

Desarrollo de escenarios de crecimiento para plantaciones de teca (*Tectona grandis*) en Costa Rica

El desarrollo de escenarios de crecimiento es una herramienta muy útil para conformar escenarios preliminares en el manejo de una plantación a lo largo del tiempo y para tener una noción clara sobre lo que se espera de un rodal.

Luis Diego Pérez Cordero, M.Sc.
Luis Ugalde Arias, Ph.D.
Markku Kanninen, Ph.D.



Foto: D. Pérez

Resumen

Actualmente en proyectos y empresas privadas de América Central resulta urgente obtener información relevante sobre el crecimiento y la productividad de especies prioritarias para la reforestación, como la teca (*Tectona grandis*), especialmente de edades avanzadas y en turno final. Investigaciones sobre la dinámica de las plantaciones forestales (estudio del desarrollo a través del tiempo) han identificado la composición de la biomasa de la copa como un indicador importante en la competencia dentro de un rodal y su efecto sobre otras variables de crecimiento.

El objetivo principal de este estudio fue desarrollar propuestas preliminares de manejo forestal para plantaciones de *T. grandis* que aseguren altos rendimientos.

Han sido desarrollados modelos para las diferentes relaciones entre las variables de estructura y composición de la copa, crecimiento y productividad, utilizando información de plantaciones de teca y pochote -en Costa Rica-, de edad avanzada.

El desarrollo de diferentes escenarios de crecimiento se fundamentó en los datos de crecimiento y productividad recopilados de las parcelas medidas en el campo, de los análisis fustales y de las relaciones entre composición y estructura de la copa, crecimiento y productividad. Se plantearon 8 escenarios, tomando como criterio un manejo intensivo y un área basal máxima de 18, 20, 22 y 24 m²/ha para dos densidades iniciales de plantación: 1111 y 816 árboles/ha.

En los escenarios preliminares de crecimiento desarrollados existieron turnos finales de corta entre los 25 y 28 años, con densidades finales de 97 a 125 árboles/ha, con diámetros promedio de 45 a 50 cm y alturas totales promedio de 30 a 34 m. Las productividades al turno de corta variaron entre 10,2 y 13,3 m³/ha/año, para volúmenes totales remanentes al final del turno de 270 a 380 m³/ha.

Es preciso reforzar la información presentada en este estudio con más datos sobre plantaciones de edad avanzada, particularmente aquellas mayores a los 20 años.

Palabras clave: *Tectona grandis*; Crecimiento; Rendimiento; Hábitos de crecimiento; Volumen; Costa Rica.

Abstract

Projects and private companies in Central America urgently need relevant information on the growth and productivity of priority species used in reforestation, such as teak (*Tectona grandis*). Determining production at the end of the rotation is particularly necessary in the case of advanced aged trees (over 20 years).

Research was carried out on forest plantation dynamics (study of tree development through time), identifying the composition of crown biomass as an important indicator of competition within a stand, and the effect of this competition on other growth variables.

The main objective of this study was to develop preliminary forest management proposals for *T. grandis* plantations to ensure high stand productivity.

Models were developed for different relationships among the variables, crown composition, crown structure, growth and productivity, using information from advanced aged teak and pochote plantations in Costa Rica.

The basis for the stand growth simulation models included growth and productivity information obtained from the plots measured in the field, results from stem analysis, the relationships among composition and crown structure, growth and productivity. Eight scenarios are presented species, using intensive management criteria of a maximum basal area of 18, 20, 22 and 24 m²/ha, and two initial plantation densities: 1111 and 816 trees/ha.

In the preliminary growth scenarios for teak, rotations periods between 25 and 28 years were evaluated, with final densities of 97 to 125 trees/ha, average diameters of 45 to 50 cm, and total average heights of 30 to 34 m. The productivity at the end of the rotation varies between 10,2 and 13,3 m³/ha/year, yielding a total volume of 270 to 380 m³/ha.

Recommendations include reinforcing the results obtained with more data from advanced age plantations, particularly for those older than 20 years.

Keywords: *Tectona grandis*; Growth; Yields; Growth habit; Volume; Costa Rica.

En Costa Rica la mayoría de las plantaciones forestales, especialmente las de mayor edad como las de teca, no ha tenido los rendimientos esperados en la producción, principalmente por la mala selección de sitio, el uso de material reproductivo no mejorado genéticamente y por la falta de manejo. Sin embargo, en los últimos años, un mayor número de plantaciones jóvenes está siendo manejada eficientemente, por la ejecución de raleos y podas en el momento oportuno.

En la actualidad, en proyectos y empresas privadas de América Central, es imperativo contar con información relevante acerca del crecimiento y la productividad de especies prioritarias para la reforestación, co-

mo los árboles de teca, especialmente de edades avanzadas y en turno final.

Con el fin de generar estos datos es vital establecer y medir parcelas permanentes para evaluar y monitorear el crecimiento y la productividad en el tiempo. Los resultados darían los insumos básicos necesarios para desarrollar modelos de crecimiento y tablas de rendimiento que permitan realizar un análisis financiero realista sobre los proyectos de reforestación, los impactos y beneficios de los programas de incentivos en la región (Ugalde 1995).

Investigaciones acerca de la dinámica de las plantaciones forestales han identificado la composición de la biomasa de la copa como indicador importante de la competencia dentro de un rodal y su efecto sobre otras va-

riables de crecimiento. En este campo, los estudios en América Central son escasos, la mayoría basados en plantaciones jóvenes -alrededor de los 10 años-, y sólo se cuenta con datos de una única medición. No existe información precisa sobre crecimiento y productividad de las plantaciones, durante los raleos y al turno de corta.

Con base en los aspectos apuntados, se decidió trabajar con una de las especies de mayor cultivo en Costa Rica. Se trataron de encontrar pautas en las relaciones de estructura de copa con el crecimiento del árbol, que permitieran crear un programa específico sobre el manejo de densidades para ayudar al silvicultor a determinar, eficientemente, cual debería ser la cantidad de árboles, en un área a través del tiempo y al turno de corta,

para lograr las dimensiones esperadas; según las opciones del mercado y la capacidad del sitio.

Esta investigación comprende la medición de las plantaciones más viejas del país, de las que no se ha registrado su crecimiento ni su estado actual. También han sido medidos nuevamente los árboles de parcelas ya establecidas.

Metodología

Área de estudio. La selección de sitios para el establecimiento y la medición de parcelas nuevas de teca y la remediación de parcelas ya establecidas, en su mayoría por el Proyecto MADELEÑA - CATIE, abarcó diferentes zonas de Costa Rica. El estudio se realizó en Jicaral, área de Tempisque y Quebrada Honda, en Guanacaste; Parrita, Quepos, Palmar Norte y Buenos Aires, en Puntarenas; Guápiles y Guácimo, en Limón.

El aprovechamiento de árboles para la cuantificación de biomasa se realizó, con diferente manejo y diferentes densidades, en sitios donde habían sido establecidas las parcelas de medición, tratando de abarcar diferentes edades y zonas climáticas del país.

Métodos, muestreo y procedimientos analíticos. Aproximadamente, los investigadores midieron 70 parcelas de teca de edades entre 8 y 46 años, bajo diferentes condiciones de manejo.

Un total de 37 árboles de teca fueron aprovechados. Además se utilizó una base de datos de 40 árboles, entre 4 y 15 años, desarrollada por Morataya (1996), para un total de 77 árboles.

Antes de la corta, a cada árbol se le midió el dap (cm) y el diámetro de copa (m) (dos mediciones en cruz, siguiendo las filas de la plantación). Posteriormente, fueron cuantificadas las siguientes variables:

- peso total del follaje (kg) y de las ramas (kg),
- diámetro (cm) y largo (m) de las ramas vivas en su base,
- diámetro a la base de la copa viva (m),
- altura total del árbol (m).

Fue tomada una sección transversal del árbol (galleta) a 0,3 m y a la altura donde comienza la copa, para medir el *área de albura*, el *área de du-*

ramen y el *área del penúltimo anillo* de crecimiento.

A cada árbol cortado se le midió el fuste, partiendo de 0,3 m de altura, luego a 1,3 m y en adelante a distancias variables (2,6 m, 3,3 m, 2,0 m). A cada altura se midió también el grosor de corteza. En cada sitio fue seleccionado un árbol, al que se le extrajeron secciones del fuste para el análisis fustal. Este análisis utilizó la metodología citada por Ortiz (1993), Prodan *et al* (1997) y Mora (1997).

Con la información obtenida del análisis fustal y la generación de modelos, árboles aprovechados y parcelas medidas, los investigadores diseñaron escenarios de crecimiento y de rendimiento, para simular el desarrollo de una plantación a lo largo del tiempo.

Fueron diseñados 8 escenarios con base en el área basal máxima, con valores de 18, 20, 22 y 24 m²/ha y para dos densidades de plantación iniciales: 1111 árboles/ha (3 x 3 m) y 816 árboles/ha (3,5 x 3,5 m). Este rango se encuentra dentro de los valores de área basal encontrados en las parcelas utilizadas en este estudio.

Resultados y discusión

Teoría del Modelo Vascular (TMV)

El Cuadro 1 muestra los principales modelos desarrollados para las relaciones entre el peso seco del follaje, el área de albura a la base del árbol y en la base de la copa viva (TMV), la relación entre el peso seco del follaje y el área del penúltimo anillo de crecimiento a la base del árbol.

La Figura 1 grafica un ejemplo del ajuste del modelo de predicción del peso seco del follaje, a partir del área de albura a la base del árbol. Al igual que este modelo, los restantes presentan un ajuste lineal.

Modelos de tipo lineal también han sido registrados por Morataya (1996) y Kendall y Brown (1978) para *T. grandis* y *Pinus ponderosa*, respectivamente.

Al igual que el modelo de predic-

ción del peso del follaje a partir del área de albura al dap ($R^2 = 80\%$) y a la base de la copa viva ($R^2 = 72\%$) para edades entre 4 y 12 años en plantaciones de teca, reportado por Morataya (1996)-. Los modelos seleccionados en este estudio corroboran la TMV en plantaciones de árboles de teca con edades avanzadas (hasta 47 años); en árboles de hasta 40,0 cm de diámetro con áreas de albura a la base del árbol de 512 cm² y peso seco de follaje de 38,2 kg.

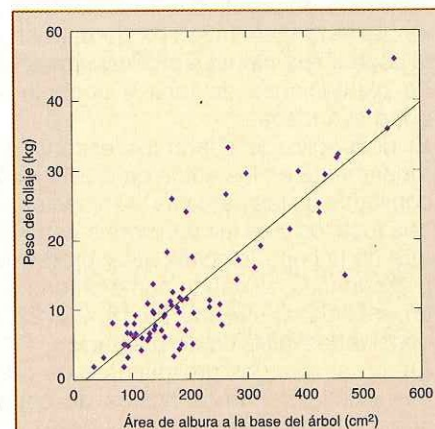


Figura 1. Ajuste del modelo de predicción del peso seco del follaje a partir del área de albura a la base del árbol con los datos de campo de *Tectona grandis* ($R^2 = 72\%$).

Modelos para la relación de la biomasa de copa con el crecimiento y productividad

Los modelos más importantes son los que relacionan el crecimiento del árbol (dap) con la composición y la estructura de copa. Modelos similares han sido desarrollados para diversas especies forestales (Cuadro 2). La estimación de la biomasa de ramas a partir del dap también se ha investigado en otros estudios. Karmacharya y Singh (1992) construyeron un modelo con estas variables utilizando datos de plantaciones de teca entre 4 y 30 años, con un coeficiente de determinación $R^2 = 94\%$. Las ecuaciones para la teca en este estudio tienen un R^2 de 82%.

Cuadro 1. Modelos de predicción desarrollados para la relación entre el peso del follaje, el área de albura y el área del penúltimo anillo de crecimiento en *Tectona grandis* en Costa Rica.

Modelo	R ²
Peso seco del follaje (kg) = -0,872 + 0,067 * Área de albura a la base del árbol (cm ²)	72 %
Ln Peso seco del follaje (kg) = -2,31 + 1,052 * Ln Área de albura a la base de la copa (cm ²)	64 %

Cuadro 2. Resumen de los principales modelos desarrollados para *Tectona grandis* en Costa Rica.

Ln [Peso seco del follaje (kg)] = $-3,228 + 1,827 * \text{Ln} [\text{dap (cm)}]$	$R^2 = 0,87$
Peso seco del follaje (kg) = $-9,356 + 4,088 * \text{Diámetro de copa (m)}$	$R^2 = 0,77$
Área de copa (m ²) = $-14,945 + 1,954 * \text{dap (cm)}$	$R^2 = 0,54$
Diámetro de copa (m) = $0,884 + 0,206 * \text{dap (cm)}$	$R^2 = 0,72$
Diámetro de copa (m) = $3,042 + 0,189 * \text{Peso seco del follaje (kg)}$	$R^2 = 0,77$
Diámetro de copa (m) = $-0,178 + 2,456 * \text{Ln} [\text{Peso seco del follaje (kg)}]$	$R^2 = 0,96$
Ln [Peso seco de ramas (kg)] = $0,061 + 0,615 * \text{Ln} [\text{Peso seco del follaje (kg)}]$	$R^2 = 0,81$

donde Ln: Logaritmo natural

to y de productividad, en una plantación hasta el turno final de rotación, al aplicar diferentes escenarios de manejo; considerando como meta final de producción la madera para aserrío.

Han sido definidos escenarios para plantaciones con calidades productivas de sitio diferentes, utilizando como parámetro el área basal. Fueron analizados 8 escenarios con áreas basales de 18, 20, 22, y 24 m²/ha, de densidades iniciales de 1111 árboles/ha (3 x 3 m) y de 816 árboles/ha (3,5 x 3,5 m). El volumen total en cada escenario se controló por las restricciones en términos de área basal máxima. Dentro de estos escenarios de área basal se manejó el número y el diámetro de los árboles con base en los productos deseados.

Para los escenarios de crecimiento de la teca fueron utilizados los incrementos medios anuales (IMA) en diámetro y altura promedio presentados en la Figura 4 y 5, que se obtuvieron de parcelas y de los análisis fustales de árboles con crecimiento de medio a alto.

Como ejemplo se presenta el escenario desarrollado con la restricción en área basal de 24 m²/ha como máximo. Para este escenario se establecieron cinco raleos con intensidades de 25 a 50% (en término de número de árboles extraídos). Esto equivale a reducir 7,8 m²/ha en el primer raleo de saneamiento a los 5 años y a 4 raleos consecutivos de 8,6, 7.1, 5.5 y 5.8 m²/ha a los 9, 13, 18 y 23 años (Figura 6, Cuadro 3).

El turno final está proyectado para los 28 años, con 125 árboles/ha con diámetros promedio de 50,4 cm y al-

Análisis Fustal

El estudio de los anillos de crecimiento en árboles dominantes y codominantes permitió un estudio retrospectivo de su crecimiento; se supone que su comportamiento es un reflejo del crecimiento en diámetro y altura de los árboles que han sido desarrollados con menor competencia.

La Figura 2 ilustra la evolución de un árbol de teca hasta los 46 años de edad. Es evidente el lento crecimiento desde edades tempranas, principalmente en diámetro. Según el propietario su plantación no fue manejada, es decir, no tuvo raleos ni podas adecuadas.

De esta figura se quiere resaltar cómo el árbol formó un fuste bastante cilíndrico hasta unos 18 m de altura, debido quizás a la poca formación de ramas por la competencia entre copas.

Los crecimientos lentos en diámetro en ciertos períodos, como los presenta la Figura 2, pueden notarse más claramente en la Figura 3. Este árbol en particular a partir de los 4 años de edad disminuyó su crecimiento en diámetro considerablemente, hasta llegar a incrementos corrientes anuales menores a 0,5 cm y a edades tempranas (13 años). Luego mejora en los incrementos debido a aclareos leves y vuelve a decaer hasta que, a la edad de 40 años, se recupera un poco por la tala de algunos árboles de la plantación.

El análisis fustal de este árbol muestra que, con un adecuado manejo (principalmente por raleos oportunos), es posible alcanzar un ICA promedio de aproximadamente 2,5 cm a los 22 años de edad y de 1,5 cm a los 44 años.

Productividad: Desarrollo de escenarios de crecimiento

El objetivo de estos escenarios es mostrar posibles desarrollos de crecimen-

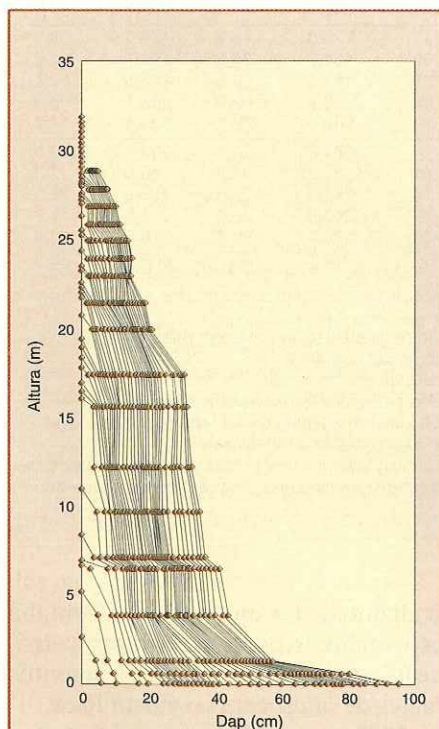


Figura 2. Crecimiento en diámetro (dap) y altura total (altura) de un árbol de *Tectona grandis* de 46 años según los resultados del análisis fustal. Parrita, Puntarenas, Costa Rica.

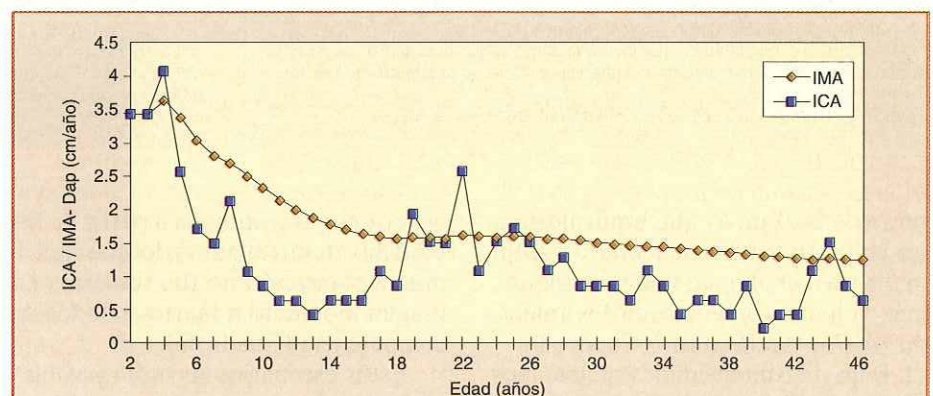


Figura 3. Crecimiento corriente anual (ICA) e incremento medio anual (IMA) en diámetro (dap) con base en el análisis fustal de un árbol de *Tectona grandis* de 46 años de edad en Parrita, Puntarenas, Costa Rica.

Cuadro 3. Resumen del rendimiento de plantaciones de *Tectona grandis* en Costa Rica bajo diferentes escenarios de crecimiento y de manejo silvicultural

Escenario AB	Arb/ha	Edad (años)	Raleos	N	Intens. Raleo (%)	dap (cm)	H total (m)	AB (m ² /ha)	AB-ext (m ² /ha)	AB-ext (%)	Vol. total rem. (m ³ /ha)	Vol. total Ext. (m ³ /ha)	Vol. total rem.+ext. (m ³ /ha)	IMA vol. rem. (m ³ /ha/año)
18m ²	1111	4	1	556	50	13,5	13,0	8,0	4,9	38	46,6	18,6	65,2	16,3
		8	2	308	45	21,5	17,5	11,2	7,1	39	88,0	51,6	139,6	18,6
		11	3	193	37	28,1	21,3	12,0	5,9	33	115,2	52,5	167,7	15,3
		16	4	145	25	35,1	25,3	14,1	4,0	22	160,2	42,1	202,3	13,1
		20	5	109	25	40,5	28,4	14,0	4,2	23	179,7	51,1	230,8	11,5
		26	Turno final	109	---	46,8	32,0	18,7	---	---	---	269,4	---	485,3
18m ²	816	5	1	431	47	16,0	14,4	8,7	5,3	38	56,6	30,1	86,4	17,3
		9	2	249	42	24,2	19,1	11,4	7,0	38	99,1	56,1	155,2	17,1
		13	3	158	36	31,5	23,3	12,3	6,1	33	129,1	59,8	188,9	14,5
		19	4	119	25	38,5	27,3	13,8	4,1	23	169,8	48,4	218,2	11,8
		25	Turno final	119	---	44,4	30,6	18,4	---	---	---	253,8	---	448,1
20m ²	1111	4	1	556	50	13,5	13,0	8,0	4,9	38	46,6	18,6	65,2	16,3
		8	2	306	45	22,1	18,1	12,1	8,0	40	98,2	60,5	158,7	19,8
		12	3	185	40	29,9	22,3	12,9	7,3	36	130,0	68,6	198,6	16,6
		18	4	138	25	38,0	27,0	15,7	4,7	23	190,7	54,2	244,9	13,6
		23	5	103	25	43,3	30,0	15,2	4,8	24	205,5	62,8	268,3	11,7
		28	Turno final	103	---	50,4	34,0	20,6	---	---	---	315,1	---	579,9
20m ²	816	5	1	445	45	16,0	14,4	9,0	5,0	36	58,1	28,3	86,4	17,3
		10	2	258	42	25,0	19,6	12,7	7,8	38	111,6	64,1	175,7	18,5
		14	3	172	33	32,3	23,7	14,1	6,0	30	150,3	60,4	210,7	15,6
		19	4	129	25	39,0	27,5	15,5	4,6	23	191,5	54,8	246,3	13,0
		25	5	97	25	44,8	30,8	15,3	4,8	24	211,6	65,2	276,8	11,1
29	Turno final	97	---	51,3	34,6	20,0	---	---	---	311,5	---	584,2	10,9	
22m ²	1111	4	1	556	50	13,5	13,0	8,0	4,9	38	46,6	18,6	65,2	16,3
		9	2	308	45	23,3	18,6	13,2	8,8	40	110,2	68,3	178,5	21,0
		13	3	196	36	31,5	23,3	15,3	7,5	33	160,0	74,1	234,1	18,0
		19	4	147	25	38,5	27,3	17,2	5,1	23	210,5	60,0	270,5	14,6
		24	5	110	25	44,1	30,4	16,8	5,3	24	230,1	70,6	300,7	12,5
		28	Turno final	111	---	50,4	34,0	22,2	---	---	---	340,7	---	595,9
22m ²	816	5	1	445	45	16,0	14,4	9,0	5,0	36	58,1	28,3	86,4	17,3
		10	2	246	45	26,3	20,3	13,3	8,5	39	121,6	70,7	192,3	19,2
		15	3	166	33	34,4	24,9	15,4	6,6	30	173,1	70,3	243,4	16,2
		21	4	111	33	41,6	29,0	15,1	6,8	31	197,5	85,9	283,4	13,5
		28	Turno final	111	---	50,4	34,0	22,2	---	---	---	340,7	---	595,9
24m ²	1111	5	1	559	50	16,0	14,4	11,2	7,8	41	73,0	44,7	117,7	23,5
		9	2	333	40	24,2	19,1	15,3	8,6	36	131,2	68,5	199,7	22,2
		13	3	224	33	31,5	23,3	17,5	7,1	29	182,9	69,6	252,5	19,4
		18	4	168	25	37,5	26,7	18,5	5,5	23	222,2	62,9	285,1	16,3
		23	5	125	25	43,3	30,0	18,4	5,8	24	249,0	76,1	325,1	14,1
24m ²	816	28	Turno final	125	---	50,4	34,0	24,9	---	---	381,8	---	703,7	13,6
		5	1	410	50	16,0	14,4	8,3	5,7	41	53,6	32,8	86,4	17,3
		11	2	246	40	28,1	21,3	15,3	8,6	36	146,5	76,8	223,3	20,3
		16	3	173	30	35,8	25,7	17,4	6,4	27	200,8	70,4	271,2	17,0
		22	4	122	30	42,5	29,5	17,3	6,7	28	230,0	86,6	316,6	14,4
28	Turno final	122	---	50,4	34,0	24,3	---	---	---	272,7	---	639,3	13,3	

Donde:

Escenario: definido en términos de área basal (AB) y número de árboles por hectárea (arb/ha)
 Edad (años): edad de la plantación
 Raleos: número del raleo aplicado
 N (arb/ha): densidades de plantación después del raleo,
 N-max (arb/ha): densidad de plantación máxima según modelos desarrollados
 Intens. raleo (%): intensidad de los raleos con base en el número de árboles extraídos
 dap (cm): diámetro promedio de la plantación antes del raleo

Htotal (m): altura total promedio de la plantación antes del raleo
 AB (m²/ha): área basal remanente por hectárea
 AB-extr. (m²/ha): área basal extraída por hectárea
 AB-extr. (%): área basal extraída por hectárea (en porcentaje)
 Vol. total rem. (m³/ha): volumen total remanente por hectárea
 Vol. total ext. (m³/ha): volumen total extraído por hectárea
 Vol. total rem. + ext. (m³/ha): volumen total remanente más extraído, por hectárea
 IMA Vol. rem. (m³/ha/año): incremento medio anual en volumen total remanente por hectárea

turas de 34,0 m, lo que equivaldría a un volumen total remanente de 381,8 m³/ha y a un volumen total remanente, más volumen obtenido en los raleos, de 703,7 m³/ha (Figura 7, Cuadro 3).

Bajo las intensidades y los momentos de ejecución de los aclareos se mantiene la densidad de árboles/ha entre los límites de máxima densidad estimados a partir del área de ocupa-

ción de copas (estimada a partir de los modelos desarrollados), lo que indica que la plantación no fue sometida en ningún momento a fuertes estados de competencia (Cuadro 3).

Estos escenarios son sólo posibles opciones de manejo de una plantación. Las mediciones de las parcelas establecidas en el campo y los árboles aprovechados permitieron controlar

si alguno de los escenarios presentaba proyecciones poco probables o erróneas, con relación a los crecimientos reales de la especie en Costa Rica.

El diámetro máximo propuesto fue de 50,4 cm. La parcela evaluada en Parrita, a los 46 años, tenía un dap promedio de 42,0 cm (sin un manejo adecuado), encontrándose diámetros de hasta 58,7 cm dentro de la plantación.

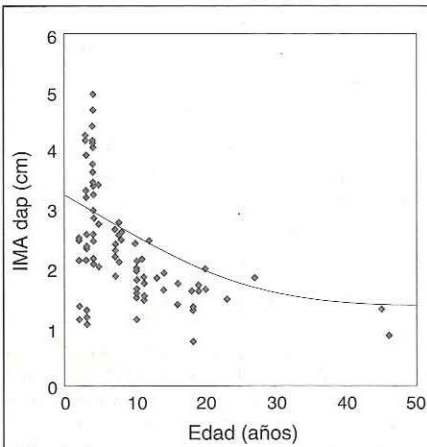


Figura 4. Ajuste del modelo (desarrollado de un grupo de datos que representan los crecimientos medios a altos) para la relación entre el incremento medio anual en diámetro (dap) y la edad utilizados en los escenarios de crecimiento para *Tectona grandis* en diferentes zonas climáticas de Costa Rica.

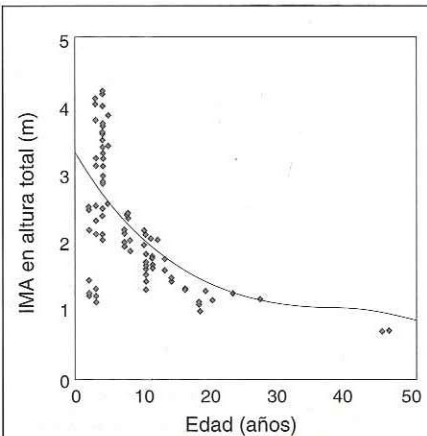


Figura 5. Ajuste del modelo (desarrollado de un grupo de datos que representan los crecimientos medios a altos) para la relación entre el incremento medio anual en altura total y la edad utilizados en los escenarios de crecimiento para *Tectona grandis* en diferentes zonas climáticas de Costa Rica.

En Costa Rica se han registrado productividades entre 6 m³/ha/año y 12 m³/ha/año en plantaciones de árboles de teca entre los 20 y 27 años (Rojas 1981). Los escenarios del estudio indicaron que la productividad a los 30 años varía entre 10,2 m³/ha/año y 13,6 m³/ha/año, excluyendo los volúmenes extraídos en los raleos. Evans y Wood (1994) citan un incremento medio anual (IMA) en volumen de 12 m³/ha/año en Kilombero, Tanzania. Vallejos (1996) encontró una productividad promedio de plantaciones de

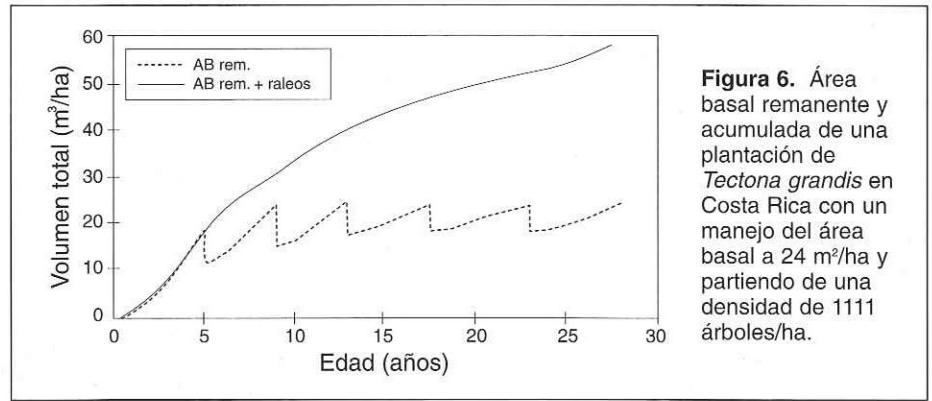


Figura 6. Área basal remanente y acumulada de una plantación de *Tectona grandis* en Costa Rica con un manejo del área basal a 24 m²/ha y partiendo de una densidad de 1111 árboles/ha.

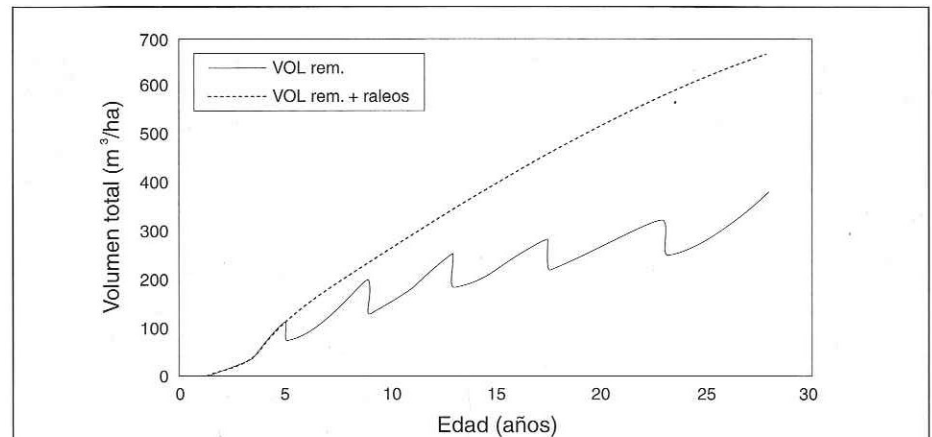


Figura 7. Volumen total remanente y acumulada de una plantación de *Tectona grandis* en Costa Rica con un manejo del área basal a 24 m²/ha y partiendo de una densidad de 1111 árboles/ha. A 3x3 m de espaciamiento en condiciones excelentes de crecimiento, el primer raleo se podría ejecutar a los 2 ó 3 de edad con un raleo pre-comercial y sin haber alcanzado los límites máximos de área basal fijados en los escenarios de crecimiento.

teca en Costa Rica menores a los 16 años de 15,0 m³/ha/año, mientras que Vázquez y Ugalde (1995) reportan un IMA en volumen entre 15 y 20 m³/ha/año para sitios medios y más de 20 m³/ha/año para sitios de calidad alta. Con edades menores a los 16 años los escenarios desarrollados presentan productividades entre los 13 y 24 m³/ha/año, similar a lo reportado por Vázquez y Ugalde para la teca en la provincia de Guanacaste, Costa Rica.

Centeno (1997) argumenta que, mediante un manejo intensivo de la teca en Mato Grosso (Brasil), la empresa Cáceres Florestal S.A. logró una productividad de 10 m³/ha/año a un turno de 25 años y sugiere que las plantaciones de teca en la región tropical de América producen entre 3 y 10 m³/ha/año en turnos de 20 a 30 años. Dupuy y Verhaegen (1993) citan una productividad al turno de rotación de 3,4 a 11,5 m³/ha/año para las plantacio-

nes de teca en Costa de Marfil, quedando la productividad sugerida en los escenarios de crecimiento desarrollados para la teca en Costa Rica dentro de los sitios de mediana a alta calidad.

Según Centeno el potencial de rendimiento de las plantaciones de teca en la región tropical de América puede llegar a 500 m³/ha en 30 años, en sitios de buena calidad y en sitios de baja calidad es posible alcanzar los 200 m³/ha en el mismo período.

Los escenarios desarrollados para la teca en Costa Rica mostraron volúmenes entre 254 m³/ha y 382 m³/ha, quedando dentro del intervalo sugerido por Centeno para plantaciones con buen crecimiento.

El autor considera conveniente dejar que las plantaciones de teca se desarrollen hasta 20-22 m²/ha, reduciéndolas en cada raleo hasta 13-15 m²/ha. Este régimen de manejo coincide con los escenarios tratados a 20 y 22 m²/ha,

mientras que en los escenarios con área basal máxima de 18 m²/ha se llevó el área basal a 11-12 m²/ha y los escenarios manejados a 24 m²/ha fueron reducidos a 15-16 m²/ha.

Como se mencionó, en los escenarios manejados a un área basal máxima de 24 m²/ha, el área basal fue reducida entre 15 y 16 m²/ha, quedando también dentro de los valores definidos por Torres (1982).

En Costa Rica existen plantaciones jóvenes con crecimientos mayores y menores a los empleados en los escenarios. Por tal razón y con el fin de conocer las variaciones en productividad con cambios esperados de crecimiento, se decidió desarrollar, como ejemplo, un escenario con un incremento medio anual (IMA) en diámetro 20% mayor y con un incremento medio anual (IMA) en altura 10% mayor, para asemejar plantaciones de alto crecimiento. De la misma forma fue desarrollado un escenario con un IMA en diámetro 20% menor y con un IMA en altura 10% menor, para suponer plantaciones con bajo crecimiento. Se utilizó el escenario manejado a un área basal de 24 m²/ha con 1111 árboles/ha.

Como era de esperarse, para alcanzar las mismas dimensiones estimadas para el escenario sin reducción de IMA, el turno final al reducir el IMA en dap y altura total debe extenderse de 28 a 36 años. El aumento de IMA en dap y altura total hace que el turno final se alcance a los 27 años (1

año antes). Si bien la reducción en el tiempo hasta el turno final es de solo un año, es posible alcanzar mayores dimensiones en los árboles. El diámetro promedio esperado al turno de corta fue de 57,2 cm, con una densidad de 96 árboles/ha.


Conclusiones y recomendaciones

1. Existen fuertes relaciones entre las variables de composición de copa y las variables de crecimiento. Esto permite, en primer lugar, conocer las dimensiones necesarias de los componentes de biomasa de follaje y ramas de la copa para lograr buenos crecimientos. En segundo lugar, es factible realizar estudios futuros de biomasa mucho más sencillos en metodología y obtener eficientes estimaciones de estos componentes.

2. El desarrollo de escenarios de crecimiento, basado en datos confiables del surgimiento de plantaciones sin manejo en el país, resultó ser una herramienta muy útil para conformar escenarios preliminares en el manejo de una plantación a lo largo del tiempo y tener una noción clara sobre lo que se espera de un rodal, a partir de su desarrollo actual y sobre el potencial del sitio, en términos de área basal.

3. *T. grandis* es una especie con crecimiento de mediano a rápido, pero demanda un manejo intensivo. El estudio pretende contribuir a la planificación de este manejo; es necesario reforzar los resultados obtenidos con más datos acerca de planta-

ciones viejas, en especial aquellas mayores a los 20 años, pero manejadas adecuadamente.

4. Es vital estudiar qué cantidad de los volúmenes finales, reportados en los escenarios de este estudio, serían volúmenes comerciales. Lógicamente, dependerá de las dimensiones de las trozas y del equipo utilizado en el procesamiento. 

Agradecimientos Los autores agradecen al Ing. Forestal Marcelino Montero por su apoyo en la fase de campo; al proyecto Dinámica de Plantaciones de la Universidad de Helsinki y a la Academia de Finlandia (Academy of Finland) por el apoyo y financiamiento en el trabajo de campo; a los señores Markku Kanninen, Ph.D., Rodolfo Salazar, Ph.D. y Manuel Gómez, M.Sc., por los valiosos aportes a la tesis de maestría.

Finalmente, un agradecimiento a todas las personas, empresas y entidades que colaboraron para la realización de esta investigación.

Luis Diego Pérez Cordero, M.Sc.
Estudiante de doctorado
Universidad de Helsinki
CATIE 7170 Turrialba, Costa Rica.
Tel:(506)556-2246 Fax:(506)556-6255
E-mail: dperez@catie.ac.cr

Luis Alberto Ugalde Arias, Ph.D.
Profesor-Investigador
CATIE 7170 Turrialba, Costa Rica.
Tel:(506)556-2418
Fax:(506)556-2427
E-mail: lugalde@catie.ac.cr

Markku Kanninen, Ph.D.
Director Programa de Investigación
CATIE 7170 Turrialba, Costa Rica.
Tel:(506)556-1754
E-mail: kanninen@catie.ac.cr

Literatura Citada

- Centeno, J.C. 1997. El manejo de las plantaciones de teca. *Actualidad Forestal Tropical* 5 (2): 10-12.
- Dupuy, B.; Verhaegen, D. 1993. Le teck de plantation. *Tectona grandis* en Côte-D'Ivoire. In *Bois et Forêts des Tropiques* no.235: 9-14.
- Evans, J.; Wood, P. 1994. El rol de las plantaciones en la silvicultura tropical. *Actualidad Forestal Tropical* 2 (1): 16.
- Karmacharya, S.B.; Singh, K.P. 1992. Biomass and net production of teak plantations in a dry tropical region in India. *Forest Ecology and Management* 55: 233-247.
- Kendall, J.A.; Brown, J.K. 1978. Comparison of tree biomass estimators-DBH and sapwood area. *Forest Science* 24 (4): 455-457.
- Mora, F. 1997. Factores de forma para teca, a diferentes edades, en la Vertiente Pacífica de Costa Rica. In *Congreso Forestal Nacional* (3, San José, Costa Rica). Memoria. San José, Costa Rica, Impreso Belén. p. 137-139.
- Morataya, R. 1996. Desarrollo de modelos de predicción para peso de follaje y volumen de albura: Aplicación de la Teoría del Modelo Vascular (TMV) e implicaciones en el manejo, en *Tectona grandis* y *Gmelina arborea*, Hojancha, Guanacaste, Costa Rica. Turrialba, Costa Rica, CATIE 123p.
- Ortiz, E. 1993. Técnicas para la estimación del crecimiento y rendimiento de árboles individuales y bosques. (Serie de Apoyo Académico no.16) Departamento de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica p. 43-48.
- Pérez, Luis Diego. 1998. Desarrollo de escenarios de crecimiento con base en la relación de la composición y la estructura de copa con la productividad en plantaciones de *Tectona grandis* y *Bombacopsis quinata* en Costa Rica". Tesis de Magister Scientiae. CATIE. San José, Costa Rica.
- Prodan, M.; Peters, R.; Cox, F.; Real, P. 1997. *Mensura Forestal*. IICA - GTZ. San José, Costa Rica. 586 p.
- Rojas, F. 1981. Especies forestales más utilizadas en los proyectos de reforestación en Costa Rica. Cartago, Costa Rica. Instituto Tecnológico de Costa Rica. 131 p.
- Torres, L.A. 1982. Influencia del sitio y la espesura en el crecimiento de plantaciones de teca (*Tectona grandis*) en Caparo, Venezuela. Mérida, Venezuela. Universidad de Los Andes. 67 p.
- Ugalde, L. A. 1995. Guía para el establecimiento y medición de parcelas de crecimiento en investigación y programas de reforestación con la metodología del Sistema MIRA. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 18 p.
- Vallejos Barra, O. 1996. Productividad y relaciones del índice de sitio con variables fisiográficas, edafoclimáticas y foliares para *Tectona grandis* L. F., *Bombacopsis quinatum* (Jacq.) Dugand y *Gmelina arborea* Roxb. en Costa Rica. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 147 p.
- Vásquez, W.; Ugalde, L. 1995. Rendimiento y calidad de sitio para *Gmelina arborea*, *Tectona grandis*, *Bombacopsis quinatum* y *Pinus caribaea* en Guanacaste, Costa Rica. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 33 p. (Serie Técnica. Informe Técnico N° 256).