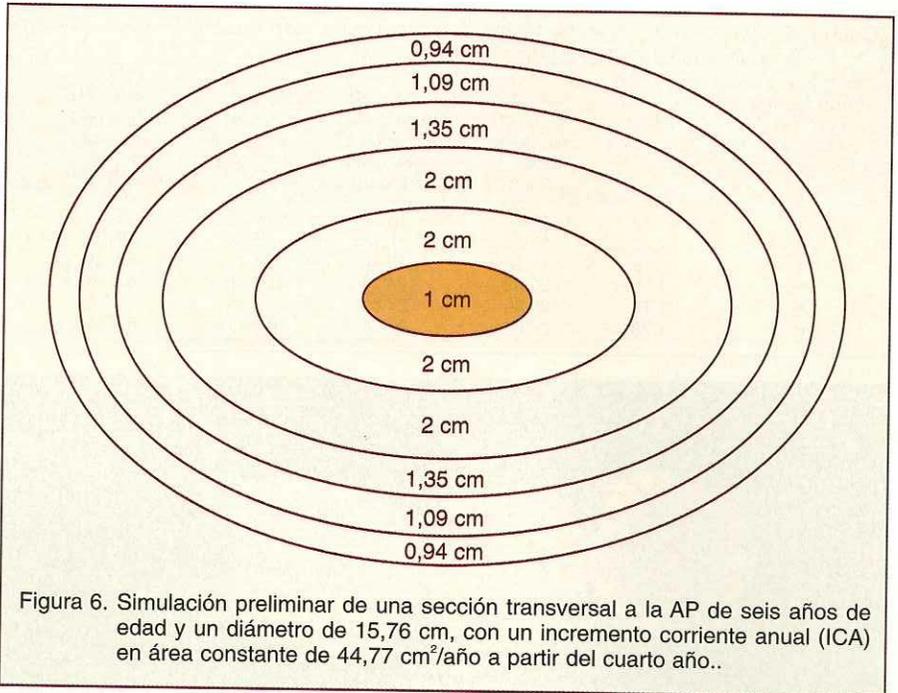
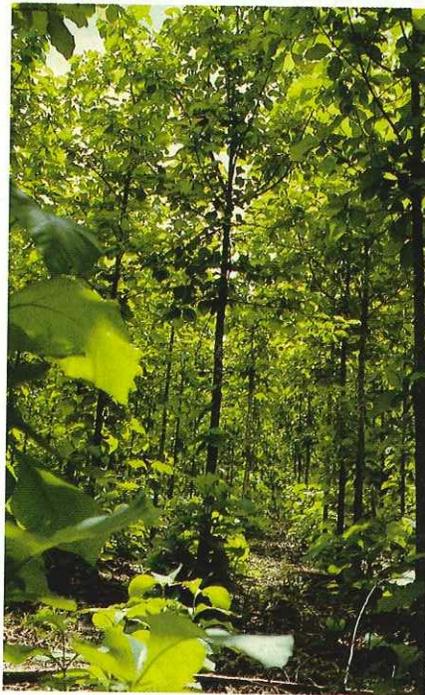


Figura 6. Simulación preliminar de una sección transversal a la AP de seis años de edad y un diámetro de 15,76 cm, con un incremento corriente anual (ICA) en área constante de  $44,77 \text{ cm}^2/\text{año}$  a partir del cuarto año..



Plantación de *Tectona grandis* L.F., en Hoja de teca, Guanacaste. (Foto: R. Morataya).

(Cuadro 5). Este ejemplo es válido, porque en linderos y en plantaciones manejadas oportunamente, los árboles sostienen tasas rápidas de desarrollo en diámetro durante muchos años. Como se puede apreciar en esta proyección preli-

minar, la cantidad de follaje tiene que aumentar dramáticamente para sostener el crecimiento en diámetro (de 40 a 80 kg/árbol), lo que sucedería sólo en plantaciones raleadas oportunamente.

Después de un raleo, la recesión de la copa se detiene y las copas se expanden lateral y verticalmente, aumentando paulatinamente la capacidad fotosintética de los árboles. El atraso en los raleos es riesgoso, pues ambas especies incluidas en este estudio, alcanzan la mayor parte de su crecimiento en altura durante los primeros seis a ocho años (Chaves y Fonseca 1991; Murillo y Valerio 1991). Cuando se deja avanzar fuertemente la recesión de copas durante estos años de gran potencial de crecimiento en altura, los árboles nunca recuperan su capacidad de crecer rápidamente en diámetro. Como consecuencia de este fenómeno, muchas plantaciones fracasan aún cuando se aplican raleos.

En resumen, es prioritario ralear las plantaciones forestales en forma oportuna e intensa para que los árboles expandan sus copas (aumenten su follaje). Sólo así, se

**Cuadro 5.** Aumento de peso de follaje (kg) proyectado con base en un espesor de anillo constante en plantaciones de teca.

Período anual completo de crecimiento a partir de 10 cm	Espesor del anillo en centímetros	Diámetro interior del penúltimo anillo a la AP (cm)	Diámetro exterior del penúltimo anillo a la AP (cm)	Área del penúltimo anillo a la AP (cm <sup>2</sup> )	Peso del follaje (kg) pronosticado por el modelo (2)
1	1,78	10	13,56	65,87	43,48
2	1,78	13,56	17,12	85,78	52,16
3	1,78	17,12	20,68	105,7	60,23
4	1,78	20,68	24,24	125,59	67,57
5	1,78	24,24	27,8	145,51	75,06
6	1,78	27,8	31,36	165,41	81,99



Secciones transversales de melina, que muestran el duramen (área oscura) y albura (área clara). (Foto: R. Morataya).

aprovecha el potencial que poseen los árboles de teca y melina para desarrollar en diámetro.

### Conclusiones

- La Teoría del Modelo Vascular (TMV) aplica para teca y melina; es decir, existe una relación lineal entre la albura que produce un árbol y su biomasa de follaje.
- Las ecuaciones desarrolladas pueden ser usadas para estimar el peso de follaje (kg), por ejemplo, con base en el área basal de albura.
- Con base en los resultados de este estudio, queda claro que el desarrollo de la copa [peso del follaje (kg), largo de copa (m) y área de copa (m<sup>2</sup>)], se debería favorecer desde los primeros años de la plantación sin permitir una recesión prematura de copas. Esta medida es importante para que un árbol aumente en forma significativa su diámetro durante cada período de crecimiento anual. En plantaciones cuyo ob-

jetivo es producir madera para aserrío, un manejo oportuno es más crítico.

- Se recomienda mantener parcelas permanentes en plantaciones con y sin raleo (*competencia extrema*) para seguir los procesos discutidos en este estudio durante varios años. La información generada permitiría modelar mejor la dinámica del follaje de las especies y refinar su manejo silvicultural.

Ricardo Morataya  
Asistente de Investigación  
Convenio Universidad de Helsinki-CATIE  
E-mail: ricardomorataya@hotmail.com  
rmoratay@catie.ac.cr

Glenn Galloway  
Líder Proyecto TRANSFORMA  
CATIE, 7170, Turrialba, Costa Rica  
E-mail: galloway@catie.ac.cr

**Agradecimientos:** Con aprecio, damos las gracias a los doctores Markku Kanninen y Frank Berninger, al Ing. For. Marcelino Montero y al M.Sc. Rigoberto Aguilar, por sus aportes y sugerencias para el buen desarrollo del presente documento, así como a la Universidad de Helsinki, Finlandia por su apoyo económico.

**Nota:** Este artículo está basado en la tesis de Magister Scientiae de Ricardo Morataya, titulada: Desarrollo de modelos de predicción para peso de follaje y volumen de albura: aplicación de la Teoría de Modelo Vascular (TMV) e implicaciones en el manejo en *Tectona grandis* L.F. y *Gmelina arborea* Roxb., Hojancha, Guanacaste, Costa Rica

### Literatura citada

- CENTENO, M. 1993. Inventario nacional de plantaciones forestales en Nicaragua. Managua, Nic., Universidad Nacional Agraria, Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente. 78 p.
- CHAVES, E.; FONSECA, W. 1991. Teca (*Tectona grandis* L.F.) especie de árbol de uso múltiple en América Central. CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico n° 179. 47 p.
- ESPINOSA BANCALARI, M.A.; PERRY, D.A.; MARSHALL, J.D. 1987. Leaf area - sapwood area relationships in adjacent young Douglas-fir stands with different early growth rates. Canadian Journal of Forest Research (Can.) 17:174-180.
- EVANS, J. 1992. Plantation forestry in the tropics: tree planting for industrial, social, environmental and agroforestry purposes. 2 ed. Oxford, G.B. Clarendon Press. 403 p.
- GALLOWAY, G. 1987. Criterios y estrategias para el manejo de plantaciones forestales en la Sierra Ecuatoriana. Quito, Ec. Proyecto DINAF/AID. 145 p.
- GALLOWAY, G.; UGALDE, L.; VÁSQUEZ, W. 1996. Management of tropical plantations under stress. IUFRO World Congress. (20, 1995, Tampere, Finlandia). Caring for forest: research in changing world; congress report. Viena, Austria, IUFRO. v. 2, pp. 351-362.
- KAUFMANN, M.R.; TROENDLE, C.C. 1981. The relationship of leaf area and foliage biomass to sapwood conducting area in four subalpine forest tree species. Forest Science (EE.UU.). 27:477.
- MURILLO, O.; VALERIO, J. 1991. Melina (*Gmelina arborea* Roxb.): especie de árbol de uso múltiple en América Central. CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico n° 181. 69 p.
- MUZIOL, C.; SANCHEZ, O. 1992. Manejo de plantaciones forestales. San José, C.R., COSEFORMA. 24 p.
- ROBICHAUD, E.; METHVEN, I.R. 1992. The applicability of the pipe model theory for the prediction of foliage biomass in trees from natural, untreated black spruce stands. Canadian Journal of Forest Research (Can.) 22:1118-1123.
- RYAN, M. 1989. Sapwood volume for three subalpine conifers: predictive equations and ecological implications. Canadian Journal of Forest Research (Can.) 19:1397-1401.
- SANCHEZ, S. A. 1994. Crecimiento de *Eucalyptus deglupta* y *E. grandis* bajo tres sistemas de plantación a nivel de finca en la zona de Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag.Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 95 p.
- SHINOZAKI, K.; YODA, K.; HOZUMI, K.; KIRA, T. 1964. A quantitative analysis of plant form-the pipe model theory. 1. Basic analysis. Japanese Journal Ecology (Japón). 14:97-105.
- ZANOTTI, R.; SUAREZ, R.; MORATAYA, R.; GALLOWAY, G. 1995. Diagnóstico preliminar de la situación actual de las plantaciones de coníferas en Guatemala. Informe interno, Proyecto Madeña-3. Guatemala, DIGEBO/CATIE. 24 p.