

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA
ESCUELA DE POSGRADO

“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”.

POR

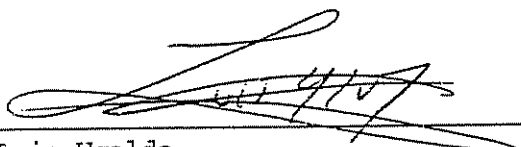
LUIS DIEGO PÉREZ CORDERO


Turrialba, Costa Rica
1998


Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma, por la Dirección de la Escuela de Postgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales del CATIE y aprobada por el Comité Asesor del estudiante como requisito parcial para optar al grado de:


MAGISTER SCIENTIAE

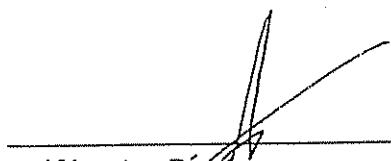
FIRMANTES:



Luis Ugalde
Profesor Consejero


Rodolfo Salazar
Miembro Comité Asesor


Markku Kanninen
Miembro Comité Asesor


Manuel Gómez
Miembro Comité Asesor


Gilberto Páez
Director y Decano de la Escuela de Postgrado


Luis Diego Pérez Cordero
Candidato

Dedicatoria

A mis padres,

autores de este gran logro en mi vida

Agradecimientos

- *Al director de tesis, Luis Ugalde, Ph.D.; a los miembros del comité asesor, Markku Kanninen, Ph.D.; Rodolfo Salazar, Ph.D. y Manuel Gómez, M.Sc. Gracias por la amistad y el apoyo brindados en estos dos años.*
- *A Marcelino Montero, sin cuya ayuda no hubiera logrado realizar tan difícil trabajo de campo.*
- *Al proyecto Dinámica de Plantaciones de la Universidad de Helsinki, Finlandia, por haber financiado el trabajo de campo.*
- *A todos los funcionarios de CATIE que de una u otra forma me brindaron su apoyo.*
- *A los propietarios de plantaciones forestales y funcionarios de los Centros Agrícolas Cantonales y oficinas regionales del MINAE que colaboraron en el trabajo de campo.*
- *Al Sr. Juan Rafael Lizano, por la confianza depositada en mi persona.*
- *Al CATIE, por todas las experiencias vividas.*

Tabla de Contenido

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	3
2.1 OBJETIVO GENERAL	3
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
3. HIPÓTESIS	4
4. REVISIÓN DE LITERATURA	4
4.1 DESCRIPCIÓN DE LAS ESPECIES	4
4.1.1 <i>Tectona grandis</i>	4
4.1.2 <i>Bombacopsis quinata</i>	10
4.2 RELACIONES DE LA BIOMASA DE COPA CON EL CRECIMIENTO Y LA PRODUCTIVIDAD	13
4.2.1 <i>Area Foliar</i>	13
4.2.2 <i>Distribución de la biomasa de copa de los árboles y los cambios en el tiempo</i>	17
4.2.3 <i>Composición de la biomasa de copa y su relación con el crecimiento del árbol</i>	19
4.2.4 <i>Teoría del Modelo Vascular (Pipe Model)</i>	22
4.3 INFLUENCIA DE LA DENSIDAD DE ÁRBOLES SOBRE LA BIOMASA DE COPA	24
4.3.1 <i>Máxima ocupación de sitio</i>	26
4.3.2 <i>El concepto de competencia dentro de la dinámica de rodales</i>	27
4.4 ANÁLISIS FUSTAL	29
4.5 VALORACIÓN FINANCIERA	31
5. METODOLOGÍA	33
5.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	33
5.2 MÉTODOS, MUESTREO Y PROCEDIMIENTOS ANALÍTICOS	40
5.2.1 <i>Fase I: Ordenación de la información existente y ubicación de sitios potenciales para el estudio</i>	40
5.2.2 <i>Fase II: Medición de las plantaciones</i>	40
5.2.3 <i>Fase III: Aprovechamiento de árboles</i>	41
5.2.4 <i>Fase IV: Análisis de la información</i>	43

	Pág.
6 RESULTADOS	47
6.1 TEORÍA DEL MODELO VASCULAR (TMV)	47
6.1.1 Relaciones en <i>Tectona grandis</i>	47
6.1.2 Relaciones para <i>Bombacopsis quinata</i>	51
6.2 MODELOS PARA LA RELACIÓN DE LA BIOMASA DE COPA CON EL CRECIMIENTO Y PRODUCTIVIDAD	56
6.2.1 Relación entre las variables para <i>Tectona grandis</i>	56
6.2.2 Relaciones entre variables de <i>Bombacopsis quinata</i>	59
6.2.3 Principales modelos para definir las relaciones de composición de la biomasa de copa con el crecimiento del árbol encontrados para <i>Tectona grandis</i> y <i>Bombacopsis quinata</i>	61
6.3 ANÁLISIS FUSTAL	64
6.4 PRODUCTIVIDAD: DESARROLLO DE ESCENARIOS DE CRECIMIENTO	71
6.4.1 <i>Tectona grandis</i>	71
6.4.2 <i>Bombacopsis quinata</i>	88
6.5 COMPARACIÓN DE COSTOS ENTRE UN MANEJO INTENSIVO Y UN MANEJO TRADICIONAL	100
6.6 BIOMASA SECA EN FOLLAJE Y RAMAS SEGÚN ZONA GEOGRÁFICA	104
6.7 PRODUCCIÓN DE BIOMASA DE FOLLAJE Y RAMAS	105
6.8 FACTOR DE FORMA	106
6.9 PORCENTAJE DE ÁREA DE ALBURA	107
6.10 PESO Y DENSIDAD DE LAS HOJAS DE <i>TECTONA GRANDIS</i>	111
7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	112
8. BIBLIOGRAFÍA	115
9. APÉNDICES	119

Lista de Cuadros

	Pág.
Cuadro 1. Clasificación de rendimiento y producción de <i>Tectona grandis</i> en Guanacaste, Costa Rica.....	6
Cuadro 2. Valores extremos e intermedios de las variables dasométricas encontradas para <i>Tectona grandis</i> en Costa Rica (plantaciones menores a 16 años).....	7
Cuadro 3. Clasificación del crecimiento y productividad de plantaciones jóvenes (hasta 10 años) de <i>Tectona grandis</i> en Costa Rica, según diferentes clases de sitio.....	7
Cuadro 4. Régimen de aclareos para <i>Tectona grandis</i> bajo diferentes índices de fertilidad en Barnoro, Costa de Marfil.....	9
Cuadro 5. Clasificación del rendimiento y producción para <i>Bombacopsis quinata</i> en Guanacaste, Costa Rica.....	11
Cuadro 6. Valores extremos e intermedios de las variables dasométricas encontradas para <i>Bombacopsis quinata</i> en Costa Rica (plantaciones menores a 17 años).....	12
Cuadro 7. Clasificación del crecimiento y productividad para <i>Bombacopsis quinata</i> en Costa Rica, según diferentes clases de sitio.....	12
Cuadro 8. Resultados de la medición de la composición de la biomasa de copa de 195 árboles de teca de diferentes edades en una región tropical seca de la India.....	16
Cuadro 9. Distribución de la biomasa de árboles de <i>Tectona grandis</i> y <i>Gmelina arborea</i> de 20 años de edad en Tripura, India.....	19
Cuadro 10. Modelos de predicción desarrollados para el peso del follaje y volumen de albura para plantaciones de <i>Tectona grandis</i> y <i>Bombacopsis quinata</i> en Guanacaste, Costa Rica.....	23
Cuadro 11. Características de las plantaciones de <i>Pinus taeda</i> de 25 años en Hawai y Carolina del Sur.....	27
Cuadro 12. Características climáticas y topográficas de las parcelas evaluadas de <i>Tectona grandis</i> en Costa Rica.....	34
Cuadro 13. Características climáticas y topográficas de las parcelas evaluadas de <i>Bombacopsis quinata</i> en Costa Rica.....	36
Cuadro 14. Características fisiográficas y climáticas de los sitios en donde se aprovecharon árboles de <i>Bombacopsis quinata</i> para el estudio de biomasa de copa en Costa Rica.....	38
Cuadro 15. Características fisiográficas y climáticas de los sitios en donde se aprovecharon árboles de <i>Tectona grandis</i> para el estudio de biomasa de copa en Costa Rica.....	39

	Pág.
Cuadro 16. Resumen de las correlaciones (%) encontradas para las principales variables evaluadas en los árboles de <i>Tectona grandis</i> aprovechados para el estudio de biomasa en la Zona Atlántica (ZA) y Zona Pacífica (ZP) de Costa Rica	57
Cuadro 17. Resumen de las principales coeficientes de correlación (%) encontrados para las variables evaluadas en los árboles de <i>Bombacopsis quinata</i> aprovechados para el estudio de biomasa en la Zona Pacífica de Costa Rica	59
Cuadro 18. Resumen del rendimiento de plantaciones de <i>Tectona grandis</i> en Costa Rica bajo diferentes escenarios de crecimiento y manejo silvicultural	82
Cuadro 19. Resumen del rendimiento de plantaciones de <i>Bombacopsis quinata</i> en Costa Rica bajo diferentes escenarios de crecimiento y manejo silvicultural	98
Cuadro 20. Costos de establecimiento y manejo de una plantación de <i>Tectona grandis</i> bajo un manejo intensivo y bajo un manejo tradicional en Costa Rica	102
Cuadro 21. Costos de establecimiento y manejo de una plantación de <i>Bombacopsis quinata</i> bajo un manejo intensivo y bajo un manejo tradicional en Costa Rica	103
Cuadro 22. Contenido de biomasa seca del follaje y de las ramas de <i>Tectona grandis</i> y <i>Bombacopsis quinata</i> en diferentes zonas de Costa Rica	104
Cuadro 23. Producción de biomasa seca de follaje y ramas en árboles de teca reportados en dos estudios realizados en Nigeria y en Costa Rica	105

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Potencial de rendimiento de las plantaciones de teca. Fuente: Centeno (1997).....	8
Figura 2. Simulación de la relación entre la edad al turno final y el diámetro promedio de los árboles según densidades de siembra iniciales en <i>Eucalyptus saligna</i> de 15 años en Hawai. Fuente: Fownes y Harrington, 1990.....	15
Figura 3. Distribución y acumulación de la biomasa de árboles de teca "promedios" en Nigeria Fuente: Chelunor (1983).....	18
Figura 4. Ilustración de los componentes del árbol y de la composición de copa, así como el concepto de asimetría de copa. Fuente: Curtin (1970).....	20
Figura 5. Localización de los sitios en donde fueron aprovechados árboles de <i>Tectona grandis</i> (T) y <i>Bombacopsis quinata</i> (P) en Costa Rica.....	37
Figura 6. Extracción de secciones transversales a diferentes alturas del fuste de los árboles aprovechados y utilizadas para el estudio de análisis fustal.....	43
Figura 7. Medición de los anillos de crecimiento en la sección transversal (galleta) de un fuste.....	45
Figura 8. Línea de tendencia de la relación entre el área de albura a la base del árbol y el peso seco del follaje en <i>Tectona grandis</i> ($R = 85\%$).....	47
Figura 9. Ajuste del modelo de predicción del peso del follaje a partir del área de albura a la base del árbol (Ecuación 1) con los datos de campo de <i>Tectona grandis</i> ($R^2 = 72\%$).....	48
Figura 10. Línea de tendencia de la relación entre el área de albura a la base de la copa viva y el peso seco del follaje en <i>Tectona grandis</i> ($R = 82\%$).....	49
Figura 11. Ajuste del modelo de predicción del peso del follaje a partir del área de albura a la base de la copa viva (Ecuación 2) con los datos de la muestra de campo de <i>Tectona grandis</i> ($R^2 = 64\%$).....	50
Figura 12. Línea de tendencia de la relación entre el área de albura a la base del árbol y el peso seco del follaje para <i>Bombacopsis quinata</i> ($R = 93\%$).....	52
Figura 13. Relación entre los valores observados y el modelo (Ecuación 3) para la relación área de albura a 0.3 m y peso seco del follaje en <i>Bombacopsis quinata</i> ($R^2 = 87\%$).....	52
Figura 14. Línea de tendencia de la relación entre el área de albura a la base de la copa y el peso seco del follaje en <i>Bombacopsis quinata</i> ($R = 78\%$).....	53
Figura 15. Línea de tendencia de la relación entre el área del penúltimo anillo de crecimiento a la base del árbol y el peso seco del follaje en <i>Bombacopsis quinata</i> ($R = 89\%$).....	54

	Pág.
Figura 16. Ajuste del modelo de predicción del peso del follaje a partir del área del penúltimo anillo a la base del árbol (Ecuación 4) con las observaciones de campo de <i>Bombacopsis quinata</i>	55
Figura 17. Línea de tendencia de la relación entre el área de copa y el peso seco del follaje en <i>Bombacopsis quinata</i> (R = 98%)	56
Figura 18. Crecimiento en diámetro (dap) y altura total (altura) de un árbol de <i>Tectona grandis</i> de 46 años según el análisis fustal. Parrita, Puntarenas, Costa Rica	65
Figura 19. Incremento corriente anual (ICA) e incremento medio anual (IMA) en diámetro (dap) con base en el análisis fustal de un árbol de <i>Tectona grandis</i> de 46 años de edad en Parrita, Puntarenas, Costa Rica	66
Figura 20. Análisis fustal de un árbol de <i>Tectona grandis</i> de 27 años en Buenos Aires, Puntarenas ..	67
Figura 21. Crecimiento corriente anual (ICA) e incremento medio anual (IMA) en diámetro (dap) con base en el análisis fustal de un árbol de <i>Tectona grandis</i> de 27 años de edad en Buenos Aires, Puntarenas, Costa Rica	67
Figura 22. Análisis fustal de un árbol de <i>Tectona grandis</i> de 12 años en Jicaral, Puntarenas, Costa Rica	68
Figura 23. Incremento corriente anual (ICA) e incremento medio anual (IMA) en diámetro (dap) de un árbol de <i>Tectona grandis</i> de 12 años de edad en Jicaral, Puntarenas, Costa Rica.....	69
Figura 24. Análisis fustal de un árbol de <i>Bombacopsis quinata</i> de 26 años en Buenos Aires, Puntarenas, Costa Rica	70
Figura 25. Incremento corriente anual (ICA) e incremento medio anual (IMA) en diámetro (dap) de un árbol de <i>Bombacopsis quinata</i> de 26 años de edad en Buenos Aires, Puntarenas, Costa Rica	70
Figura 26. Curvas de crecimiento en diámetro (dap) y altura total promedio utilizadas en los escenarios de crecimiento de <i>Tectona grandis</i> en Costa Rica	73
Figura 27. Área basal remanente y remanente más raleos de una plantación de <i>Tectona grandis</i> en Costa Rica con un manejo del área basal a 18 m ² /ha y partiendo de una densidad de 1111 árboles /ha (escenario 1)	74
Figura 28. Volumen total remanente y remanente más raleos de una plantación de <i>Tectona grandis</i> en Costa Rica con un manejo del área basal a 18 m ² /ha y partiendo de una densidad de 1111 árboles/ha (escenario 1)	75
Figura 29. Área Basal remanente y remanente más ralos de una plantación de <i>Tectona grandis</i> en Costa Rica con un manejo del área basal a 20 m ² /ha y partiendo de una densidad de 1111 árboles/ha (escenario 3)	76

	Pág.
Figura 30. Volumen remanente y remanente más raleos de una plantación de <i>Tectona grandis</i> en Costa Rica con un manejo del área basal a 20 m ² /ha y partiendo de una densidad de 1111 árboles/ha (escenario 3).	77
Figura 31. Área basal remanente y remanente más raleos de una plantación de <i>Tectona grandis</i> en Costa Rica con un manejo del área basal a 22 m ² /ha y partiendo de una densidad de 1111 árboles/ha (escenario 5).	78
Figura 32. Volumen total remanente y acumulado de una plantación de <i>Tectona grandis</i> en Costa Rica con un manejo del área basal a 22 m ² /ha y partiendo de una densidad de 1111 árboles/ha (escenario 5).	79
Figura 33. Área basal remanente y remanente más raleos de una plantación de <i>Tectona grandis</i> en Costa Rica con un manejo del área basal a 24 m ² /ha y partiendo de una densidad de 1111 árboles/ha (escenario 7).	80
Figura 34. Volumen total remanente y remanente más raleos de una plantación de <i>Tectona grandis</i> en Costa Rica con un manejo del área basal a 24 m ² /ha y partiendo de una densidad de 1111 árboles/ha (escenario 7).	81
Figura 35. Productividad de los escenarios de crecimiento desarrollados para <i>Tectona grandis</i> en Costa Rica.	85
Figura 36. Curvas de crecimiento en diámetro (dap) y altura total promedio utilizadas en los escenarios de crecimiento de <i>Bombacopsis quinata</i> en Costa Rica.	89
Figura 37. Área basal remanente y remanente más raleos de una plantación de <i>Bombacopsis quinata</i> en Costa Rica con un manejo del área basal a 18 m ² /ha y partiendo de una densidad de 1111 árboles/ha (escenario 1).	90
Figura 38. Volumen total remanente y remanente más raleos de una plantación de <i>Bombacopsis quinata</i> en Costa Rica con un manejo del área basal a 18 m ² /ha y partiendo de una densidad de 1111 árboles/ha (escenario 1).	91
Figura 39. Área Basal remanente y remanente más raleos de una plantación de <i>Bombacopsis quinata</i> en Costa Rica con un manejo del área basal a 20 m ² /ha y partiendo de una densidad de 1111 árboles/ha (escenario 3).	92
Figura 40. Volumen total remanente y remanente más raleos de una plantación de <i>Bombacopsis quinata</i> en Costa Rica con un manejo del área basal a 20 m ² /ha y partiendo de una densidad de 1111 árboles/ha (escenario 3).	93
Figura 41. Área Basal remanente y remanente más raleos de una plantación de <i>Bombacopsis quinata</i> en Costa Rica con un manejo del área basal a 22 m ² /ha y partiendo de una densidad de 1111 árboles/ha (escenario 5).	94
Figura 42. Volumen total remanente y acumulado de una plantación de <i>Bombacopsis quinata</i> en Costa Rica con un control del área basal a 22 m ² /ha y partiendo de una densidad de 1111 árboles/ha (escenario 5).	95

	Pág.
Figura 43. Area Basal remanente y acumulada de una plantación de <i>Bombacopsis quinata</i> en Costa Rica con un manejo del área basal a 24 m ² /ha y partiendo de una densidad de 1111 árboles/ha (escenario 7)	96
Figura 44. Volumen total remanente y remanente más raleos de una plantación de <i>Bombacopsis quinata</i> en Costa Rica con manejo del área basal a 24 m ² /ha y partiendo de una densidad de 1111 árboles/ha (escenario 7).....	97
Figura 45. Productividad de los escenarios de crecimiento desarrollados para <i>Bombacopsis quinata</i> en Costa Rica	100
Figura 46. Distribución del factor de forma según el diámetro de los árboles para <i>Tectona grandis</i> en Costa Rica.....	106
Figura 47. Distribución del factor de forma según el diámetro de los árboles para <i>Bombacopsis quinata</i> en Costa Rica.....	107
Figura 48. Porcentaje de área de albura en relación al área basal de las secciones transversales tomadas a 0.3 m de altura, al dap y a la base de la copa viva en árboles de <i>Tectona grandis</i> en Costa Rica.....	108
Figura 49. Porcentaje de área de albura en relación al área basal de las secciones transversales del fuste tomadas a 0.3 m de altura (0.3), al dap (dap) y a la base de la copa viva (BC) en árboles de <i>Tectona grandis</i> en Costa Rica.....	109
Figura 50. Porcentaje de área de albura en relación al área basal de las secciones transversales tomadas a 0.3 m de altura y a la base de la copa viva en árboles de <i>Bombacopsis quinata</i> en Costa Rica.....	110
Figura 51. Porcentaje de área basal de albura de las secciones transversales del fuste tomadas a 0.3 m de altura o base del árbol (BA) y a la base de la copa viva (BC) en relación a la edad en árboles de <i>Bombacopsis quinata</i> en Costa Rica. La línea de tendencia está basada únicamente en las observaciones tomadas a la base del árbol (BA).....	111

Lista de Ecuaciones

	Pág
$Phojas = -0.872 + 0.067 * Aalburai$ $R^2 = 72%$ (Ecuación 1).....	48
$Ln(Phojas) = -2.31 + 1.052 * Ln(Aalburas)$ $R^2 = 64%$ (Ecuación 2).....	50
$Phojas = 0.538 + 0.009 * Aalburai$ $R^2 = 87%$ (Ecuación 3).....	52
$Phojas = -1.042 + 0.163 * Apai$ $R^2 = 79%$ (Ecuación 4).....	54
$LN(Phojas) = -3.228 + 1.827 * LN(DAP)$ $R^2 = 87%$ (Ecuación 5).....	61
$PHOJAS = 5.402 + 0.121 * PRAMAS$ $R^2 = 81%$ (Ecuación 6).....	61
$LN(PHOJAS) = 4.375 + 0.671 * LN(VRAMAS)$ $R^2 = 77%$ (Ecuación 7).....	61
$PHOJAS = -9.356 + 4.088 * DCOPA$ $R^2 = 77%$ (Ecuación 8).....	61
$AALBURAI = -101.194 + 14.017 * DAP$ $R^2 = 69%$ (Ecuación 9).....	61
$ACOPA = -14.945 + 1.954 * DAP$ $R^2 = 54%$ (Ecuación 10).....	61
$HARBOL = 5.31 + 0.57 * DAP$ $R^2 = 83%$ (Ecuación 11).....	61
$DCOPA = 0.884 + 0.206 * DAP$ $R^2 = 72%$ (Ecuación 12).....	61
$LN(DCOPA) = -0.081 + 0.395 * LN(VCOPA)$ $R^2 = 95%$ (Ecuación 13).....	61
$DCOPA = 3.042 + 0.189 * PHOJAS$ $R^2 = 77%$ (Ecuación 14).....	61
$DCOPA = -0.178 + 2.456 * LN(PHOJAS)$ $R^2 = 96%$ (Ecuación 15).....	61
$DBCOPA = 4.395 + 0.527 * DAP$ $R^2 = 77%$ (Ecuación 16).....	61
$DBCOPA = 3.536 + 0.327 * DAP + 0.972 * DCOPA$ $R^2 = 82%$ (Ecuación 17).....	61
$LN(PRAMAS) = -4.355 + 0.769 * LN(DCOPA) + 2.195 * LN(DAP)$ $R^2 = 84%$ (Ecuación 18).....	61
$PRAMAS = 14.074 + 0.520 * VCOPA$ $R^2 = 82%$ (Ecuación 19).....	61
$LN(PRAMAS) = 0.061 + 0.615 * LN(PHOJAS)$ $R^2 = 81%$ (Ecuación 20).....	62
$LN(PRAMAS) = 7.059 + 1.093 * LN(VRAMAS)$ $R^2 = 96%$ (Ecuación 21).....	62
$VCOPA = -4.067 + 1658.143 * VRAMAS$ $R^2 = 82%$ (Ecuación 22).....	62
$VCOPA = 10.733 + 1.576 * PRAMAS$ $R^2 = 80%$ (Ecuación 23).....	62
$LN(AALBURAI) = 0.265 + 1.850 * LN(DAP)$ $R^2 = 91%$ (Ecuación 24).....	62

APAI = -54.034 + 16.411 * DCOPA R²= 76% (Ecuación 25) 62

HARBOL = 4.371 + 0.466 * DAP R²= 81% (Ecuación 26) 62

DBCOPA = 2.014 + 0.630 * DAP R²= 88% (Ecuación 27) 62

DCOPA = 2.260 + 0.156 * DAP R²= 53% (Ecuación 28) 62

DCOPA = -7.431 + 4.281*LN(DAP) R²= 97% (Ecuación 29) 62

ACOPA = 8.754 + 3.860 * PHOJAS R²= 98% (Ecuación 30) 62

PHOJAS = -1.880 + 0.247 * ACOPA R²= 95% (Ecuación 31) 62

PHOJAS = -10.295 + 2.629 * DCOPA R²= 88% (Ecuación 32) 62

PHOJAS = -8.585 + 0.600 * DAP R²= 66% (Ecuación 33) 62

PHOJAS = -41.649 + 15.156* LN (DAP) R²= 82% (Ecuación 34) 62

PHOJAS = -2.945 + 1.225 * (PRAMAS)^{0.5} R²= 86% (Ecuación 35) 62

PHOJAS = 1.357 + 38.648 * VRAMAS R²= 87% (Ecuación 36) 62

PRAMAS = -99.298 + 6.510 * DAP R²= 92% (Ecuación 37) 63

PRAMAS = -4.396 + 688.832 * VRAMAS R²= 97% (Ecuación 38) 63

LN (VARBOL) = -9.753 + 2.708 * LN (DAP) R²= 98% (Ecuación 39) 63

Htotal = -0.0084 * (dap)² + 1.0602 * dap - 0.3425 R² = 90% (Ecuación 40) 72

Edad = 0.8911 + 0.2454 * dap + 0.0006 * (dap)² R²= 79% (Ecuación 41) 88

Htotal = 0.6832 * dap - 0.7735 R² = 91% (Ecuación 42) 88

Lista de Cuadros de los Apéndices

	Pág.
Cuadro 1. Resumen de las parcelas establecidas en plantaciones de <i>Tectona grandis</i> en Costa Rica	120
Cuadro 2. Resumen de las parcelas establecidas para <i>Bombacopsis quinata</i> en Costa Rica	122
Cuadro 3. Lista de los árboles de <i>Tectona grandis</i> aprovechados para la medición de variables de composición de biomasa de copa	123
Cuadro 4. Lista de los árboles de <i>Bombacopsis quinata</i> aprovechados para la medición de variables de composición de biomasa de copa	124
Cuadro 5. Escenario 1: desarrollo de una plantación de <i>Tectona grandis</i> manejada a un área basal máxima de 18 m ² /ha y partiendo de 1111 árboles /ha (3 x 3 m)	140
Cuadro 6. Escenario 2: desarrollo de una plantación de <i>Tectona grandis</i> manejada a un área basal máxima de 18 m ² /ha y partiendo de 816 árboles /ha (3.5 x 3.5 m)	141
Cuadro 7. Escenario 3: desarrollo de una plantación de <i>Tectona grandis</i> manejada a un área basal máxima de 20 m ² /ha y partiendo de 1111 árboles /ha (3.0 x 3.0 m)	142
Cuadro 8. Escenario 4: desarrollo de una plantación de <i>Tectona grandis</i> manejada a un área basal máxima de 20 m ² /ha y partiendo de 816 árboles /ha (3.5 x 3.5 m)	143
Cuadro 9. Escenario 5: desarrollo de una plantación de <i>Tectona grandis</i> manejada a un área basal máxima de 22 m ² /ha y partiendo de 1111 árboles /ha (3.0 x 3.0 m)	144
Cuadro 10. Escenario 6: desarrollo de una plantación de <i>Tectona grandis</i> manejada a un área basal máxima de 22 m ² /ha y partiendo de 816 árboles /ha (3.5 x 3.5 m)	145
Cuadro 11. Escenario 7: desarrollo de una plantación de <i>Tectona grandis</i> manejada a un área basal máxima de 24 m ² /ha y partiendo de 1111 árboles /ha (3.0 x 3.0 m)	146
Cuadro 12. Escenario 8: desarrollo de una plantación de <i>Tectona grandis</i> manejada a un área basal máxima de 24 m ² /ha y partiendo de 816 árboles /ha (3.5 x 3.5 m)	147
Cuadro 13. Escenario 9: desarrollo de una plantación de <i>Tectona grandis</i> manejada a un área basal máxima de 24 m ² /ha y partiendo de 1111 árboles /ha (3.5 x 3.5 m). Reducción del IMA dap en 20% y del IMA Htotal en 10%	148
Cuadro 14. Escenario 10: desarrollo de una plantación de <i>Tectona grandis</i> manejada a un área basal máxima de 24 m ² /ha y partiendo de 1111 árboles /ha (3.5 x 3.5 m). Aumento del IMA dap en 20% y del IMA Htotal en 10%	149
Cuadro 15. Escenario 1: simulación del crecimiento de una plantación de <i>Bombacopsis quinata</i> manejada a un área basal máxima de 18 m ² /ha y partiendo de 1111 árboles /ha (3.0 x 3.0 m)	151

	Pág.
Cuadro 16. Escenario 2: simulación del crecimiento de una plantación de <i>Bombacopsis quinata</i> manejada a un área basal máxima de 18 m ² /ha y partiendo de 816 árboles /ha (3.5 x 3.5 m)	152
Cuadro 17. Escenario 3: simulación del crecimiento de una plantación de <i>Bombacopsis quinata</i> manejada a un área basal máxima de 20 m ² /ha y partiendo de 1111 árboles /ha (3.0 x 3.0 m)	153
Cuadro 18. Escenario 4: simulación del crecimiento de una plantación de <i>Bombacopsis quinata</i> manejada a un área basal máxima de 20 m ² /ha y partiendo de 816 árboles /ha (3.5x3.5 m)	154
Cuadro 19. Escenario 5: simulación del crecimiento de una plantación de <i>Bombacopsis quinata</i> manejada a un área basal máxima de 22 m ² /ha y partiendo de 1111 árboles /ha (3.0 x 3.0 m)	155
Cuadro 20. Escenario 6: simulación del crecimiento de una plantación de <i>Bombacopsis quinata</i> manejada a un área basal máxima de 22 m ² /ha y partiendo de 816 árboles /ha (3.5x3.5 m)	156
Cuadro 21. Escenario 7: simulación del crecimiento de una plantación de <i>Bombacopsis quinata</i> manejada a un área basal máxima de 24 m ² /ha y partiendo de 1111 árboles /ha (3.0 x 3.0 m)	157
Cuadro 22. Escenario 8: simulación del crecimiento de una plantación de <i>Bombacopsis quinata</i> manejada a un área basal máxima de 24 m ² /ha y partiendo de 816 árboles /ha (3.5 x 3.5 m)	158

Lista de Figuras de los Apéndices

	Pág.
Figura 1. Distribución de los residuos de la Ecuación 1 (Pág. 48)	125
Figura 2. Histograma de los residuos de la Ecuación 1 (Pág. 48).....	125
Figura 3. Ajuste de la Ecuación 1 (Pág. 48) con los datos de campo	125
Figura 4. Distribución de los residuos de la Ecuación 2 (Pág. 50)	126
Figura 5. Histograma de los residuos de la Ecuación 2 (Pág. 50).....	126
Figura 6. Ajuste de la Ecuación 2 (Pág. 50) con los datos de campo.....	126
Figura 7. Distribución de los residuos de la Ecuación 3 (Pág. 53)	127
Figura 8. Histograma de los residuos de la Ecuación 3 (Pág. 53).....	127
Figura 9. Ajuste de la Ecuación 3 (Pág. 53) con los datos de campo	127
Figura 10. Distribución de los residuos de la Ecuación 4 (Pág. 54).....	128
Figura 11. Histograma de los residuos de la Ecuación 4 (Pág. 54).....	128
Figura 12. Ajuste de la Ecuación 4 (Pág. 54) con los datos de campo	128
Figura 13. Distribución de los residuos de la Ecuación 8 (Pág. 61).....	129
Figura 14. Histograma de los residuos de la Ecuación 8 (Pág. 61).....	129
Figura 15. Ajuste de la Ecuación 8 (Pág. 61) con los datos de campo	129
Figura 16. Distribución de los residuos de la Ecuación 11 (Pág. 61).....	130
Figura 17. Histograma de los residuos de la Ecuación 11 (Pág. 61).....	130
Figura 18. Ajuste de la Ecuación 11 (Pág. 61) con los datos de campo	130
Figura 19. Distribución de los residuos de la Ecuación 16 (Pág. 61).....	131
Figura 20. Histograma de los residuos de la Ecuación 16 (Pág. 61).....	131
Figura 21. Ajuste de la Ecuación 16 (Pág. 61) con los datos de campo	131
Figura 22. Distribución de los residuos de la Ecuación 17 (Pág. 61).....	132
Figura 23. Histograma de los residuos de la Ecuación 17 (Pág. 61).....	132

	Pág.
Figura 24. Ajuste de la Ecuación 17 (Pág. 61) con los datos de campo.....	132
Figura 25. Distribución de los residuos de la Ecuación 25 (Pág. 62).....	133
Figura 26. Histograma de los residuos de la Ecuación 25 (Pág. 62).....	133
Figura 27. Curva de mejor ajuste de la Ecuación 25 (Pág. 62) con los datos de campo.....	133
Figura 28. Distribución de los residuos de la Ecuación 26 (Pág. 62).....	134
Figura 29. Histograma de los residuos de la Ecuación 26 (Pág. 62).....	134
Figura 30. Ajuste de la Ecuación 26 (Pág. 62) con los datos de campo.....	134
Figura 31. Distribución de los residuos de la Ecuación 30 (Pág. 62).....	135
Figura 32. Histograma de los residuos de la Ecuación 30 (Pág. 62).....	135
Figura 33. Ajuste de la Ecuación 30 (Pág. 62) con los datos de campo.....	135
Figura 34. Distribución de los residuos de la Ecuación 31 (Pág. 62).....	136
Figura 35. Histograma de los residuos de la Ecuación 31 (Pág. 62).....	136
Figura 36. Ajuste de la Ecuación 31 (Pág. 62) con los datos de campo.....	136
Figura 37. Distribución de los residuos de la Ecuación 32 (Pág. 62).....	137
Figura 38. Histograma de los residuos de la Ecuación 32 (Pág. 62).....	137
Figura 39. Ajuste de la Ecuación 32 (Pág. 62) con los datos de campo.....	137
Figura 40. Ajuste de la Ecuación 40 (Pág. 72) con los datos provenientes del análisis fustal de 6 árboles de <i>Tectona grandis</i>	138
Figura 41. Distribución de los residuos de la Ecuación 39 (Pág. 63).....	138
Figura 42. Histograma de los residuos de la Ecuación 39 (Pág. 63).....	139
Figura 43. Curva de mejor ajuste de la Ecuación 41 (Pág. 88) sobre los datos de campo.....	150
Figura 44. Curva de mejor ajuste de la Ecuación 42 (Pág. 88) sobre los datos de campo.....	150

PÉREZ, L. D. 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 M.Sc., CATIE, Turrialba, Costa Rica.

Palabras claves: *Tectona grandis*, *Bombacopsis quinata*, composición y estructura de copa, crecimiento y productividad, manejo intensivo, costos.

RESUMEN

En la actualidad en América Central, en los proyectos y empresas privadas, existe una urgente necesidad de contar con información relevante sobre el crecimiento y la productividad de especies prioritarias para la reforestación como teca y pochote, especialmente a edades avanzadas, así como de la producción esperada al final del turno.

La competencia por espacio entre los árboles de una plantación es uno de los factores determinantes para su buen crecimiento, por lo que el manejo debe evaluar y monitorear el estado de desarrollo de los árboles para reducir los efectos de la competencia.

Investigaciones dirigidas a entender la dinámica de las plantaciones forestales (estudio del desarrollo a través del tiempo) identifican a la composición de la biomasa de copa como un indicador muy importante de la competencia dentro de un rodal y su efecto sobre otras variables de crecimiento.

El objetivo principal de este estudio es desarrollar propuestas preliminares de manejo forestal de plantaciones de *Tectona grandis* y *Bombacopsis quinata* que aseguren los mejores rendimientos.

Se desarrollaron modelos para las diferentes relaciones entre las variables de estructura y composición de copa, crecimiento y productividad, utilizando información de plantaciones teca y pochote de avanzada edad en Costa Rica. Las principales ecuaciones se presentan a continuación:

Variable dependiente	Variable independiente	Modelo	R ² (%)	Especie
Peso follaje	Area de albura a 0.3 m	$Y = -0.872 + 0.067 X$	72	teca
		$Y = 0.538 + 0.009 X$	87	pochote
Peso follaje	Area de albura en base de copa	$\ln(Y) = -2.31 + 1.052 \ln(X)$	64	teca
Peso follaje	Area antep. anillo a 0.3 m.	$Y = -1.042 + 0.163 X$	79	pochote
Peso follaje	dap	$\ln(Y) = -3.228 + 1.827 \ln(X)$	87	teca
		$Y = -41.649 + 15.156 \ln(X)$	82	pochote
Peso follaje	Diámetro de copa	$Y = -9.356 + 4.088 X$	77	teca
		$Y = -10.295 + 2.629 X$	88	pochote
Diámetro de copa	dap	$Y = 0.884 + 0.206 X$	72	teca
		$Y = 2.260 + 0.156 X$	53	pochote

La información de crecimiento y productividad proveniente de las parcelas medidas en el campo y de los análisis fustales realizados, así como las relaciones entre composición y estructura de copa, el crecimiento y la productividad, fundamentaron el desarrollo de escenarios de crecimiento. Se plantean ocho escenarios para cada especie, tomando como criterio un manejo intensivo a 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 para teca se presentan turnos finales de corta entre los 25 y los 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 varían entre 10.2 y 13.3 m³/ha/año, para volúmenes totales remanentes de 270 a 380 m³/ha.

En pochote se desarrollaron escenarios con turnos finales de 24 a 29 años, con densidades finales de 110 a 130 árboles/ha. Para entonces se espera contar con árboles de 45 a 52 cm de diámetro promedio y alturas totales promedio de 30 a 35 m, lo que equivaldría a volúmenes totales de 220 a 331 m³/ha y a productividades de 9.0 a 11.3 m³/ha/año.

La comparación de costos entre un manejo intensivo y un manejo tradicional muestra que el manejo intensivo implica entre un 25 y un 33% más de los costos del manejo tradicional.

Se corroboró que la Teoría del Modelo Vascular aplica también en árboles de *Tectona grandis* de edades avanzadas de hasta 46 años, para las relaciones entre el área de albura a la base del árbol (cm^2) y a la base de la copa (cm^2) con el peso del follaje (kg).

En pochote, se presenta también la relación de área de albura a la base del árbol y a la base de la copa con el peso del follaje, e inclusive se relaciona fuertemente el área del penúltimo anillo de crecimiento a la base del árbol con el peso del follaje, a edades entre 10 y 23 años

En teca es posible realizar el análisis fustal en árboles provenientes de plantaciones de las zonas en donde existe una estación seca definida, dado que presentan una clara formación de anillos. En pochote se presentan más problemas con el análisis fustal, ya que inclusive en las zonas con una estación seca marcada como Jicaral o Sámara en Guanacaste, no fue posible en muchos casos identificar la totalidad de los anillos de crecimiento.

El desarrollo de escenarios de crecimiento, basado en datos confiables del desarrollo de plantaciones en el país, resultó ser una herramienta muy útil para desarrollar escenarios preliminares para el manejo de una plantación en el tiempo y tener una noción de qué es lo que se puede esperar de un rodal, a partir de su desarrollo actual y el potencial del sitio en términos de área basal.

Tectona grandis y *Bombacopsis quinata* son especies de crecimiento de mediano a rápido pero demandantes de un manejo intensivo. El presente estudio pretende contribuir a la planificación de este manejo, siendo recomendable reforzar los resultados obtenidos con más datos de plantaciones de avanzada edad, en especial con plantaciones de edades mayores a los 20 años.

PÉREZ, L.D. 1998. Development of stand growth scenarios based on the relationship among the crown composition, the crown structure and the productivity of *Tectona grandis* and *Bombacopsis quinata* plantations in Costa Rica. M.Sc thesis., CATIE, Turrialba, Costa Rica.

Keywords: *Tectona grandis*, *Bombacopsis quinata*, crown composition and structure, growth and productivity, intensive management, costs.

SUMMARY

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

Spatial competition among plantation trees is one of the decisive factors for adequate growth. One means of evaluating the effect of reduced competition is to monitor tree development.

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 is to develop preliminary forest management proposals for *Tectona grandis* and *Bombacopsis quinata* 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 principle equations used are:

Dependent variable	Independent variable	Model	R ² (%)	Species
Foliage weight	Sapwood area at 0.3 m height	$Y = -0.872 + 0.067 X$	72	teak
		$Y = 0.538 + 0.009 X$	87	pochote
Foliage weight	Sapwood area at crown base	$\text{Ln}(Y) = -2.31 + 1.052 \text{Ln}(X)$	64	teak
Foliage weight	Next to last ring area at 3 m height.	$Y = -1.042 + 0.163 X$	79	pochote
Foliage weight	d.b.h.	$\text{Ln}(Y) = -3.228 + 1.827 \text{Ln}(X)$	87	teak
		$Y = -41.649 + 15.156 \text{Ln}(X)$	82	pochote
Foliage weight	Crown width	$Y = -9.356 + 4.088 X$	77	teak
		$Y = -10.295 + 2.629 X$	88	pochote
Crown width	d.b.h.	$Y = 0.884 + 0.206 X$	72	teak
		$Y = 2.260 + 0.156 X$	53	pochote

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 for each 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.

For pochote plantations, scenarios were developed for rotation periods between 24 and 29 years, using final densities between 110 and 130 trees/ha. Expected results include trees with average diameters of 45 to 52 cm, and total average heights of 30 to 35 m, equivalent to a total volume of 220 to 331 m³/ha, and an annual productivity rate of 9.0 to 11.3 m³/ha/year.

Cost comparisons for intensive versus traditional management practices indicate that the former requires a 25 to 33% higher investment than traditional management.

The Pipe Model Theory was tested for *Tectona grandis*, confirming its use for advanced age trees of up to 46 years, evaluating the relationship between the sapwood area at the base of the tree (cm^2) and at the crown base (cm^2), with the foliage weight (kg).

In the case of pochote, there is a relationship between the sapwood basal area at the tree base and the crown base with the foliage weight. In addition, for 10 to 23 year old trees, the next to last growth ring of the tree base is strongly correlated with dry foliage weight.

For teak plantations, it was possible to carry out stem analysis on trees from dry zone plantations, using the clearly formed rings resulting from a marked seasonality in the area. However, for pochote it was more difficult to identify growth rings in many cases, despite the marked seasonality in the areas such as Jicaral and Sámara in Guanacaste.

The evaluation of growth scenarios, based on reliable data for plantation growth in the country, was a useful tool to make predictions for plantation management over time. The scenarios allow for the anticipation of future productivity and yields, based on current and potential growth in terms of basal area in the site.

Tectona grandis and *Bombacopsis quinata* are species with medium to rapid growth, but require intensive management. The present study seeks to contribute to management strategies for these species. Recommendations include reinforcing the results obtained with more data from advanced age plantations, particularly for those older than 20 years.

1. Introducción

En Costa Rica, la mayoría de las plantaciones forestales, especialmente las de mayor edad, entre ellas las de teca y pochote, no han tenido los rendimientos en producción maderera esperados, siendo las causas principales la mala selección de sitio, el uso de material genético no mejorado y la falta de manejo, principalmente falta de raleos tardíos o de poca intensidad.

Sin embargo, en los últimos años en Costa Rica, un mayor número de plantaciones jóvenes están siendo mejor manejadas. Mediante el programa de incentivos forestales, se han reforestado en Costa Rica, hasta 1995, aproximadamente 139.200 hectáreas ; correspondiendo un 34% a *Gmelina arborea* (melina), un 14.6% a *Bombacopsis quinata* (pochote) y un 10.5% a *Tectona grandis* (teca) (MINAE, 1996), siendo estas las especies más utilizadas.

En la actualidad en América Central, en los proyectos y empresas privadas, existe una urgente necesidad de contar con información relevante sobre el crecimiento y la productividad de especies prioritarias para la reforestación como teca y pochote, especialmente a edades avanzadas, así como de la producción esperada al final del turno.

Para generar este tipo de información es necesario contar con el establecimiento y medición de parcelas permanentes para evaluar y monitorear el crecimiento y la productividad en el tiempo. Esta es la información básica necesaria para el desarrollo de modelos de crecimiento y tablas de rendimiento que permitan hacer un análisis financiero realista de los proyectos de reforestación y de los impactos y beneficios de los programas de incentivos en la región Centroamericana (Ugalde, 1998¹).

La competencia por espacio entre los árboles de una plantación es uno de los factores determinantes para su buen crecimiento, por lo que el manejo debe evaluar y monitorear el estado de desarrollo para reducir los efectos de la competencia.

Investigaciones dirigidas a entender la dinámica de las plantaciones forestales (estudio del desarrollo a través del tiempo) identifican a la composición de la biomasa de copa como un indicador

¹ Luis Ugalde Arias, Profesor de silvicultura de plantaciones del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Comunicación personal.

muy importante de la competencia dentro de un rodal y su efecto sobre otras variables de crecimiento. Sin embargo, los estudios hechos en América Central son escasos y la mayoría están basados en plantaciones jóvenes (alrededor de los 10 años), de las cuales se tiene únicamente datos de una medición; no se cuenta con información precisa sobre el crecimiento y productividad de las plantaciones durante los raleos y al turno de corta.

Considerando estos aspectos se decidió trabajar con dos de las especies que son de las más cultivadas en el país, tratando de encontrar en las relaciones de estructura de copa con el crecimiento del árbol pautas para crear escenarios preliminares de crecimiento que ayuden al silvicultor a determinar, de manera eficiente, cual debe ser la cantidad de árboles existentes en un área a través del tiempo y al turno de corta para lograr las dimensiones esperadas según las opciones del mercado.

Para tal efecto, esta investigación comprende la medición de las plantaciones con mayor edad en el país, de las cuales no ha sido reportado su crecimiento y su estado actual, así como nuevas mediciones de parcelas ya establecidas.

Se pretende mostrar un amplio panorama del comportamiento de cada especie a través de su ciclo de crecimiento, la distribución de los incrementos y el momento de su disminución, el posible turno de corta de estas especies, la productividad intermedia y final (real y potencial), así como la propuesta de manejo para varios escenarios crecimiento que muestren un posible camino para llegar a una máxima producción del sitio.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Desarrollar propuestas preliminares de manejo forestal de plantaciones de *Tectona grandis* y *Bombacopsis quinata* que aseguren los mejores rendimientos en la producción de madera para aserrío.

2.2 Objetivos específicos

- a) Desarrollar modelos matemáticos basados en las relaciones de la composición y estructura de copa con el crecimiento de los árboles a diferentes edades de plantación y calidades de sitio, con el fin de proponer diferentes escenarios de manejo intensivo.
- b) Relacionar el crecimiento y productividad de las plantaciones con los estados de competencia bajo los cuales se han desarrollado.
- c) Emplear la técnica de análisis fustal para el estudio retrospectivo del crecimiento de árboles.
- d) Comparar los costos de las diferentes actividades de un manejo intensivo que se definan como prioritarias con los costos de un programa de manejo tradicional.
- e) Fortalecer la base de datos de las plantaciones de teca y pochote de Costa Rica actualmente medidas y contenidas en el sistema MIRA² mediante la evaluación de las plantaciones de mayor edad existentes en el país, lo cual permitirá analizar el comportamiento de las especies en diferentes fases de crecimiento.

² Ugalde, L. 1998. Software MIRA (Manejo de Información sobre Recursos Arbóreos). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica.

3. Hipótesis

Existe una fuerte relación entre la composición y la estructura de copa, el crecimiento y la productividad de *Tectona grandis* y *Bombacopsis quinata* en Costa Rica.

El crecimiento y la productividad de las plantaciones forestales con fines de producción de madera para aserrío están fuertemente influenciados por los estados de competencia bajo los cuales se han desarrollado.

4. Revisión de literatura

4.1 Descripción de las especies

4.1.1 Tectona grandis

4.1.1.1 Necesidades bioclimáticas

La distribución natural de la teca abarca de los 10 a los 25° N en el Subcontinente Indio y en Asia Suroriental, especialmente en India, Birmania, Tailandia, Laos, Camboya, Vietnam y en Java. En Malasia no es nativa (Lamprecht, 1990; Karmacharya and Singh, 1992).

En Centroamérica se le ha plantado hasta los 600 m (Chaves y Fonseca, 1991; Arguedas y Torres, 1992). Esta especie se adapta a un amplio rango de temperaturas que va desde los 20°C hasta los 48°C, alcanzando su mayor desarrollo entre los 22°C y los 27°C. (Badilla *et al.*, 1992).

Las zonas de vida donde se desarrolla la teca en América Central son: bosque seco Tropical, bosque húmedo y muy húmedo Premontano y bosque húmedo Tropical (Chavarría y Quirós, 1985).

Tectona grandis es una especie forestal que alcanza sus mejores dimensiones en climas tropicales cálidos, moderadamente húmedos. Se halla dentro de un rango de precipitación de 500 a 5000 mm por año. En Costa Rica, se le encuentra creciendo de buena manera en los primeros años en

sitios con precipitaciones de 3 000 - 4000 mm y sin una estación seca bien definida, aunque faltan experiencias sobre los resultados futuros de crecimiento en estas condiciones (Ugalde, 1998³).

En cuanto a requerimientos de luz, la teca es marcadamente heliófita desde su desarrollo inicial, no tolera la falta de luz en ningún período de su vida. El libre crecimiento de las malezas puede matar por completo las plántulas en sus primeras etapas (Rojas, 1981).

4.1.1.2 Necesidades edáficas

En tanto el suelo sea suficientemente profundo, fértil, cuente con humedad y drenajes adecuados, el desarrollo de la teca será satisfactorio en suelos de aluvión o en suelos derivados de arenisca, arcilla, pizarrosa, granito, esquisto o gneis, tanto calizos como no calizos. No soporta las inundaciones ni el encharcamiento, por eso no se desarrolla bien en suelos arcillosos pesados y rígidos. Por tal razón, casi todos los bosques de teca se hallan situados en terrenos ondulados (Rojas, 1981; Arguedas y Torres, 1992; Chaves y Fonseca, 1991).

Los peores sitios para teca se ven afectados por vientos fuertes, con suelos de menos de 80 cm de profundidad y con altos contenidos de hierro y bajos contenidos de calcio en el primer horizonte (Vásquez y Ugalde, 1995).

En términos generales, los mejores sitios para teca se ubican en áreas de pendiente media o planos, al pie de monte o en fondos de valles y en áreas donde la profundidad del suelo es mayor. Los sitios con pendientes de más de 25% deben evitarse, debido a la erosión asociada con las características foliares de esta especie y en especial en plantaciones con alta densidad y poco manejo (Vásquez y Ugalde, 1995).

³ Luis Ugalde Arias, Profesor de silvicultura de plantaciones del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Comunicación personal.

4.1.1.3 Crecimiento y productividad

Basado en datos de El Salvador, en los sitios mejores la teca puede producir en promedio 9 m³/ha/año hasta los 20 años y en sitios pobres se dan aproximadamente 6 m³/ha/año en el mismo período. En Jamaica, en los sitios mejores, esta especie alcanza cerca de 7 m³/ha/año en 20 años. En el mismo período se ha logrado, en buenos sitios en Trinidad y Tobago, desarrollos de 12 m³/ha/año. En sitios regulares en el mismo país el incremento se ha reducido a 9 m³/ha/año y en sitios malos a 7 m³/ha/año. En Quepos, Costa Rica, se han producido alrededor de 8 m³/ha/año en 27 años (Rojas, 1981).

En otros estudios en Costa Rica se productividades mayores a los 18 m³/ha/año en sitios de calidad alta, 12.1 a 17.9 m³/ha/año en sitios medios y menores a 12.0 m³/ha/año en sitios malos, esto a edades cercanas a los 15 años de edad (Cuadro 1).

Cuadro 1. Clasificación de rendimiento y producción de *Tectona grandis* en Guanacaste, Costa Rica.

Rango de rendimiento	IMA dap (cm/año)	IMA altura (m/año)	G (m ² /ha)	IMA_G (m ² /ha/año)	IMA_Vol (m ³ /ha/año)
Alto	≥ 2.0	≥ 2.0	≥ 20	≥ 2.5	≥ 18
Medio	1.6-1.9	1.6-1.9	15.1-19.9	1.6-2.4	12.1-17.9
Bajo	≤ 1.5	≤ 1.5	≤ 15	≤ 1.5	≤ 12

Fuente : Vásquez y Ugalde (1995).

Vallejos (1996) describe el comportamiento de la teca en Costa Rica, complementándolo con la clasificación de Índice de Sitio (Cuadros 2 y 3).

Cuadro 2. Valores extremos e intermedios de las variables dasométricas encontradas para *Tectona grandis* en Costa Rica (plantaciones menores a 16 años).

Variable	Rango de rendimiento		
	Mínimo	Media	Máximo
Edad (años)	2	5	15
Arboles originales (ha)	779	1108	2500
Arboles actuales (ha)	300	850	2244
dap (cm)	2.73	12.87	25.93
Altura (m)	2.36	12.62	22.5
Altura Dominante (m)	4.20	14.24	25.4
Índice de Sitio (m)	6.75	19.04	34.93
Área Basal (m ² /ha)	0.53	11.46	36.11
Volumen Total (m ³ /ha)	0.58	75.04	327.20
IMA dap (cm/año)	0.80	2.81	7.65
IMA Altura (m/año)	0.64	2.82	8.41
IMA Área Basal (m ² /ha/año)	0.19	2.40	6.96
IMA Volumen Total (m ³ /ha/año)	0.20	15.02	43.98

Fuente : Vallejos (1996)

Cuadro 3. Clasificación del crecimiento y productividad de plantaciones jóvenes (hasta 10 años) de *Tectona grandis* en Costa Rica, según diferentes clases de sitio.

Variable	Marginal	Bajo	Medio	Alto	Excelente
IMA_dap (cm/año)	≤ 1.97	1.98-2.50	2.51-3.01	3.02-3.59	≥ 3.60
IMA_Altura (m/año)	≤ 1.70	1.71-2.35	2.36-3.13	3.14-3.99	≥ 4.00
IMA_Area Basal (m ² /ha/año)	≤ 1.14	1.15-2.06	2.07-2.76	2.77-3.57	≥ 3.58
IMA_Volumen Total (m ³ /ha/año)	≤ 4.13	4.14-11.95	11.96-17.80	17.81-25.50	≥ 25.51

Fuente : Vallejos (1996)

Chaves y Chinchilla (1991), realizaron ensayos de aclareo en plantaciones de teca de 4,5 años de edad, en Cóbano de Puntarenas, Costa Rica. El ensayo consistió en llevar la masa arbórea a 15, 17, 19 y 21 m²/ha. Se utilizó el área basal como criterio para decidir las intensidades de raleo por ser considerada la variable que brinda mayor información del estado de densidad de una plantación. Para el diámetro y el área basal, los incrementos mayores se determinaron en las parcelas que recibieron los tratamientos de aclareo más fuertes (15 y 17 m²/ha). Se encontró un incremento de 4.53 m²/ha y de 4.97 m²/ha al año siguiente, posterior al aclareo.

Los árboles de teca cultivados en plantaciones en suelos buenos pueden alcanzar un promedio de 60 cm de diámetro y 30 m de altura a una edad de 50 años. En comparación, el árbol en pie más

grande, encontrado en la Reserva Forestal de Baw en Myanmar en abril de 1996 media 2,4 m de diámetro y 46 metros de altura (Centeno, 1997).

Las plantaciones mejor manejadas y más productivas tienden a incluirse dentro de unos parámetros bien definidos (Figura 1).

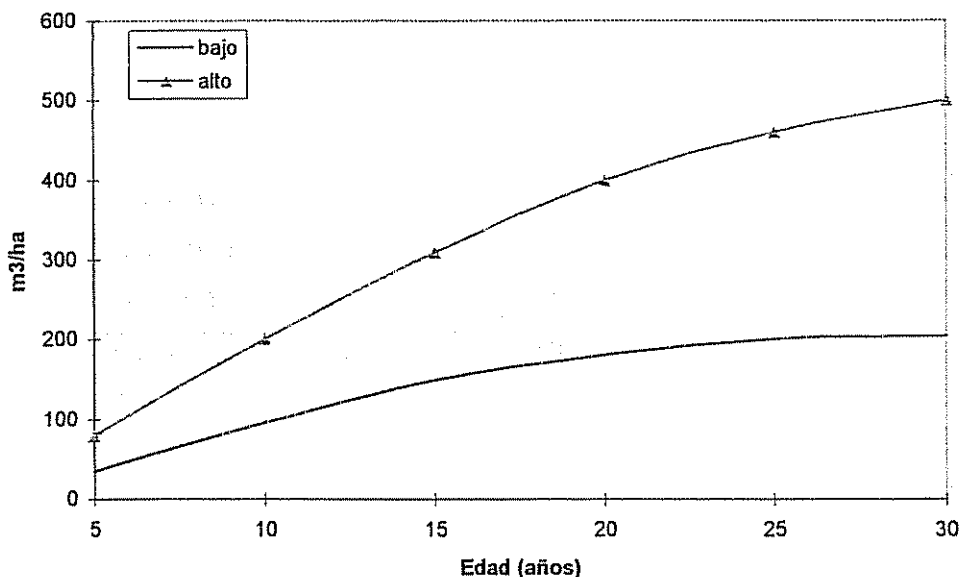


Figura 1. Potencial de rendimiento de las plantaciones de teca. Fuente: Centeno (1997)

En Cáceres Florestal S.A., una empresa privada de Mato Grosso (Brasil), haciendo uso de suelos adecuados y un manejo intensivo, lograron reducir el ciclo de cultivo de la teca a 25 años, con un incremento de $10 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{año}$. Esta madera mostró las mismas propiedades valiosas que hicieron famosa la teca del sudeste asiático (Centeno, 1997).

Según Centeno (1997), la mayoría de las plantaciones en la región tropical de América son manejadas con turnos de rotación entre 20 y 30 años, el incremento medio anual a estas edades puede oscilar entre 3 y $10 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{año}$.

Negi et al. (1990) reportan una productividad de $7.9 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{año}$, con árboles de 21.1 a 25.4 cm de diámetro y alturas de 21.0 m, para teca de 20 años en Tripura, India (TMA: 23°C).

Dupuy y Verhaegen (1993) elaboraron un régimen de aclareos para teca bajo diferentes índices de fertilidad en Bamoro, Costa de Marfil (Cuadro 4).

Cuadro 4. Régimen de aclareos para *Tectona grandis* bajo diferentes índices de fertilidad en Bamoro, Costa de Marfil.

Raleos	Parámetros dendrométricos	Clases de fertilidad				
		1	2	3	4	5
1	N (árb./ha)	1450	1450	1450	1450	1450
	Edad (años)	3	4	5	6	9
	dap (cm)	10.5	11.0	11.0	10.7	10.9
2	N (árb./ha)	750	750	750	750	750
	Edad (años)	6	8	10	13	20
	dap (cm)	16.4	16.9	16.6	16.1	18.0
3	N (árb./ha)	400	450	450	450	450
	Edad (años)	10	12	16	23	35
	dap (cm)	24.0	22.7	22.7	22.7	22.7
4	N (árb./ha)	250	300	300	300	300
	Edad (años)	15	19	24	35	55
	dap (cm)	32.4	30.6	29.7	29.5	30.0
5	N (árb./ha)	165	200	210	200	
	Edad (años)	20	26	32	47	
	dap (cm)	40.6	38.7	36.8	37.2	
6	N (árb./ha)	115	140	155		
	Edad (años)	27	35	41		
	dap (cm)	49.9	47.5	45.7		
Turno final	N (árb./ha)	85	105	120	140	225
	Edad (años)	37	44	49	62	68
	dap (cm)	59.9	55.3	50.2	45.2	35.1

Fuente: Dupuy y Verhaegen (1993)

Para Costa de Marfil se reportan productividades en teca que varían entre 5 m³/ha/año y 16 m³/ha/año. En función de la fertilidad, los diámetros explotables al turno de rotación varían entre 30 cm y 60 cm (Dupuy y Verhaegen, 1993).

4.1.2 *Bombacopsis quinata*

4.1.2.1 Necesidades bioclimáticas

El pochote se desarrolla satisfactoriamente en rangos de temperatura que van de los 23°C a los 27°C, con una precipitación media anual entre los 800 y los 2200 mm por año (Chaves y Fonseca, 1991; Chavarría y Quirós, 1985, Vásquez y Ugalde, 1994). En su área de distribución natural se presenta una estación seca bien definida (Rojas, 1981).

De acuerdo a la clasificación de Holdrige, las zonas de vida en las cuales se encuentra el pochote en Costa Rica son: bosque seco Tropical y bosque húmedo Premontano con altitudes que van desde el nivel del mar hasta los 800 metros (Chaves y Fonseca, 1991; Rojas, 1981).

En Costa Rica se ha plantado en zonas desde muy húmedas tropicales hasta la transición a bosque seco Tropical, con precipitaciones entre 2200 y 4600 mm anuales y una estación seca de hasta cuatro meses con menos de 30 mm. En Honduras y Nicaragua ha sido establecido en zonas de bosque seco Premontano; en Panamá, Colombia y Venezuela se planta en zonas de bosque seco y húmedo Tropical (Navarro y Martínez, 1989).

4.1.2.2 Necesidades edáficas

Aparece en suelos andosoles y latosoles, arcillosos, arenosos a arcillosos, generalmente un poco ácidos y con poca materia orgánica. La especie prefiere suelos bien drenados y con poca pendiente. En Costa Rica, en la mayoría de los casos, los sitios con menor crecimiento se ubican en cimas, donde la exposición al viento es más fuerte, los suelos son menos profundos y hay mayor pedregosidad (Rojas, 1981; Vásquez y Ugalde, 1994).

En Costa Rica, el crecimiento se ha visto afectado negativamente en suelos arcillosos, de alta pendiente, muy compactados o con fertilidad natural baja (Arguedas y Torres, 1992).

Contenidos de arcilla altos en el horizonte superficial determinan índices de sitio bajos, ya que el exceso de arcilla dificulta el desarrollo de las raíces y disminuye la disponibilidad de agua libre. Mayores contenidos de arena en el horizonte superficial hace que los índices de sitio sean mayores (Navarro y Martínez, 1989).

4.1.2.3 Crecimiento y productividad

Bajo condiciones de sitio medias, el crecimiento medio anual en altura puede alcanzar de 1.0 a 1.8 m y en diámetro entre 0.9 y 2.5 cm (Chaves y Fonseca, 1991; Rojas, 1981). Para Arguedas y Torres (1992), el crecimiento es alrededor de 1.0 m por año y el turno promedio es de 20 años.

Vásquez y Ugalde (1995) realizaron una clasificación de rendimiento y producción para pochote en Guanacaste, Costa Rica (Cuadro 5).

Cuadro 5. Clasificación del rendimiento y producción para *Bombacopsis quinata* en Guanacaste, Costa Rica.

Rango de rendimiento	IMA dap (cm/año)	IMA altura (m/año)	G (m ² /ha)	IMA_G (m ² /ha/año)	IMA Vol. (m ³ /ha/año)
Alto	≥ 2.0	≥ 1.5	≥ 25	≥ 2.5	≥ 15
Medio	1.6-1.9	1.1-1.6	15.1-24.9	1.6-2.4	10.1-14.9
Bajo	≤ 1.0	≤ 1.0	≤ 15	≤ 1.5	≤ 10

Fuente : Vásquez y Ugalde (1995).

Vallejos (1996) describe el comportamiento del pochote en Costa Rica, complementándolo con la clasificación de Índice de Sitio (Cuadros 6 y 7).

Cuadro 6. Valores extremos e intermedios de las variables dasométricas encontradas para *Bombacopsis quinata* en Costa Rica (plantaciones menores a 17 años).

Variable	Rango de rendimiento		
	Mínimo	Media	Máximo
Edad (años)	3	6	16
Arboles originales (ha)	400	754	2500
Arboles actuales (ha)	183	572	2068
dap (cm)	1.10	10.54	28.90
Altura (m)	1.13	6.03	19.60
Altura Dominante (m)	1.64	7.28	23.00
Indice de Sitio (m)	2.92	12.13	20.64
Area Basal (m ² /ha)	0.04	6.94	39.56
Volumen Total (m ³ /ha)	0.00	31.40	356.60
IMA dap (cm/año)	0.24	2.02	4.08
IMA Altura (m/año)	0.24	1.14	2.05
IMA Area Basal (m ² /ha/año)	0.01	1.07	5.07
IMA Volumen Total (m ³ /ha/año)	0.00	4.00	27.00

Fuente : Vallejos (1996)

Cuadro 7. Clasificación del crecimiento y productividad para *Bombacopsis quinata* en Costa Rica, según diferentes clases de sitio.

Variable	Marginal	Bajo	Medio	Alto	Excelente
IMA dap (cm/año)	≤ 1.16	1.17-1.69	1.70-2.17	2.18-3.05	≥ 3.06
IMA Altura (m/año)	≤ 0.71	0.72-1.01	1.02-1.25	1.26-1.60	≥ 1.61
IMA Area Basal (m ² /ha/año)	≤ 0.16	0.17-0.49	0.50-1.20	1.21-2.21	≥ 2.22
IMA Volumen Total (m ³ /ha/año)	≤ 0.19	0.20-0.96	0.97-3.75	3.76-9.72	≥ 9.73

Fuente : Vallejos (1996)

Chaves y Vásquez (1991) establecieron un ensayo de raleos en plantaciones de pochote de 4.5 años, en dos sitios en la Península de Nicoya, Guanacaste. Fueron los cuatro tratamientos : 14, 17, 20 m²/ha y el testigo, utilizando el área basal como parámetro de decisión. Un año después del raleo los incrementos mayores se obtuvieron en las parcelas que recibieron un raleo fuerte (14 y 17 m²/ha).

Un año después de realizado el raleo los mejores incrementos corrientes (ICA) en área basal fueron de 4,58 y 4,07 m²/ha, correspondiendo a las intensidades de raleo más fuerte aplicadas.

4.2 Relaciones de la biomasa de copa con el crecimiento y la productividad

Decidir el momento y la intensidad de un raleo basado en la dominancia de los árboles, eliminando todos los individuos suprimidos y algunos codominantes y dejando en pie los dominantes, es un raleo de tipo cualitativo y no cuantitativo. Es erróneo pensar solo en las necesidades inmediatas del rodal, ya que un raleo conlleva efectos a largo plazo. La frecuencia e intensidad de las intervenciones debe estar orientada por los incrementos en crecimiento, los cuales no son homogéneos durante el ciclo de crecimiento (normalmente van decreciendo) (Suri, 1975).

Es importante conocer cual es el óptimo espaciamiento requerido por la copa para brindar al árbol el máximo crecimiento posible. Una vez conocida esta información básica, el rodal puede ser raleado siguiendo cualquier patrón deseado y la intensidad y frecuencia de las intervenciones según los resultados (realistas) que se quieran obtener (Suri, 1975).

El tamaño y distribución de las copas en una plantación forestal marcan los límites de su productividad. Es por ello que la distribución de la biomasa de copa de los árboles tiene un alto potencial como indicador del crecimiento, ya que es la copa quien capta la luz para transformarla en materia seca, debiéndose procurar entonces un adecuado manejo de la densidad de copas para maximizar la intercepción de luz a través del turno de rotación (Beadle, 1997).

4.2.1 Area Foliar

En estudios de composición de biomasa de copa se debe prestar atención al desarrollo del área foliar (AF). El área superficial total o área foliar total por unidad de superficie viene a ser aproximadamente el doble del área proyectada por la copa, esto para especies latifoliadas, expresado también como el Índice de Area Foliar (m^2/m^2). La eficiencia en crecimiento de un árbol (E) es la cantidad de madera (g) producida por metro cuadrado de área foliar. De esta forma, árboles con individuos bajo poca competencia por luz, indicado por bajos índices de área foliar (IAF), tendrán una alta eficiencia en el crecimiento (Waring, 1983; Fownes y Harrington, 1990).

Los IAF normales (bajo los cuales se aprovecha al máximo el área foliar para captar luz) para especies forestales es muy variado. Algunas especies poseen bajos valores, como *Eucalyptus*

camandulenses ($2.3 \text{ m}^2/\text{m}^2$) y *Eucalyptus tereticornis* ($2.2 \text{ m}^2/\text{m}^2$), mientras que otras especies tienen altos valores, como *Populus hybrid* ($11.6 \text{ m}^2/\text{m}^2$) y *Picea abies* ($10.2 \text{ m}^2/\text{m}^2$). Para teca en Nigeria, Nwoboshi (1983), citado por Beadle (1997), reporta un valor de $6.7 \text{ m}^2/\text{m}^2$

Como la eficiencia en crecimiento (E) disminuye al aumentar el IAF, la fracción de follaje (copa) que capta luz directa puede ser la determinante de E, ya que la penetración de luz en las copas generalmente disminuye de manera exponencial al aumentar el IAF (Fownes y Harrington, 1990).

Fownes y Harrington (1990), trabajando en modelos de crecimiento con Índice de Área Foliar (IAF), eficiencia en crecimiento (E) y crecimiento en diámetro (D) como variables principales, obtuvieron varios modelos útiles en la planificación de las densidades de plantación y turnos de rotación según los objetivos de producción. Se trabajó con *Eucalyptus saligna* de 15 años en Hawai.

El área foliar por árbol fue estimada a partir del diámetro mediante la ecuación:

$$\ln AF = -3.936 + 2.497 \ln D, r = 0.85$$

De igual forma, la estimación de la eficiencia en crecimiento a partir del IAF fue altamente significativa:

$$\ln E = 1.278 - 0.5462 \text{ IAF}$$

Con ayuda de estas ecuaciones Fownes y Harrington (1990) evaluaron curvas de crecimiento en diámetro, el ICA y el IMA según la edad para diferentes densidades iniciales. Basados en los picos de crecimiento en IMA, simulaban la relación de la edad de rotación con el diámetro posible a esa edad según diferentes densidades de plantación (Figura 2).

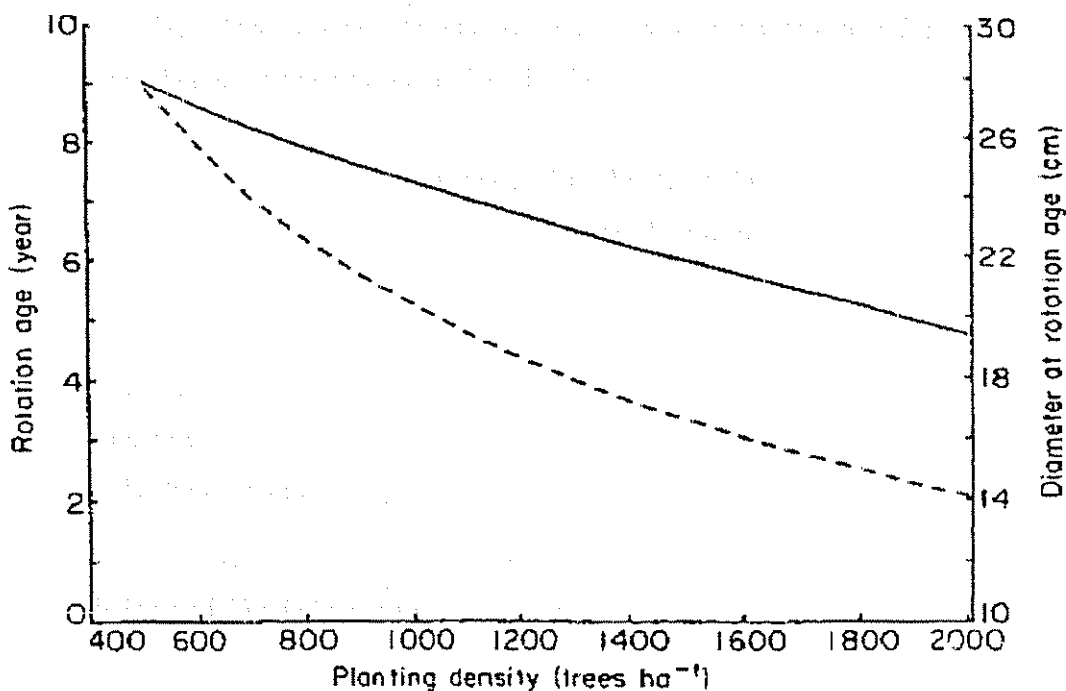


Figura 2. Simulación de la relación entre la edad (—) al turno final y el diámetro promedio de los árboles (---) según densidades de siembra iniciales en *Eucalyptus saligna* de 15 años en Hawai. Fuente: Fownes y Harrington, 1990.

Pasando de una densidad de 500 a 2000 árb./ha, la rotación se reduce de 9 a 5 años (según máximo IMA), así como el diámetro promedio al turno de corta, que pasa de 28 a 14 cm. Modelos alternativos, como por ejemplo índices de competencia basados en el diámetro de copa o volumen de copa en traslape, pueden mejorar estas predicciones (Fownes y Harrington, 1990).

Tomando el diámetro fustal como variable independiente y la proyección del área de copa (suma del área de todas las hojas de la copa) como variable dependiente, Suri (1975) encontró mediante análisis de regresión la siguiente ecuación para teca en el bosque de Nilambur, división de Kerala; no se indica la edad de la plantación:

$$\text{Log}_e Y = 1.898 + 1.347 \log_e x, \quad r = 0.83$$

donde 'y' es la proyección del área de la copa (m²) y 'x' es el dap (dm).

Mediante esta ecuación es posible estimar el número de árboles /ha cuando el total del área se encuentra cubierta por las copas. Una vez conocido la cantidad de individuos en el momento de cierre del dosel, el raleo puede ser planeado y ejecutado de acuerdo a los índices de crecimiento esperados al final del ciclo de corta o hasta la próxima intervención (Suri, 1975).

Karmacharya y Singh (1992) realizaron una investigación sobre la producción neta de biomasa viva en plantaciones de teca de 4, 14 y 30 años en una región tropical seca de la India (762 mm de precipitación media anual, 30°C de temperatura media anual). El objetivo de este estudio fue el de estandarizar un modelo no destructivo para la estimación de la biomasa de copa y determinar los cambios con la edad en la distribución y en la producción neta de componentes vivos. Entre los resultados obtenidos, es interesante el incremento en las dimensiones de los árboles con la edad, reflejados en el diámetro a la altura del pecho (dap), altura total y diámetro de copa (Cuadro 8).

Cuadro 8. Resultados de la medición de la composición de la biomasa de copa de 195 árboles de teca de diferentes edades en una región tropical seca de la India.

Mediciones	EDAD (años)		
	4 ⁽¹⁾	14 ⁽²⁾	30 ⁽³⁾
dap (cm)	4.3	9.1	10.41
Altura (m)	6.8	12.6	20
Diámetro de copa (m)	1.5	3.2	4.4
Volumen del fuste (dm ³)	4.6	32.56	161.34
Biomasa del fuste (kg.)	2.64	19.96	99.6
Biomasa de ramas (kg.)	0.93	5.02	20.4
Nº de ramas por árbol	14	24.5	30.7

Fuente: Karmacharya y Singh (1992)

⁽¹⁾ Alrededor de 730 árboles/ha

⁽²⁾ Entre 150 y 630 árboles/ha

⁽³⁾ Entre 60 y 163 árboles/ha

Del Cuadro 8 se puede destacar que efectivamente la composición de copa y el grosor del árbol tienen una relación. El diámetro de copa, la biomasa de ramas y el número de ramas por árbol aumentan con la edad; de la misma manera lo hace la circunferencia. Se presenta una alta correlación entre el peso de ramas y diámetro a la altura del pecho ($r = 0.94$).

La ecuación resultante es:

$$\log_{10} Y = -2.58 + 2.26 (\log_{10} X),$$

donde: "x" es circunferencia a la altura del pecho (cm) y "y" es biomasa de ramas (Kg.).

4.2.2 Distribución de la biomasa de copa de los árboles y los cambios en el tiempo

Otro estudio de crecimiento y producción de biomasa fue realizado por Chelunor (1983) en cuarenta árboles (diamétricamente distribuidos) de un rodal en el sur de Nigeria (PMA: 1600 mm; TMA: 21-25°C), para representar el crecimiento hasta los 15 años, con el fin de medir los incrementos en altura, diámetro, área basal y volumen.

Ocho plantaciones de edades entre 1 y 15 años fueron seleccionadas para establecer una parcela temporal de 0.05 ha. Todos los árboles de cada parcela fueron colocados en cinco clases diamétricas y dentro de cada clase se seleccionó un individuo de diámetro promedio. En total se seleccionaron 40 árboles (5 por parcela, uno de cada clase diamétrica).

Parte de los resultados de este estudio es la formulación de ecuaciones que relacionan la biomasa del árbol (fuste, ramas y hojas) con la edad:

$$\text{Fuste: } \ln Y = 0.33 + 2.15 \ln x, R^2 = 98\%$$

$$\text{Ramas: } \ln y = 2.38 \ln x - 1.61, R^2 = 99\%$$

$$\text{Hojas: } \ln Y = 0.23 + 0.93 \ln x, R^2 = 99\%$$

donde Y: biomasa (kg, peso seco)

x: edad (años)

De estas ecuaciones se obtienen las siguientes curvas que ilustran la distribución e incremento de la biomasa seca de un árbol de teca:

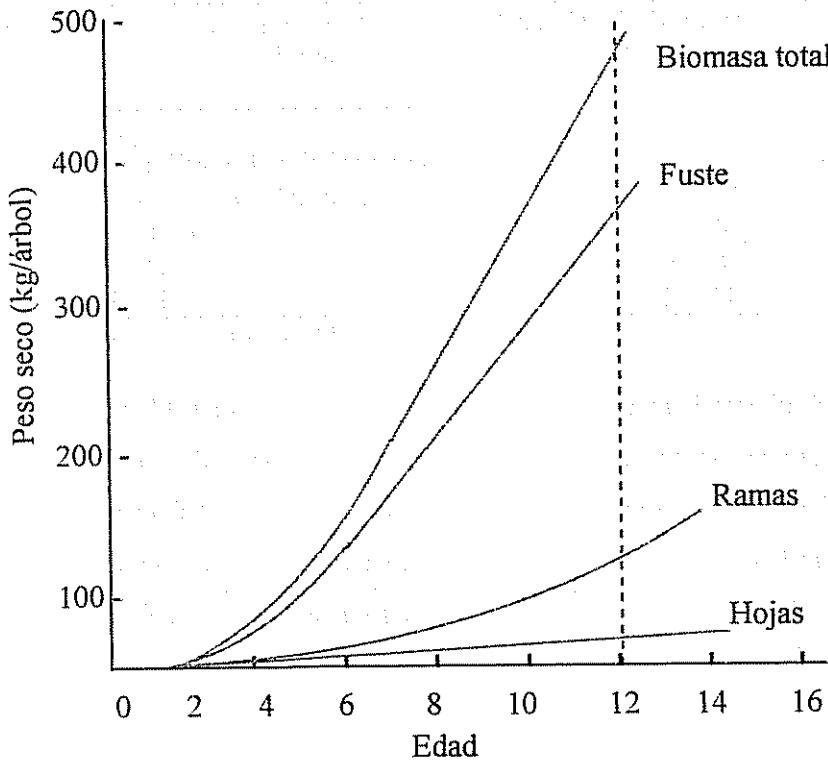


Figura 3. Distribución y acumulación de la biomasa de árboles de teca "promedios" en Nigeria. Fuente: Chelunor (1983).

La Figura 3 muestra como el árbol entero y sus componentes producen y acumulan materia seca con la edad. Durante el período de estudio de 15 años el promedio del peso de un árbol aumentó de 2.7 kg. en el primer año a 514 kg. a los 13 años. La distribución del total de biomasa seca cambió con la edad; la biomasa del fuste representó la mayor cantidad, aumentando, de un 49% del total de biomasa del árbol a un año de edad, a 70-80% a partir del tercer año. La biomasa de hojas, que fue al primer año un 46% del total, llegó a representar solo un 2.5% a los 15 años; contrariamente, la biomasa de ramas aumentó de un 7% a un 28% durante el mismo período (Chelunor, 1983).

El estudio de producción de biomasa y distribución de nutrientes en plantaciones de teca y melina de 20 años en Tripura, India (TMA: 23 °C), realizado por Negi et al. (1990), presenta resultados similares a los de Chelunor (1983). El Cuadro 9 contiene los resultados más importantes.

Cuadro 9. Distribución de la biomasa de árboles de *Tectona grandis* y *Gmelina arborea* de 20 años de edad en Tripura, India.

Componentes arbóreos	Cantidad de biomasa (kg/ha)		Distribución (%)	
	Teca	Melina	Teca	Melina
Hojas	6184	3193	5.4	2.4
Ramillas (salen de las ramas)	3895	6746	3.4	5.0
Ramas (salen del fuste)	19108	12845	16.8	9.5
Corteza	10359	12813	9.1	9.4
Fuste	74430	99814	65.3	73.7
Total	113976	135411	100	100

Fuente: Negi et al. (1990).

En el Cuadro 9 se observa como, al igual que en el estudio de Chelunor (1983), la biomasa de fuste representa la mayor proporción, seguida por la biomasa de ramas. Nótese que la biomasa de hojas es mínima a edades avanzadas, en este caso a los 20 años. Quizás sea importante definir el momento en que los árboles poseen los mayores incrementos de biomasa en el fuste y compararlo con el patrón de desarrollo alcanzado por el árbol en ese momento.

4.2.3 Composición de la biomasa de copa y su relación con el crecimiento del árbol

A cualquier punto en la etapa de crecimiento de un rodal, la composición de copa requerida individualmente para el máximo crecimiento de un árbol no es la óptima a nivel de la plantación para lograr el máximo rendimiento de esta. Esto significa que no se puede esperar que un árbol en un rodal tenga las mismas condiciones (oportunidades) que tendría estando aislado, esto sin ocasionar un detrimento en el rendimiento final de la plantación.

Attiwill (1962) y Loonis (1966), citados por Curtin (1970), demostraron que el peso del follaje estaba relacionado con el tamaño de la rama, independientemente de la densidad de siembra. En un estudio sobre la biomasa de copa de *Eucalyptus oblicua* en Melbourne, Australia, Curtin (1970) seleccionó árboles de diferentes plantaciones a los cuales midió la altura del fuste hasta el inicio de copa "Bo", el dap "DBH", la altura de copa "B", el diámetro del fuste a la altura de cada rama seleccionada "Du" (dividió la copa en 6 sectores, como un pastel, y para cada sector tomó en consideración la rama más baja pero en buen estado), proyección de la rama "P" (distancia horizontal) y radio de copa en cada sector "R" (Figura 4). Se diferenció entre proyección de rama y radio de copa,

ya que generalmente las copas son irregulares y la rama seleccionada no siempre iba a dar una idea clara del área de copa real

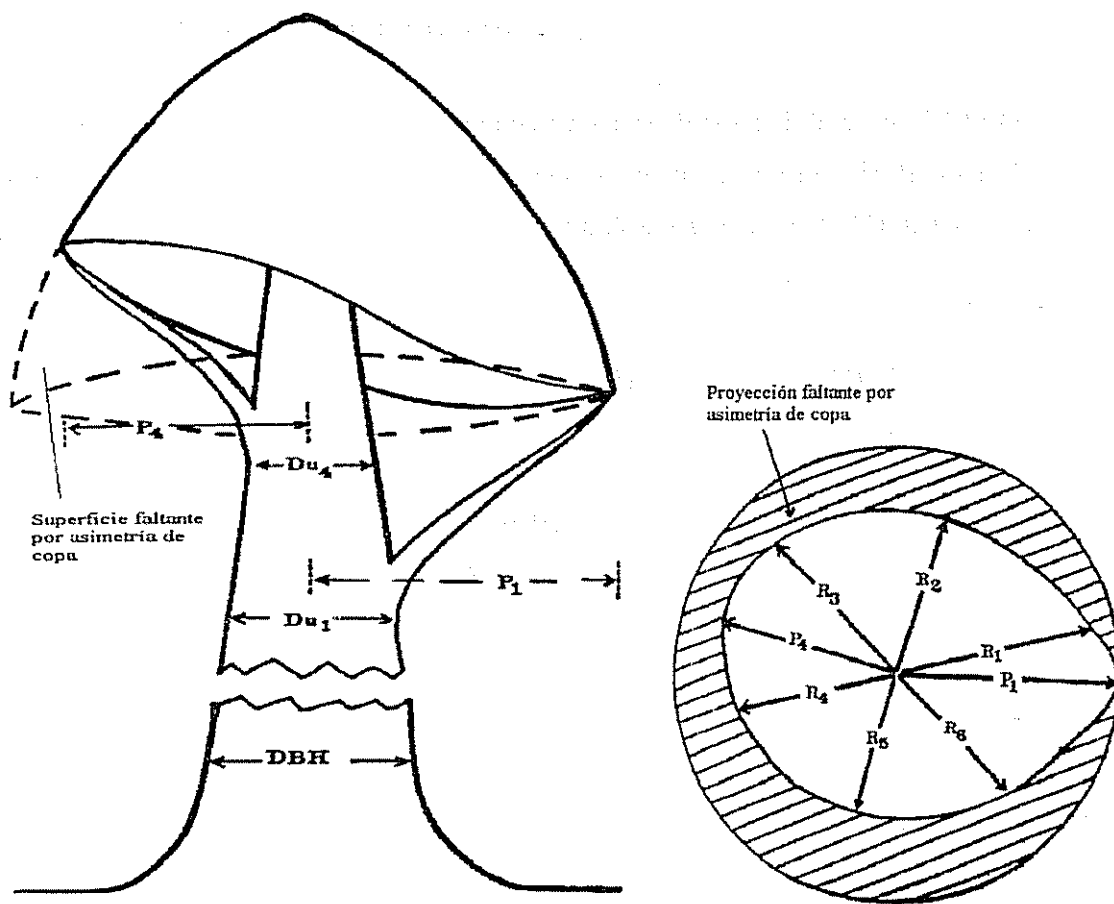


Figura 4. Ilustración de los componentes del árbol y de la composición de copa, así como el concepto de asimetría de copa. Fuente: Curtin (1970).

Se definen algunos modelos generales para describir la composición de copa, que relacionan el diámetro del fuste a diferentes alturas, el dap, la altura de copa y la altura total; otro modelo relaciona la altura o largo de copa con la distancia entre el dap y el diámetro del fuste en la base de la copa. De estos modelos se deriva una relación entre el diámetro del fuste a la base de la copa, el ancho de la copa y la asimetría de copa (calculada como la razón entre el radio de la rama más baja (seleccionada por sector) y el promedio de los radios de copa medidos por sector. Si la copa es simétrica, el coeficiente será = 1).

$$Du = -0.96 + 0.25 CW + 0.14 CW * A \quad , R^2 = 94\% \quad (1)$$

donde: Du : diámetro del fuste en la base de la copa (pulgadas)

CW: diámetro de copa (pies)

A : coeficiente de asimetría de copa

Este modelo puede ser usado para ilustrar los cambios en el diámetro del fuste a la base de la copa "Du" (diámetro a la base de la copa) cuando se modifica la asimetría de copa. Reconociendo la relación entre las variables "Du" y "CW" (diámetro de copa), Curtin (1970) derivó un modelo general para el diámetro de copa:

$$CW = 1.78 + 0.67 D + 1.28 B/H' \quad , R^2 = 92\% \quad (2)$$

donde: CW: diámetro de copa (pies)

D : dap ó diámetro medido a 1.3 m de altura (pulgadas)

B : altura o largo de copa (pies)

H' : distancia entre el punto de medición del dap y la base de la copa (pies)

Estos modelos permiten entender la dinámica de la composición de copa. Por ejemplo, en la ecuación 2, si se mantiene el dap constante, el ancho de copa variará según varía la relación B/H'. De la misma forma, si el diámetro a la base de la copa o el diámetro de copa se mantienen constantes, la altura o largo de copa se convierte en una función de la relación H'/D.

Vincent (1964) , reporta una relación lineal creciente entre el diámetro de copa y el diámetro del fuste para *Tectona grandis* de 10 años en Malasia. Indica además que, como era de esperarse, no hubo diferencias significativas entre el crecimiento en diámetro de copa y el aumento en altura total.

Las investigaciones de Ramnarine (1994) en crecimiento y productividad de plantaciones de teca en Trinidad y Tobago (PMA: 1600-2650 mm, TMA: 26 °C, suelos calcáreos) indican también fuertes relaciones entre variables de estructura de copa y el crecimiento de los árboles. Partiendo de relaciones entre el diámetro de copa y la altura total, el largo de copa y la altura total, el diámetro de copa y el largo de copa, se desarrolló un modelo de predicción de incrementos en área basal a partir del volumen de copa, la altura a la base de la copa y el índice de sitio:

$$IAB = 0.0002 * (VC^{(0.92-0.3*hbc)}) * (0.05 * IS)^2$$

donde:

LAB = Incremento anual en área basal (cm^2),

VC = volumen de copa (m^3),

hbc = altura del árbol a la base de la copa (m),

IS = Índice de Sitio (m)

Otro estudio que toma en cuenta la competencia de copas y el crecimiento de los árboles es el de Krajicek et al. (1961). El estudio se realizó en el este de Iowa, EEUU, con árboles de los géneros *Quercus*, *Carya* y *Picea* (oaks, hickories y Norway Spruce) que estuvieran en libre competencia. Se partió de la relación entre el diámetro de copa y el diámetro del fuste, generando un modelo de predicción de una variable llamada “máxima área de copa”, que viene a expresar el área máxima (como porcentaje de una hectárea) alcanzable por la copa de un árbol de un diámetro determinado. El “factor de competición de copas” (CCF), que viene a ser la suma de las área máximas de copa de los árboles de un rodal entre su área, fue el criterio utilizado para expresar la densidad de la plantación. El CCF, en lugar de estimar el momento del cierre de copas, estima el área disponible para el árbol promedio de una plantación en relación al área máxima que podría utilizar, si estuviera en libre crecimiento, en otras palabras, dice cuantos individuos se pueden tener como máximo en un área determinada para que puedan crecer sin niveles de competencia de importancia.

El largo de la copa también influye sobre la productividad de plantaciones forestales, ya que se da un mejor aprovechamiento de la luz difusa que en rodales con copas más compactas (Ford, citado por Waring, 1983).

4.2.4 Teoría del Modelo Vascular (Pipe Model)

Otra forma de estudiar la relación entre la arquitectura de la copa y el desarrollo del árbol es comparando la producción de follaje con el porcentaje de albura en el fuste. Morataya (1996) desarrolló varios modelos de este tipo aplicando la Teoría del Modelo Vascular para las especies *Tectona grandis* y *Gmelina arborea* en Guanacaste, Costa Rica. Fueron evaluadas plantaciones jóvenes de hasta 12 años de edad, sin manejo, con poco manejo, con buen manejo y árboles en libre crecimiento.

La teoría del modelo vascular (relación entre el área de albura y biomasa del follaje por medio de una proporción constante) aplicó en las relaciones entre el área de albura al dap (cm^2), el área de

albura a la base de la copa viva (cm²) y el volumen total de albura (m³), con el peso del follaje (kg), las cuales fueron fuertes y altamente significativas.

Las ecuaciones desarrolladas para predecir el peso del follaje y el volumen de albura son lineales (Cuadro 10).

Cuadro 10. Modelos de predicción desarrollados para el peso del follaje y volumen de albura para plantaciones de *Tectona grandis* y *Bombacopsis quinata* en Guanacaste, Costa Rica.

Especie	Ecuación	R ² (%)
<i>Tectona grandis</i>	Ln Pfolaje = -2.375 + 1.211 (Ln Aadap)	80
	Pfolaje = -16.693 + 4.993 (Aabcv) ^{1/2}	72
	Ln Pfolaje = 0.888 + 0.6888 (Ln Apnt)	69
	Ln Pfolaje = 5.893 + 0.716 (Ln Vpnt)	79
	Ln Valbura = -6.380 + 0.863 (Ln Aadap)	72
<i>Gmelina arborea</i>	Pfolaje = -3.95 + 0.012 Aadap	92
	Ln Pfolaje = -1.668 + 1.042 (Ln Aabcv)	79
	Valbura = -0.104 + 0.109 (Ln Pfolaje)	73
	Valbura = -0.172 + 0.027 (Aadap) ^{1/2}	89

donde

Pfolaje = Peso del follaje (kg),
 Valbura = Volumen de albura (m³),
 Aadap = Área de albura al dap (cm²),
 Aabcv = Área de albura a la base de la copa viva (cm²),
 Apnt = Área del penúltimo anillo al dap (cm²)

Fuente : Morataya (1996)

Los resultados obtenidos evidencian la importancia de favorecer el desarrollo y permanencia de la biomasa foliar para mejorar el incremento en diámetro de los árboles (Morataya, 1996).

Kendall y Brown (1978) encontraron diferencias significativas en la predicción de la biomasa de copa a partir del área de albura y del dap para unas especies coníferas, mientras que para otras no. El estudio comprendió la cuantificación de ramas y hojas y la medición del dap y del área de albura a la altura de 1 cm del suelo, debido a que la muestra de 108 árboles con diámetros de 0.5 a 19.3 cm contenía individuos con copas que iniciaban desde el suelo.

Los modelos probados fueron de la forma $\text{Ln } y = a + b \text{ ln } x$, tanto para hojas como para ramas. Por ejemplo, para la especie *Pinus ponderosa* (Ponderosa pine), los modelos predichos fueron:

$$\text{Ln (biomasa foliar en g)} = 3.088 + 1.075 \ln (\text{área de albura en cm}^2) \quad ,r = 95\%$$

$$\text{Ln (biomasa foliar en g)} = 4.788 + 1.213 \ln (\text{dap en cm}) \quad ,r = 80\%$$

$$\text{Ln (biomasa ramas en g)} = 2.535 + 1.125 \ln (\text{área de albura en cm}^2) \quad ,r = 95\%$$

$$\text{Ln (biomasa ramas en g)} = 4.437 + 1.383 \ln (\text{dap en cm}) \quad ,r = 81\%$$

Para esta especie sí hubo diferencias significativas entre la estimación de biomasa foliar a partir del área de albura y del dap.

Shidei y Tadaki (1960), citados por Kendall y Brown (1978) mostraron que, en 7 especies de coníferas en el oeste de Montana y norte de Idaho (EEUU), la biomasa arriba de ciertos puntos en el árbol tiene una relación con los últimos 5 años de crecimiento medidos a esa determinada altura.

En *Quercus alba*, el actual anillo de albura, definido como el actual crecimiento hasta la primavera más el crecimiento del año anterior, fue el que mejor predijo la biomasa foliar (Rogers y Hinckley, 1979, citado por Beadle, 1997).

En árboles maduros, el área de albura a la base de la copa y al dap puede diferir hasta en un 50%. Es posible, entonces, que la conductividad de agua y nutrientes de la madera en el fuste disminuya de la base de la copa hacia la base del árbol conforme el área de conducción aumenta (Waring, 1983).

Kaufmann y Troendle (1981) reportan altos coeficientes de correlación (>0.95) para modelos de predicción de peso seco de hojas a partir del área de albura a la altura de 1,37 m para 4 especies coníferas en el suroeste de Fraser, Colorado (EEUU).

4.3 Influencia de la densidad de árboles sobre la biomasa de copa

Es bien conocido que árboles liberados en un raleo tienden a crecer más rápido y que la producción total de madera a menudo iguala o supera la observada en rodales sin ralear. Árboles con suficiente espacio para crecer interceptan más luz, producen más carbohidratos y fijan proporcionalmente una mayor cantidad de nutrientes en el fuste que árboles con copas parcialmente sombreadas (Waring et al., 1981).

Cambios en la producción de follaje y su relación con el crecimiento de los árboles fueron encontrados por Waring et al. (1981) en un ensayo de raleos de *Pseudotsuga menziesii* (Douglas-fir) de 36 años de edad en Hoskins, Oregon (EEUU). Las densidades de plantación variaban entre 173 y 1977 árb./ha.

Como resultados principales se obtuvo que el crecimiento en área basal de los árboles en el tratamiento de mayor intensidad de raleo fue ocho veces mayor que el logrado en el testigo (máxima densidad) mientras que el crecimiento en volumen fue doce veces mayor y la tasa de asimilación neta de carbohidratos cuatro veces mayor.

Las relaciones lineales entre el área foliar del rodal y las características de crecimiento de los árboles demostraron que el crecimiento en área basal, volumen y la tasa de asimilación neta decrecían considerablemente cuando la densidad de copas aumentaba de 3.6 a 12.0 m²/m² (suma de las áreas foliares de todas las hojas y dividido entre el área que ocupa la copa). El crecimiento del rodal, en contraste al incremento de árboles individuales, culmina cuando el área foliar proyectada alcanza los 6 m²/m² y disminuye a altas densidades de copa por mortalidad (Waring et al., 1981).

Curtin (1970) encontró que las relaciones como largo de copa/altura a la base de la copa, altura a la base de la copa/dap y diámetro a la base de la copa/dap están fuertemente relacionadas con la densidad, la edad y la calidad del sitio. Este autor formuló un modelo para predecir el diámetro de copa promedio, en donde incluye como variable la relación entre la densidad actual de la plantación y la máxima ocupación de sitio posible. La ecuación que mejor explicó estas relaciones fue la siguiente:

$$CW = 1.26 + 1.50 D_{prom} - 0.0000071 H_{prom}^2 * MDI, R^2=98\% \quad (3)$$

donde: CW = diámetro de copa (pies)

D_{prom} = dap promedio de la plantación (pulgadas)

H_{prom} = altura total promedio de la plantación (pies)

MDI = (densidad actual/densidad máxima posible) * 100

El autor sugiere que se debe agregar una variable que cuantifique los cambios que se han dado en el rodal (historial), para ponderar las variaciones en la composición con el tiempo transcurrido desde que se dio esa variación hasta la actualidad.

Marks et al. (1986) encontraron, estudiando el efecto del desarrollo de la copa en *Eucalyptus regnans* y *E. sieberi* sobre los defectos de la madera, que la competencia por espacio y la edad de los

árboles tienen una influencia directa sobre el diámetro de copa y, por tal motivo, indirectamente sobre el largo de copa. A los 20 años de edad, el largo de copa en la más baja densidad (420 árb./ha) fue prácticamente el doble del largo en la densidad más alta (6720 árb./ha). Estos valores se reflejaron en los resultados de la relación altura total/ altura (largo) de copa, en donde los coeficientes fueron de 1.4 y 2.5, respectivamente. La densidad de plantación no tuvo efectos significativos sobre la altura dominante de la plantación.

4.3.1 Máxima ocupación de sitio

Conocer que ocurre en un rodal cuyos árboles han ocupado por completo el área disponible para crecer puede ser de gran utilidad, debido a que permite observar las relaciones entre individuos, producto de la densidad e independientemente de la edad y, de esta forma, estimar cuando la plantación ocupa totalmente el sitio, siendo necesario intervenir con un raleo para poder continuar con su crecimiento y evitar altos grados de competencia.

Harms et al (1993) estudiaron la arquitectura de copa y la composición del rodal en un ensayo de espaciamientos de *Pinus taeda* realizado en Hawai y Carolina del Sur. Encontraron diferencias entre ambos sitios en cuanto a la máxima capacidad productiva del rodal. Expresada como el número de árboles /ha capaces de alcanzar un diámetro cuadrático de 25 cm a los 25 años de edad, la capacidad del sitio "Hawai" fue de 1740 y del sitio "Carolina del Sur" de apenas 850 árboles/ha. El efecto (de esta diferencia) en la productividad fue de aproximadamente el doble de volumen producido /ha para todos los espaciamientos (1.8 x 1.8 m, 2.4 x 2.4 m, 3.0 x 3.0 m y 3.7 x 3.7 m) en Hawai, a la edad de 25 años (Harms et al., 1993).

Los espaciamientos afectan significativamente el dap y el largo de copa viva, pero no así la altura total o la altura a la base de la copa (Harms et al., 1993). En el Cuadro 11 se observa como en *Pinus taeda* existe también una relación entre el dap y en este caso el largo de copa, que bien puede traducirse en mayor cantidad de follaje. El crecimiento en diámetro ha sido de un 30% más para el sitio "Hawai", en donde el largo de copa viva fue 50% más que en el sitio "Carolina del Sur". De igual forma ocurre con el volumen por árbol, con 50% más para el sitio "Hawai". Ambos resultados son a distanciamientos de siembra de 2.4 x 2.4 m.

Cuadro 11. Características de las plantaciones de *Pinus taeda* de 25 años en Hawai y Carolina del Sur.

Característica (Promedio)	Hawai	Carolina del Sur
Altura total (m)	21.9	21.3
Altura a la base de copa (m)	13.1	15.4
Largo de copa viva (m)	8.8	5.9
Relación largo copa/altura total	0.41	0.28
Diámetro del fuste "dap" (cm)	28.6	22.0
Volumen del fuste sin corteza (m ³)	0.69	0.34

Fuente: (Harms et al., 1993).

El aumento en el porcentaje de supervivencia con el aumento en el espaciamiento y el aumento en área basal y volumen del rodal con la disminución del espaciamiento reflejan la influencia del espacio para crecer en los patrones de crecimiento (Harms et al., 1993).

4.3.2 El concepto de competencia dentro de la dinámica de rodales

La dinámica de rodales se refiere al estudio de los procesos y cambios que suceden en un rodal durante su desarrollo (Galloway, 1997).

La interacción principal entre árboles es de competencia, de ahí la importancia de buscar los diferentes estados de crecimiento de un rodal en los cuales se inicia esta interacción, ya que una vez alcanzado este punto el efecto sobre el rendimiento de la plantación será negativo. No se logra éxito con una plantación si la productividad del sitio no se aprovecha a causa de actividades silviculturales no apropiadas (Galloway, 1997).

El crecimiento en diámetro no es una prioridad en la distribución de energía dentro de un árbol, por lo que la reducción de su tasa de crecimiento es una de las primeras manifestaciones de competencia en una plantación. Mientras más severa y larga sea la competencia, mayor será la reducción en volumen por árbol al final del turno (Galloway, 1997 ; Ortiz, 1994).

El espacio para crecer dentro de una plantación afecta, entre otras cosas, a la arquitectura de la copa. Árboles muy juntos tenderán a traslapar sus copas, causando un sombreado mutuo y ocasionando recesión de copas. Si se elimina área foliar fotosintéticamente activa, la energía captada por el árbol no será suficiente para invertir en crecimiento diametral, ya que primero será consumida por la respiración, la producción de raicillas, follaje, flores, semillas y para el crecimiento de ramas (Galloway, 1997, Ortiz, 1994).

Al practicar un raleo en una plantación, los espacios que se abren serán ocupados por las copas de los árboles remanentes, notándose la necesidad de la intervención. Los árboles liberados de competencia aumentarán su crecimiento en diámetro y mantendrán su crecimiento en altura por más tiempo que árboles bajo competencia (Chadwick y Larson, 1990).

El concepto de competencia es muy útil si se combina con criterios prácticos como la cantidad de árboles que deben crecer en una plantación. El área de ocupación de copas puede ser un buen indicador para determinar cuando un rodal ha entrado en competencia. Mediante las relaciones composición de copa-crecimiento del árbol, se pueden definir las dimensiones que deben tener las copas de los árboles como mínimo para alcanzar el máximo crecimiento del árbol individual. Para maximizar el crecimiento del rodal se debe conocer, primero, cual es el potencial productivo del sitio y, segundo, las dimensiones esperadas de los árboles.

Existiendo una relación entre la forma y diámetro de la copa y el crecimiento en diámetro del árbol, se puede establecer cuales deben ser las densidades del rodal conforme avanza su crecimiento para que los individuos puedan desarrollarse según el patrón óptimo definido. Ahora bien, puede ocurrir que las densidades necesarias no sean las mismas que se requieren para obtener la máxima producción del sitio, lo que significa que casi siempre la máxima producción de árboles individuales no equivale a la máxima producción dentro de una plantación. La solución es manejar la producción individual respetando siempre la producción en masa, es decir, llegará el momento en que se tenga que sacrificar un porcentaje del crecimiento individual para poder aumentar la productividad general del sitio.

Si se desea un tamaño de árbol para el turno final (sin importar o no el que esté o no alcanzando la máxima producción en volumen del sitio), el conseguirlo va a depender del potencial productivo del sitio y del número de árboles que se dejen. Aquí sí se puede utilizar de lleno la relación copa-fuste y definir cuantos árboles deben haber en el rodal con la composición de copa necesaria para un crecimiento determinado.

Vásquez y Ugalde (1994) definen rangos representativos de valores de área basal máxima para *Gmelina arborea* en Guanacaste, Costa Rica. Teniendo estos potenciales, el diámetro final deseado y la relación composición de copa-crecimiento diametral, se manejan las densidades del rodal para controlar su crecimiento en el tiempo.

4.4 Análisis fustal

El camino más directo y preciso para estudiar el desarrollo de un árbol, determinar su crecimiento e investigar diferentes relaciones que lo controlan es realizar un análisis fustal (método destructivo). Este consiste en la medición por secciones de las dimensiones del árbol a diferentes edades. Los datos requeridos para esto se obtienen por conteo y medición de los anillos sobre rodajas obtenidas a diferentes alturas del árbol (Prodan et al., 1997).

Arboles de especies como ciprés (*Cupressus lusitanica*), teca (*Tectona grandis*), jaúl (*Alnus acuminata*), pino (*Pinus caribaea*), laurel (*Cordia alliodora*), etc., que crecen en regiones en donde existe una estación seca marcada, normalmente desarrollan anillos de crecimiento anual, que una vez analizados y descodificados permiten conocer cual ha sido el crecimiento del árbol en el pasado. En el caso del laurel (*Cordia alliodora*), especie que crece en sitios húmedos y cálidos en donde no existe una estación seca definida, la experiencia ha demostrado que la especie es la excepción, ya que sí desarrolla anillos de crecimiento anual (Tschinkel, 1966, citado por Ortiz, 1993).

El proceso de descodificación de la información registrada en los anillos de crecimiento se conoce como análisis fustal. Esta técnica permite descubrir y registrar el crecimiento pasado del árbol analizado. Específicamente, permite desarrollar patrones de:

- crecimiento en diámetro a 1.3 m (dap) o a otras alturas,
- crecimiento en la altura total,
- cálculo del área basal a diferentes alturas por clases de edad del árbol,
- cálculo del crecimiento en área basal,
- crecimiento en volumen total o comercial del árbol con corteza o sin corteza, o hasta un diámetro mínimo utilizable, así como el factor de forma comercial y el real o natural,
- cálculo del crecimiento corriente y medio anual del área basal y el volumen,
- cambio en la forma del fuste del árbol en el tiempo (Ortiz, 1993; Prodan et al., 1997).

La técnica de análisis fustal solo podrá emplearse si se pueden identificar claramente los anillos de crecimiento y si los mismos pueden asociarse a períodos constantes (anuales o bianuales, por ejemplo) (Ortiz, 1993).

La metodología consiste básicamente en contar y medir distancias de los anillos de crecimiento presentes en secciones transversales de un árbol que fueron tomadas a diferentes alturas en el fuste. La primera rodaja se obtiene a la altura del tocón (0.3 m), la segunda a 1.3 m y las restantes según los requerimientos, a 1, 2 o más metros de distancia (Prodan, 1997).

Además de mostrar los cambios en las dimensiones básicas del árbol en el tiempo, la información que se obtiene sirve para desarrollar ecuaciones de estimación de volumen, para estudios de forma del fuste en momento de corta o para estudios de clasificación de sitios (curvas de Índice de Sitio) (Ortiz, 1993).

Los valores diamétricos de cada rodaja se presentan de igual forma en un diagrama. Uniendo los valores diamétricos de las correspondientes clases de edad de las distintas rodajas (alturas fustales) se produce el perfil longitudinal (perfil fustal) del árbol a diferentes edades. Las escalas para los largos y los diámetros se eligen en distintos tamaños para la representación gráfica. Para la altura se eligen escalas 1:100 ó 1:50 y para el diámetro 1:5 ó 1:2,5. La escala del diámetro es habitualmente 20 veces mayor a la escala de la altura (Prodan et al., 1997).

Un aspecto muy importante y muy tratado en la literatura es la estimación del cono del árbol a diferentes edades, es decir, después de la altura a la que se tomó una galleta (cuyo número de anillos es mayor al de la siguiente galleta), ya que la altura total real del árbol será un poco mayor, debiéndosele agregar cierta altura no cuantificada conocida como “cono escondido” o “hidden tip” Rayner (1991), Newberry (1991), Dyer y Bailey (1987), entre otros, proponen y comparan diversos modelos para la estimación de este faltante, el cual viene a ser aproximadamente la diferencia en altura entre la sección en estudio y la siguiente, dividido entre la diferencia en la cantidad de anillos entre ambas secciones. Si la diferencia en el número de anillos es de uno, el largo aproximado del cono escondido será la mitad de la distancia entre las secciones (Mora, F.⁴, comunicación personal).

Aguilar (1994) elaboró tablas de volumen para *Pinus pseudostrabus* a partir de análisis fustales. Mediante esta técnica se determinaron las edades a las cuales se alcanzaban diferentes clases diamétricas y se procedió a obtener el volumen correspondiente para cada clase. Estos volúmenes

⁴ Fernando Mora Ing Forestal especialista en análisis fustales. INICEFOR. Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional Heredia, Costa Rica.

fueron obtenidos de la relación edad-volumen, utilizando el modelo de Schumacher. El conteo y medición de anillos se hizo a diferentes alturas y en períodos de 5 años.

Mora (1997) estudió los cambios en el factor de forma de árboles de teca en plantaciones de la Vertiente Pacífica de Costa Rica para condiciones normales de densidad. Para ello, trabajó con análisis fustales de 28 árboles dominantes y codominantes, de edades entre 5 y 40 años, con diámetros de hasta 60 cm. Con ayuda del análisis fustal se pudo obtener que el factor de forma para teca en la Vertiente Pacífica de Costa Rica es bastante alto (0.6-0.8) en los primeros 3 años, desciende rápidamente hasta estabilizarse (0.36-0.4) alrededor de los 15 años para mantenerse constante inclusive a edades de 40 años.

En los análisis fustales también el historial de desarrollo de las ramas puede ser reconstruido. Si no es posible realizar el estudio diamétrico en rodajas de ramas, entonces es posible derivar el crecimiento de las ramas desde los datos de la rodaja fustal más cercana (Prodan et al., 1997).

Otros usos más complejos del análisis fustal permiten estudiar eventos climáticos presentes y pasados. Fritts (1990) construyó un modelo de simulación basado en información obtenida de análisis fustales en *Pinus ponderosa*. Se seleccionaron los árboles más viejos y que estuvieran creciendo bajo alta competencia, ya que esos árboles proveen más información y con una mayor relación a los cambios climáticos suscitados a través de su desarrollo, siendo de gran utilidad en la elaboración de modelos de predicción de impactos en la producción forestal ante posibles cambios climáticos.

4.5 Valoración financiera

Se pueden señalar cuatro factores que influyen sobre la rentabilidad de la inversión en plantaciones forestales :

- a) Rendimiento de la especie seleccionada y ciclos de producción,
- b) Costos de establecimiento, manejo y aprovechamiento,
- c) Costos del proceso de comercialización (transporte, almacenamiento, elaboración y venta)
- d) Precios de los productos finales.

El análisis financiero permite obtener una estimación de la rentabilidad comercial de un proyecto. El análisis económico da a conocer la rentabilidad del proyecto pero desde el punto de vista de la sociedad (Gittinger, 1972 ; Gregersen y Contreras, 1978 ; citados por Alfaro, 1990).

Alfaro (1991) evaluó financieramente plantaciones forestales de teca, melina, pochote, laurel y eucalipto en las zonas de Guanacaste, Sarapiquí y los Chiles. Para cada una de las especies, de acuerdo a la calidad de sitio, se realizó un análisis financiero y, para la comparación entre especies, fueron seleccionados el VAN (Valor Actual Neto) y la TIR (Tasa Interna de Retorno) como indicadores. La tasa de actualización usada para el cálculo de estos indicadores fue del 8%. Solo se consideraron los costos directos de la inversión en reforestación. No se incluyeron los costos de administración ni el costo de la tierra. Los proyectos evaluados se clasificaron de acuerdo con la vegetación existente en el sitio (tacotal alto, tacotal bajo y potrero).

Los valores actuales netos (VAN) resultaron positivos para los sitios calidad I en todas las especies, mientras que solo teca, pochote y laurel presentaron VAN positivos en sitios calidad III. En el caso de melina, los valores más altos se dan donde los costos de transporte son menores (Sarapiquí) y en los sitios cuya vegetación anterior era potrero (menores costos de limpieza). En cuanto a eucalipto (*E. deglupta*), los valores mayores de VAN se observan cuanto menor es la densidad de plantación, debido a que esto implica un menor número de plantas /ha, menos rodajas y menos fertilizante (menor costos de establecimiento y mantenimiento).

Las TIR mayores se presentaron en los sitios calidad I, en condiciones de vegetación anterior tipo "potrero". En esas condiciones y para la clase de sitio I, la TIR más alta es de 33% y corresponde a la teca, luego la melina con 32.7% , 28.1% y 26.9% (Sarapiquí, Los Chiles y Guanacaste) y de último el laurel con 23.3%. los turnos de rotación utilizados fueron de 12 años para melina, de 18 para eucalipto, de 30 para pochote y laurel y de 40 para teca.

Alfaro (1991) concluye que estos dos indicadores financieros podrían mostrar cifras más positivas si se redujera, por lo menos a la mitad, la distancia de transporte y si se mejora el rendimiento industrial, causando un efecto positivo en el precio del producto.

5. Metodología

5.1 Descripción del área de estudio

La selección de sitios para el establecimiento y medición de parcelas nuevas de teca y pochote, así como la remediación de parcelas ya establecidas, en su mayoría por el Proyecto MADELEÑA - CATIE comprendieron diferentes zonas del territorio nacional, concentrándose en las provincias de Guanacaste y Puntarenas. El estudio se concentró en Hojancha, Jicaral, área de Tempisque y Quebrada Honda, en Guanacaste, Cóbano, Parrita, Quepos, Barú, Palmar Norte y Buenos Aires, en Puntarenas, Guápiles y Guácimo, en Limón, Altamira, en San Carlos (Alajuela).

Las plantaciones se encuentran distribuidas dentro de un rango amplio de condiciones topográficas y climáticas (Cuadros 12 y 13).

Cuadro 12. Características climáticas y topográficas de las parcelas evaluadas de *Tectona grandis* en Costa Rica..

Experimento #	Lote #	Parcela #	Cantón	Localización de la finca	Zona de vida	ELEV (m)	PMA (mm)	TMA (°C)	DEFHID (# meses)	PEND (%)
001FI	001	001	Cóbano	Cabuya	bhT	115	2873	25.5	4	63
001FI	001	002	Cóbano	Cabuya	bhT	115	2873	25.5	4	23
001FI	001	003	Cóbano	Cabuya	bhT	115	2873	25.5	4	43
001FI	001	004	Cóbano	Cabuya	bhT	115	2873	25.5	4	37
002FI	001	001	Cóbano	Centro	bhT	140	2897	25.5	5	2
002FI	001	002	Cóbano	Centro	bhT	140	2897	25.5	5	2
002J	001	001	Hojancha	La Mansión	bhT	100	2102	26.3	5	16
003FI	001	001	Cóbano	Río Negro	bhT	185	2897	25.5	5	1
003FI	001	002	Cóbano	Río Negro	bhT	185	2897	25.5	5	1
003J	001	001	Hojancha	Los Angeles	bhT	320	2102	26.3	5	26
004BPC	009	014	Hojancha	Puerto Carrillo	bhT	120	1705	26.1	5	54
004BPC	010	005	Hojancha	Puerto Carrillo	bhT	100	1705	26.1	5	34
004FI	001	001	Cóbano	Centro	bhT	180	2897	25.5	5	4
005FI	001	001	Cóbano	Río Negro	bhT	162	2897	25.5	5	10
005FI	001	002	Cóbano	Río Negro	bhT	162	2897	25.5	5	10
005FI	001	003	Cóbano	Río Negro	bhT	162	2897	25.5	5	10
006FI	001	001	Cóbano	Río Negro	bhT	165	2897	25.5	5	4
007FI	001	001	Jicaral	Río Blanco	bsT	90	1659	26.1	6	14
007FI	001	002	Jicaral	Río Blanco	bsT	91	1660	26.1	6	10
008FI	001	001	Jicaral	La Balsa	bsT	105	1659	26.1	6	5
009F	001	001	Nicoya	Quebrada Honda	bsT	30	1901	27.1	4	12
011FI	001	001	Jicaral	San Pedro	bsT	65	1659	26.1	6	10
011FI	001	002	Jicaral	San Pedro	bsT	65	1659	26.1	6	10
012FI	001	001	Jicaral	San Pedro	bsT	60	1659	26.1	6	17
012FI	001	002	Jicaral	San Pedro	bsT	60	1659	26.1	6	17
015FI	001	001	Jicaral	San Blas	bhT	50	1659	26.1	6	3
018FI	001	001	Jicaral	Playa Naranjo	bsT	50	1659	26.1	6	9
019FI	001	001	Quepos	Savegre	bmhT	15	4103	25.9	3	2
020FI	001	001	Quepos	Portalón	bmhT	30	4103	25.9	3	2
021FI	001	001	Naranjito	Villa Nueva	bmhP	180	3779	25.9	3	5
022FI	001	001	Quepos	Salitrillo	bmhP	150	3779	25.9	3	32
023FI	001	001	Quepos	Río Seco	bmhP	60	2983	25.9	3	2
024F	001	001	Nicoya	Quebrada Honda	bsT	30	1901	27.1	4	3
024F	001	002	Nicoya	Quebrada Honda	bsT	30	1901	27.1	4	3
024FI	001	001	Quepos	El Silencio	bmhT	70	3806	25.9	3	5
024FI	001	002	Quepos	El Silencio	bmhT	70	3806	25.9	3	5
024FI	001	003	Quepos	El Silencio	bmhT	70	3806	25.9	3	5
024FI	001	004	Quepos	El Silencio	bmhT	70	3806	25.9	3	5
025FI	001	001	P. Zeledón	Barú	bmhT	75	3923	26.5	4	13
025FI	001	002	P. Zeledón	Barú	bmhT	75	3923	26.5	4	8
026FI	001	001	P. Zeledón	Barú	bmhT	50	3923	26.5	4	2
026FI	001	002	P. Zeledón	Barú	bmhT	50	3923	26.5	4	2
031FI	001	001	Parrita	La Esperanza	bmhP	45	3117	26.0	3	16
031FI	001	002	Parrita	La Esperanza	bmhP	45	3117	26.0	3	16

continuación.....

Experimento #	Lote #	Parcela #	Cantón	Localización de la finca	Zona de vida	ELEV (m)	PMA (mm)	TMA (°C)	DEFHID (# meses)	PEND (%)
032FI	001	001	Parrita	La Esperanza	bmhP	23	3117	26.0	3	2
032FI	001	002	Parrita	La Esperanza	bmhP	23	3117	26.0	3	0
033FI	002	002	Parrita	La Esperanza	bmhP	20	3117	26.0	3	10
033FI	002	001	Parrita	La Esperanza	bmhP	20	3117	26.0	3	10
034FI	001	001	Palmar Norte	Centro	bmhT	80	3644	27.0	3	5
035FI	002	001	Buenos Aires	Bajo Ceibo	bmhT	300	3627	27.0	4	2
036FI	001	001	Buenos Aires	Santa Martha	bmhT	380	3627	27.0	4	5
038FI	001	001	Nicoya	Quebrada Honda	bsT	15	1901	27.1	4	17
038FI	001	002	Nicoya	Quebrada Honda	bsT	15	1901	27.1	4	19
040FI	002	002	Nicoya	Quebrada Honda	bsT	30	1901	27.1	4	0
041FI	002	001	Nicoya	Barra Honda	bsT	80	1901	27.1	4	15
042FI	001	001	Nicoya	Quebrada Honda	bsT	20	1901	27.1	4	12
044FI	001	001	Guapiles	Río Blanco	bmhT	200	4107	26.0	0	1
045FI	001	001	Pococi	Guácimo	bmhT	220	5466	26.0	0	11
048FI	001	001	Guapiles	Río Blanco	bmhT	310	4107	26.0	0	3

Exp #: número de experimento

Parc #: número de parcela

Zona de Vida: según clasificación de Holdridge

Elev : elevación

PMA: Precipitación media anual

TMA: temperatura media anual

Def Hid : déficit hídrico (número de meses con menos de 100 mm de precipitación)

Pend. : pendiente

Cuadro 13. Características climáticas y topográficas de las parcelas evaluadas de *Bombacopsis quinata* en Costa Rica.

Exp. #	Lote #	Parc. #	Cantón	Localización de la finca	Zona de vida	Elev. (m.s.n.m.)	PMA (mm)	TMA (°C)	Def. Hid. (meses)	Pend. (%)
001BPC	001	002	Hojancha	Puerto Carrillo	bhT	80	1705	26.1	5	13
001BPC	003	006	Hojancha	Puerto Carrillo	bhT	120	1705	26.1	5	40
009FI	002	001	Jicaral	La Balsa	bsT	105	1659	26.1	6	2
009FI	002	002	Jicaral	La Balsa	bsT	105	1659	26.1	6	7
009FI	002	003	Jicaral	La Balsa	bsT	105	1659	26.1	6	7
009FI	003	001	Jicaral	La Balsa	bsT	105	1659	26.1	6	5
009FI	003	002	Jicaral	La Balsa	bsT	105	1659	26.1	6	15
009FI	003	003	Jicaral	La Balsa	bsT	105	1659	26.1	6	43
010FI	001	001	Jicaral	San Pedro	bsT	170	1659	26.1	6	60
010FI	001	002	Jicaral	San Pedro	bsT	170	1659	26.1	6	43
010FI	001	003	Jicaral	San Pedro	bsT	170	1659	26.1	6	68
010FI	001	004	Jicaral	San Pedro	bsT	170	1659	26.1	6	43
013FI	001	001	Jicaral	El Tajo	bsT	85	1659	26.1	6	6
013FI	002	001	Jicaral	El Tajo	bsT	85	1659	26.1	6	6
014FI	001	001	Jicaral	La Tranquera	bsT	30	1659	26.1	6	6
016FI	001	001	Jicaral	San Ramón	bhT	120	1659	26.1	6	17
017FI	001	001	Jicaral	El Pital	bsT	50	1659	26.1	6	25
024F	001	002	Nicoya	Q. Honda	bsT	30	1901	27.1	4	2
027FI	001	001	P. Zeledón	Barú	bmhT	185	3923	26.5	4	38
028FI	001	001	P. Zeledón	Barú	bmhT	260	3923	26.5	4	44
029FI	001	001	P. Zeledón	Barú	bmhT	100	3923	26.5	4	10
030FI	001	001	P. Zeledón	Barú	bmhT	120	3923	26.5	4	33
031FI	002	001	Parrita	La Esperanza	bmhP	45	3117	26.0	3	13
032FI	002	001	Parrita	La Esperanza	bmhP	23	3117	26.0	3	2
033FI	001	001	Parrita	La Esperanza	bmhP	20	3117	26.0	3	18
034FI	002	001	P. Norte	Centro	bmhT	80	3644	27.0	3	5
035FI	001	001	B. Aires	Bajo Ceibo	bmhT	300	3627	27.0	4	2
037FI	001	001	Nicoya	Barra Honda	bsT	40	1901	27.1	4	6
039FI	001	001	Nicoya	Q. Honda	bsT	25	1901	27.1	4	4
043FI	001	001	Nicoya	Q. Honda	bsT	30	1901	27.1	4	0
046FI	001	001	Pococi	Guácimo	bmhT	220	5466	26.0	0	2
047FI	001	001	Pococi	Guácimo	bmhT	52	5466	26.0	0	1

Exp #: número de experimento

Parc. #: número de parcela

Zona de Vida: según clasificación de Holdridge

Elev. : elevación

PMA: Precipitación media anual

TMA: temperatura media anual

Def Hid : déficit hídrico (número de meses con menos de 100 mm de precipitación)

Pend. : pendiente



Figura 5. Localización de los sitios en donde fueron aprovechados árboles de *Tectona grandis* (T) y *Bombacopsis quinata* (P) en Costa Rica.

Los sitios en donde se aprovecharon árboles fueron seleccionados tratando de abarcar las diferentes zonas climáticas del país (Figura 5). Los Cuadros 14 y 15 resumen las características de estos sitios para pochote y teca, respectivamente.

Cuadro 14. Características fisiográficas y climáticas de los sitios en donde se aprovecharon árboles de *Bombacopsis quinata* para el estudio de biomasa de copa en Costa Rica.

Provincia	Cantón	Localización de la finca	Zona de vida	Elevación	Precipitación media anual (mm)	Temperatura media anual (°C)	Pendiente (%)	Déficit hídrico (meses)
Puntarenas	Buenos Aires	Bajo Ceibo	bmhT ⁽¹⁾	300	3627	27.0	2	4
Guanacaste	Hojancha	Puerto Carrillo	bhT ⁽²⁾	100	1705	26.1	15	5
Puntarenas	Jicaral	El Tajo	bsT ⁽³⁾	85	1659	26.8	6	6
Puntarenas	Jicaral	La Tranquera	bsT	30	1659	26.8	6	6
Guanacaste	Nicoya	Quebrada Honda	bsT	30	1901	27.1	2	4
Puntarenas	Palmar Norte	Centro	bmhT	80	3644	27.0	5	3
Puntarenas	Parrita	La Esperanza	bmhP ⁽⁴⁾	23	3117	26.0	13	3
Guanacaste	Jicaral	La Balsa	bsT	85	1659	26.8	5	6

* (<100 mm)

⁽¹⁾ bmhT: bosque muy húmedo Tropical

⁽²⁾ bhT: bosque húmedo Tropical

⁽³⁾ bsT: bosque seco Tropical

⁽⁴⁾ bmhP: bosque muy húmedo Premontano

Cuadro 15. Características fisiográficas y climáticas de los sitios en donde se aprovecharon árboles de *Tectona grandis* para el estudio de biomasa de copa en Costa Rica.

Cantón	Localización de la finca	Zona de vida	Elevación (m.s.n.m.)	Precipitación media anual (mm)	Temperatura media anual (°C)	Déficit hídrico * (meses)	Pendiente (%)
Buenos Aires	Bajo Ceibo	bmhT ⁽¹⁾	300	3627	27.0	4	2
Cahuita	Bordón	bmhT	25	2771	26.2	0	1
Cahuita	San Gerardo	bmhT	110	2771	26.2	0	6
Guápiles	Río Blanco	bmhT	200	4107	26.0	0	1
Guápiles	Río Blanco	bmhT	310	4107	26.0	0	3
Hojancha	La Arena	bhT ⁽²⁾	340	2102	26.3	5	15
Hojancha	La Arena	bhT	340	2102	26.3	4	20
Hojancha	La Mansión	bhT	100	2102	26.3	5	16
Hojancha	La Vigía	bhT	75	2102	26.3	5	22
Hojancha	Lapas	bhT	125	2102	26.3	5	36
Hojancha	Pilangosta	bhT	380	2102	26.3	4	16
Jicaral	La Balsa	bsT ⁽³⁾	105	1659	26.1	6	5
Jicaral	San Pedro	bsT	65	1659	26.1	6	10
Nicoya	Quebrada Honda	bsT	20	1901	27.1	4	12
Nicoya	Quebrada Honda	bsT	30	1901	27.1	4	12
Nicoya	Quebrada Honda	bsT	30	1901	27.1	4	3
Palmar Norte	Centro	bmhT	80	3644	27.0	3	5
Parrita	La Esperanza	bmhP ⁽⁴⁾	23	3117	26.0	3	2
Pococí	Guácimo	bmhT	220	5466	26.0	0	11
Quepos	Río Seco	bmhP	60	2983	25.9	3	2
Quepos	Salitrillo	bmhP	150	3779	25.9	3	32
Quepos	Savegre	bmhT	15	4103	25.9	3	2
Hojancha	Puerto Carrillo	bhT	80	1705	26.1	5	76
Hojancha	Puerto Carrillo	bhT	120	1705	26.1	5	54

* (<100 mm)

⁽¹⁾ bmhT: bosque muy húmedo tropical

⁽²⁾ bhT: bosque húmedo tropical

⁽³⁾ bsT: bosque seco tropical

⁽⁴⁾ bmhP: bosque muy húmedo Premontano

5.2 Métodos, muestreo y procedimientos analíticos

5.2.1 Fase I: Ordenación de la información existente y ubicación de sitios potenciales para el estudio

En una primera fase se recopiló información acerca de las plantaciones con mayor edad en el país (de 10 a 50 años) y se elaboró una matriz con cerca de 100 sitios potenciales para llevar a cabo la investigación. De la base de datos MIRA⁵ se seleccionaron algunas parcelas para su remediación.

Se esperaba medir parcelas ya establecidas para valorar el crecimiento e identificar plantaciones de avanzada edad para complementar la base de datos existente.

5.2.2 Fase II: Medición de las plantaciones.

En esta segunda fase fueron medidas parcelas en plantaciones nuevas y también plantaciones que ya habían sido medidas y que fueran de interés para el presente estudio. Entre establecimiento de nuevas parcelas y remediación de parcelas ya establecidas, fueron medidas aproximadamente 70 parcelas de teca y 50 parcelas de pochote, con edades entre 8 y 46 años para teca y de 10 a 26 años para pochote.

En cada sitio fueron establecidas parcelas temporales (pero identificadas para posible seguimiento a futuro), tantas como fueran necesarias, dependiendo de la variabilidad en topografía, en crecimiento, en edad, etc., que presentara cada sitio. Se trató de establecer al menos una parcela en cada condición de sitio, determinadas por diferencias de crecimiento en altura total.

La forma de las parcelas fue principalmente rectangular o cuadrada, aunque en algunos casos en que la distribución de los árboles era muy irregular, se recurrió a las parcelas circulares. El tamaño de estas se basó en el número de árboles, es decir, dependiendo del espaciamiento entre árboles. Se trató de que en la parcela entraran como mínimo 60-70 árboles originales, es decir, incluyendo muertos

y raleados, esto con el fin de que en plantaciones muy viejas, en donde se han aplicado varios raleos y la densidad es muy baja, los árboles remanentes fueran una muestra representativa (unos 20 árboles como mínimo). Esto equivale a parcelas de 500 a 1000 m².

En cada parcela se midió el área horizontal con cinta métrica y brújula, fueron anotadas características propias del sitio (pendiente medida con clinómetro Sunnto, problemas visibles de erosión - inundación, orientación N - S - E - O, problemas fitosanitarios, etc.) y fueron medidas las variables dasométricas. Estas variables incluyen el diámetro a la altura del pecho (dap), medido con cinta diamétrica y la altura total, medida con hipsómetro Sunnto. En el caso de pochote, debido a los agujijones que presenta el fuste, se utilizó la forcípula.

El resumen de las parcelas evaluadas para las dos especies se presenta en los Cuadros 1 y 2 (Anexos).

5.2.3 Fase III: Aprovechamiento de árboles

5.2.3.1 Medición de variables para las relaciones de la composición y estructura de copa con el crecimiento.

Para el aprovechamiento de árboles fueron seleccionadas plantaciones medidas en la fase II. En total se aprovecharon 37 árboles de teca, con edades entre 8 y 46 años (Cuadro 3, Anexos) y se utilizó además una base de datos de 40 árboles, entre 4 y 15 años, de la tesis de Morataya (1996), lo que equivale a un total de 77 árboles. En pochote fueron cortados 17 árboles, con edades entre 10 y 26 años (Cuadro 4, Anexos).

En cada plantación, uno o dos árboles fueron elegidos (codominante y dominante). Para el caso de dos cercas vivas en Cahuita, zona Atlántica, se tomaron 3 árboles por sitio (dominante, codominante y suprimido).

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

⁵ Ugalde, L. 1998. Software MIRA (Manejo de Información sobre Recursos Arbóreos). Centro Agronómico

- *peso total del follaje (kg)*, medición hecha en una balanza convencional, más una muestra de aproximadamente 500 g (pesada en una balanza analítica inmediatamente después de haber pesado el total del follaje) para posteriormente determinar el porcentaje de materia seca en el laboratorio de suelos del CATIE.
- *diámetro (cm) y largo (m) de las ramas vivas* con cinta métrica y diamétrica, en pochote con forcípula. Se consideró rama todo lo que saliera del eje principal, en el caso de bifurcaciones se tomó como eje principal al más grueso y lo demás como ramas. Se midió el diámetro en la base de la rama y el largo procurando seguir la forma de su eje principal.
- *peso total de ramas (kg)*; mismo procedimiento del follaje, muestra de 1000 g para el laboratorio.
- *diámetro a la altura de la primera rama o base de la copa viva (m)*,
- *altura total del árbol (m)*,

Se tomó además una sección transversal del árbol (galleta) a 0.3 m y a la altura donde inicia la copa, para medir el *área de albura*, *el área de duramen* y *el área del penúltimo anillo* de crecimiento.

5.2.3.2 Corta de secciones transversales del fuste (galletas) para el análisis fustal.

A cada árbol cortado se le cubicó 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), dependiendo de las disposiciones del dueño en relación al largo de las trozas deseado. A cada altura se midió también el grosor de corteza.

En cada sitio se seleccionó un árbol al cual se le extrajeron secciones del fuste en donde se había cubicado para utilizarlas en el análisis fustal (Figura 6).

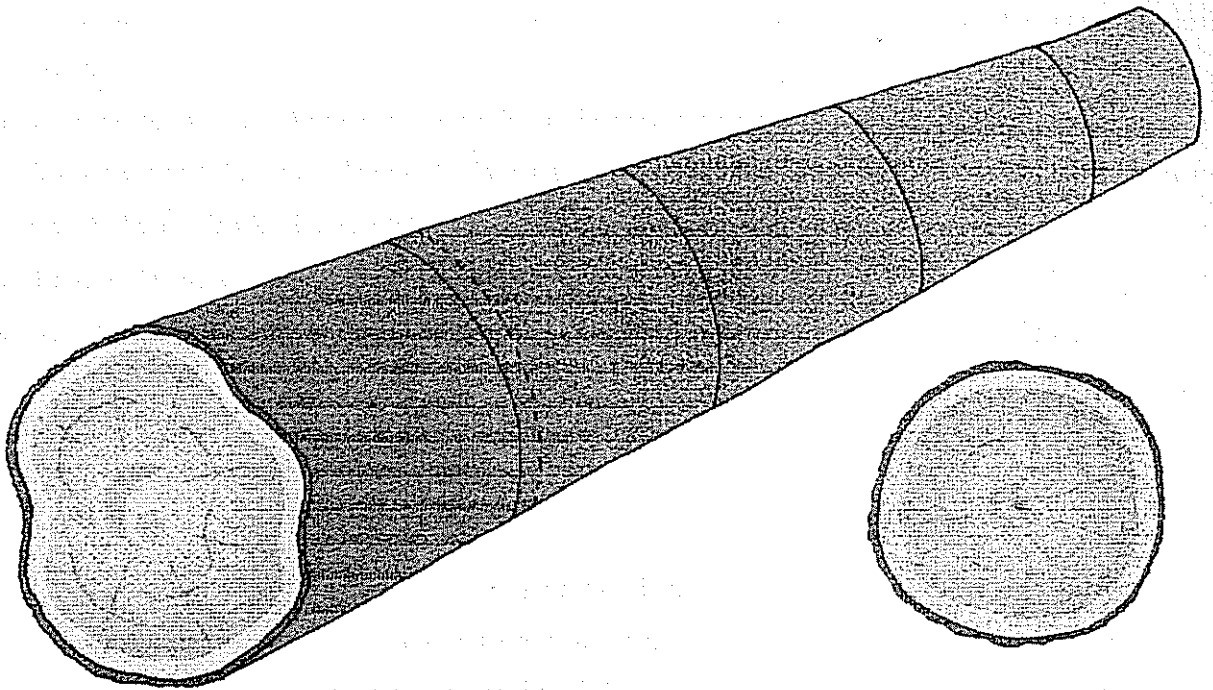


Figura 6. Extracción de secciones transversales a diferentes alturas del fuste de los árboles aprovechados y utilizadas para el estudio de análisis fustal.

5.2.4 Fase IV: Análisis de la información

5.2.4.1 Ordenación de los datos.

Algunas variables medidas en el campo fueron modificadas para estandarizar los valores, mientras que nuevas variables fueron calculadas:

- **La biomasa de hojas y ramas** se pasó a peso seco (kg)
- **El volumen total de ramas** se calculó con base en el diámetro (cm) y largo (m) como un cono (volumen= $\text{Area} * \text{Largo} * 1/3$).
- **El largo de copa**, obtenido de la diferencia entre la altura total y la altura a la base de la copa
- **El diámetro de copa** promedio entre las dos mediciones en cruz.
- **El área del penúltimo anillo de crecimiento**: A la secciones tomadas a 0.3 m de altura y en la base de la copa se le midió el diámetro hasta el último y hasta el penúltimo anillo de crecimiento.

Se calculó el área hasta cada anillo siendo el área del penúltimo anillo la diferencia entre las dos áreas.

- **El área de albura - duramen:** Se midió el diámetro total sin corteza y el diámetro de duramen a las secciones a 0.3 m y a la base de la copa, se calculó el área para cada uno con la fórmula $A = (\pi/4) \cdot (dap)^2$, siendo el área total menos el área de duramen igual al área de albura.
- **El área de copa,** considerada como una elipse $v = (\text{diám } 1/2) \cdot (\text{diám } 2/2) \cdot \pi$.
- **El volumen de copa,** calculada como el volumen de un cono: $\text{volumen} = \text{Area} \times \text{Largo} \times 1/3$.

5.2.4.2 Desarrollo de modelos

La información de campo a nivel de parcelas, incluyendo la descripción del sitio, de la parcela y la medición de los árboles, se introdujo en el sistema MIRA⁶. Los datos provenientes de la fase de cuantificación de biomasa se procesaron en Excel 7.0. El desarrollo de modelos se hizo en el paquete estadístico SYSTAT 5.04.

Para el desarrollo de modelos se probaron ecuaciones lineales simples y algunas múltiples y ecuaciones no lineales, principalmente logarítmicas y algunas cuadráticas, partiendo de lo más simple a lo más complejo, según fuera necesario.

Para el desarrollo de los modelos se siguieron los siguientes pasos:

1. Se creó la base de datos.
2. Se correlacionaron las variables.
3. Se graficaron las variables de mayor importancia para observar las tendencias y la posible presencia de observaciones extremas (outliers).
4. Se realizaron las regresiones con las variables seleccionadas, utilizando transformaciones de variables en los casos necesarios.
5. Se probaron los supuestos de normalidad (gráficamente), homogeneidad de varianzas y de correlación de residuos (gráficamente y mediante prueba de Durbin-Watson) para los modelos desarrollados, así como análisis de prueba de observaciones extremas (outliers) para los modelos seleccionados (prueba de residuos estandarizados).
6. Se eligieron los mejores modelos.

⁶ Ugalde, L. 1998. Software MIRA (Manejo de Información sobre Recursos Arbóreos) Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica

5.2.4.3 Análisis fustal

Para esta sección se utilizó la metodología citada por Ortiz (1993), Prodan et al (1997) y Mora (1997). En el caso de teca el conteo de anillos fue simple (se observaban a simple vista sin necesidad de pulir las superficies de las rodajas), a excepción de unos pocos casos; en pochote hubo necesidad de cepillar las secciones y aún así en varios árboles fue imposible reconocer los anillos de crecimiento. A cada sección se le midió el diámetro en dos direcciones (sin corteza, así como el grosor de corteza), se promedió y con base en ese diámetro promedio se realizó el conteo de anillos en una dirección (radio). Se evitaron los sectores con irregularidades producto de tensiones o de inserciones de ramas (Figura 7).

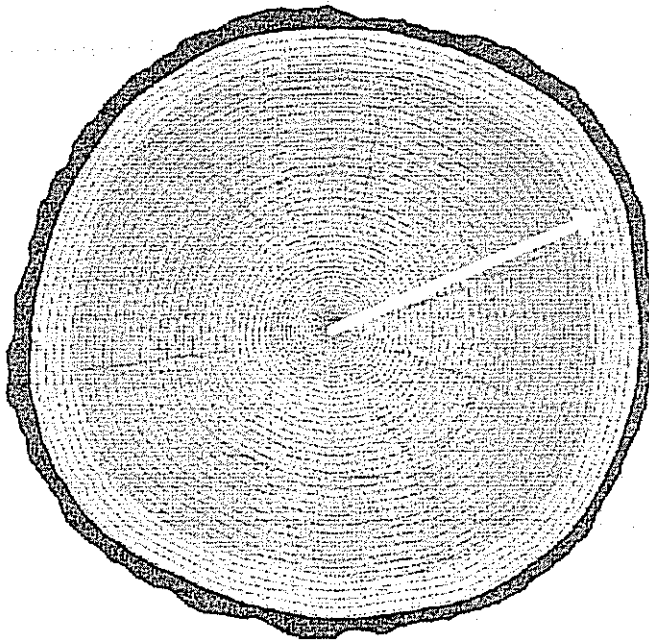


Figura 7. Medición de los anillos de crecimiento en la sección transversal (galleta) de un fuste.

El grosor de corteza a diferentes edades fue estimado como un porcentaje del diámetro sin corteza, partiendo de esta relación en el momento de la corta.

La altura total del árbol a las diferentes edades fue estimada como la mitad (si la diferencia en el número de anillos entre secciones es 1, un tercio si la diferencia es 2, etc.) del largo entre una sección y la siguiente, según la metodología sugerida por Mora ².

La información fue digitada en Excel para el cálculo de diámetros, áreas basales, volúmenes y sus respectivos incrementos. Los gráficos del fuste se realizaron en SYSTAT 5.04 for Windows. Se prepararon hojas electrónicas para el cálculo de diámetros con corteza, alturas totales, áreas basales, volúmenes, incrementos medios anuales e incrementos corrientes anuales (de todas las variables anteriores) y factores de forma.

5.2.4.4 Diseño de escenarios de crecimiento

Mediante la información obtenida del análisis fustal y generación de modelos tanto de los árboles aprovechados como de las parcelas medidas, se procedió a diseñar escenarios de crecimiento y rendimiento para simular el desarrollo de una plantación en el tiempo, detectar los posibles momentos en que se debe intervenir y controlar la densidad para obtener al final de un turno de rotación definido, una determinada cantidad de árboles con ciertas dimensiones preestablecidas.

Se diseñaron 8 escenarios para cada especie, partiendo de un manejo del área basal máxima a 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).

5.2.4.5 Evaluación de costos

Se utilizó información de las diferentes labores de establecimiento y manejo de plantaciones forestales en el país para estimar los costos en que se incurre al aplicar un sistema de manejo intensivo vs el manejo tradicional.

6. Resultados

6.1 Teoría del Modelo Vascular (TMV)

6.1.1 Relaciones en *Tectona grandis*

6.1.1.1 Relación entre el área de albura a la base del árbol y el peso seco del follaje.

La TMV indica que existe una alta relación entre el área de albura y el peso del follaje a cualquier altura del árbol. En este caso se decidió comprobar esta relación a la base del árbol, aproximadamente a 0.3 m de altura.

Se obtuvo un coeficiente de correlación de 85%, teniendo la distribución de puntos una tendencia lineal (Figura 8).

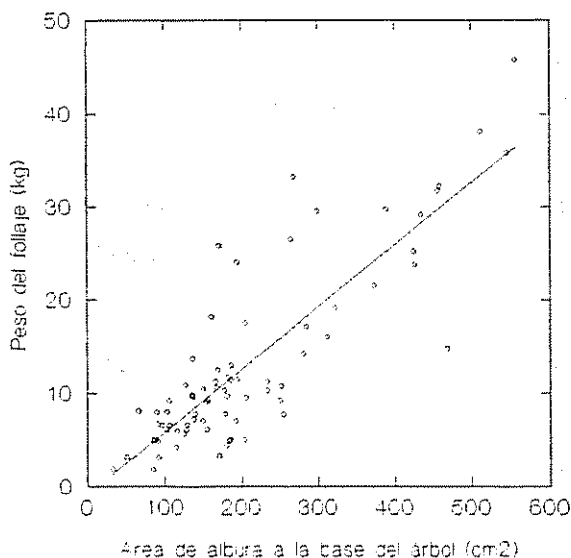


Figura 8. Línea de tendencia de la relación entre el área de albura a la base del árbol y el peso seco del follaje en *Tectona grandis* ($R = 85\%$).

De los modelos generados, basados en regresiones lineales, el que mejor aplicó fue:

$$Phojas = -0.872 + 0.067 * Aalburai \quad R^2 = 72\% \quad (\text{Ecuación 1})$$

en donde:

Phojas = peso seco del follaje (kg)

Aalburai = área de albura a la base del árbol (cm²)

El ajuste del modelo sobre los datos de campo se presenta en la Figura 9.

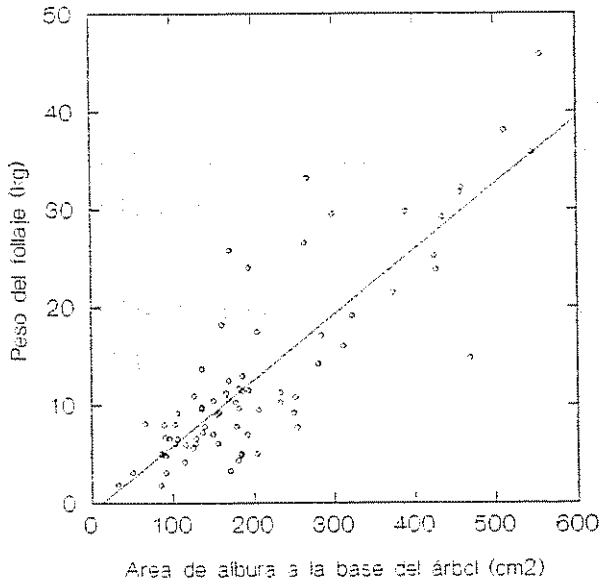


Figura 9. Ajuste del modelo de predicción del peso del follaje a partir del área de albura a la base del árbol (Ecuación 1) con los datos de campo de *Tectona grandis* ($R^2 = 72\%$).

Modelos de tipo lineales también fueron reportados por Morataya (1996) y Kendall y Brown (1978), para *Tectona grandis* y *Pinus ponderosa*, respectivamente.

Al igual que el modelo de predicción del peso del follaje a partir del área de albura al dap para edades entre 4 y 12 años ($R^2 = 80\%$), reportado por Morataya (1996), este modelo viene a comprobar la Teoría del Modelo Vascular y, además, a verificar que esta relación se cumple en plantaciones de teca a edades avanzadas (hasta 47 años) y 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.

Comparando los dos modelos, el modelo desarrollado por Morataya (1996) predice mejor la cantidad de follaje. Esta diferencia puede radicar en que la medición del área de albura a la base del árbol se complica por la presencia de “gambas” o deformaciones en el fuste. Otro factor que puede

influir en las diferencias entre modelos es la inclusión de árboles de edades avanzadas (hasta 47 años) y de diferentes zonas climáticas en el presente modelo.

6.1.1.2 Relación entre el área de albura a la base de la copa viva y el peso seco del follaje.

Según Waring (1983), en árboles maduros, el área de albura a la base de la copa viva y al dap puede diferir hasta en un 50%. Existen divergencias entre autores sobre la altura en la cual la relación entre el área de albura y el peso del follaje es mayor. Morataya (1996) relacionó la albura a la altura del dap (1.3 m) y anteriormente se presentó el resultado obtenido a la base del árbol (0.3 m), resta estudiarla a la altura donde inicia la copa.

La correlación entre las dos variables, con un $R^2 = 82\%$ y con tendencia lineal (Figura 10), confirmaron la aplicación de la TMV a esta altura utilizando un total de 77 observaciones.

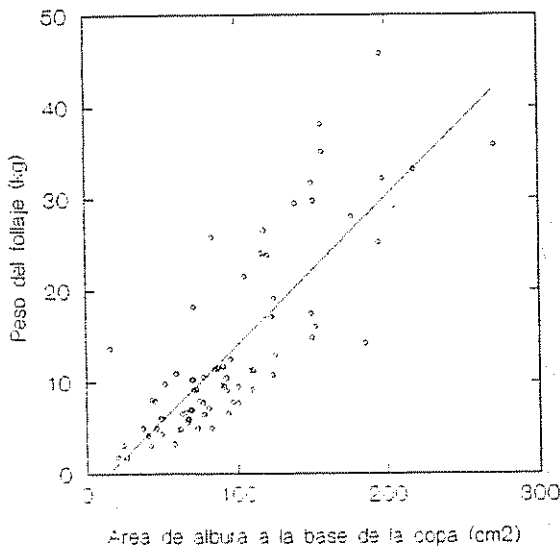


Figura 10. Línea de tendencia de la relación entre el área de albura a la base de la copa viva y el peso seco del follaje en *Tectona grandis* ($R = 82\%$).

El mejor modelo fue el siguiente:

$$\text{Ln (Phojas)} = -2.31 + 1.052 * \text{Ln (Aalburas)} \quad R^2 = 64\% \quad (\text{Ecuación 2})$$

Ln (Phojas) = Logaritmo natural del peso seco del follaje (kg)

Ln (Aalburas) = Logaritmo natural del área de albura a la base de la copa viva (cm²)

La relación entre los valores observados y el modelo se presenta en la Figura 11.

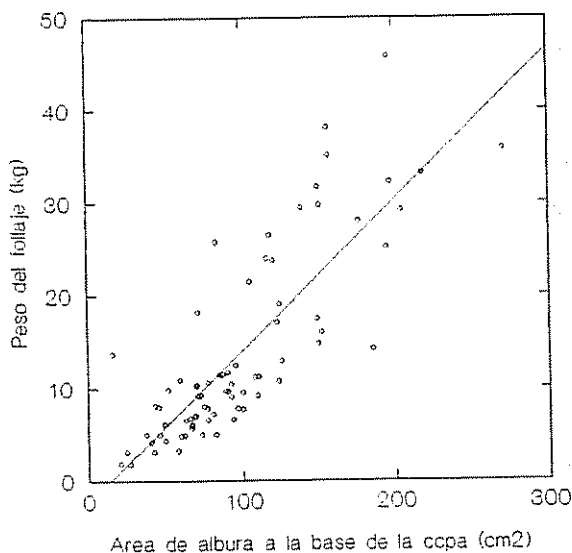


Figura 11. Ajuste del modelo de predicción del peso del follaje a partir del área de albura a la base de la copa viva (Ecuación 2) con los datos de la muestra de campo de *Tectona grandis* ($R^2 = 64\%$).

Similar a los resultados obtenidos por Morataya (1996), la relación entre la albura y el follaje parece ser más consistente a la base del árbol y al dap que a la base de la copa. Esto es importante ya que se comprueba que la Teoría del Modelo Vascular puede ser establecida a cualquier altura del fuste y en plantaciones de edades avanzadas (47 años) para *Tectona grandis* en Costa Rica.

6.1.1.3 Relación del área del penúltimo anillo a la base del árbol, al dap y a la base de la copa con el peso seco del follaje.

Entre el área del penúltimo anillo de crecimiento y el peso seco del follaje no se encontraron relaciones fuertes en ninguna sección del árbol. A la base del árbol la correlación entre variables fue de 58.4 %, al dap 34.1% y a la base de la copa 32.0 %.

Morataya (1996) reporta una alta correlación (82.8 %) entre estas dos variables, sin embargo las comparaciones debieran ser entre los incrementos en volumen y la biomasa de follaje, ya que un árbol a edades avanzadas produce un anillo de menor tamaño y abarcando un área menor o similar al de un árbol joven, pero que traducido en volumen es mucho mayor y posiblemente concordará con la cantidad de biomasa de copa producida.

6.1.2 Relaciones para *Bombacopsis quinata*

6.1.2.1 Relación entre el área de albura a la base del árbol y el peso seco del follaje

La Teoría del Modelo Vascular también se pudo comprobar en pochote, utilizando un total de 17 observaciones. Para la relación de área de albura a la base del árbol (cm^2) con el peso seco del follaje (kg) se obtuvo una correlación de 93.0 % (Figura 12).

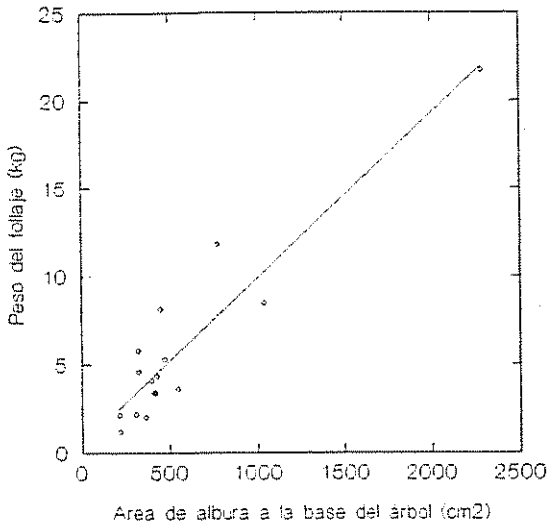


Figura 12. Línea de tendencia de la relación entre el área de albura a la base del árbol y el peso seco del follaje para *Bombacopsis quinata* ($R = 93\%$).

El modelo que representa esta relación es:

$$Phojas = 0.538 + 0.009 * Aalburai \quad R^2 = 87\% \quad (\text{Ecuación 3})$$

Phojas = peso seco del follaje (kg)

Aalburai = área de albura a la base del árbol (cm²)

y el ajuste del modelo junto con los datos de la muestra de campo es el siguiente:

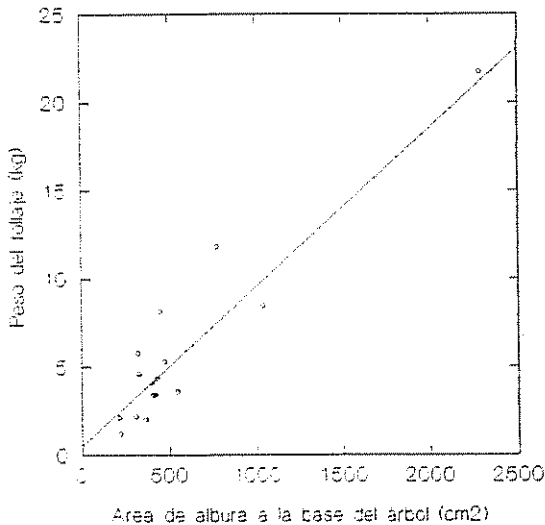


Figura 13. Relación entre los valores observados y el modelo (Ecuación 3) para la relación área de albura a 0.3 m y peso seco del follaje en *Bombacopsis quinata* ($R^2 = 87\%$).

En pochote, la base del fuste tiende a ser menos irregular que en árboles de teca de menos de 26 años y el área de albura adquiere una forma más circular, por lo que la facilidad de su medición puede influenciar en parte la diferencia en la precisión de los modelos entre las especies. Se esperaría que a la altura de 1.3 m (dap) esta relación se mantenga o sea mayor.

6.1.2.2 Relación entre el área de albura a la base de la copa viva y el peso seco del follaje

La relación de estas dos variables a la altura de la base de la copa viva fue ligeramente menor que a la base del árbol, pero importante ($R = 78\%$) (Figura 14). Cabe mencionar que en los árboles aprovechados para este estudio, a la altura donde iniciaba la copa, no se notó la presencia de duramen aún en los árboles más adultos (26 años). Inclusive a 1.3 m de altura se notó duramen solamente en los árboles de mayor edad (26 años, Buenos Aires, Puntarenas) y en poca cantidad.

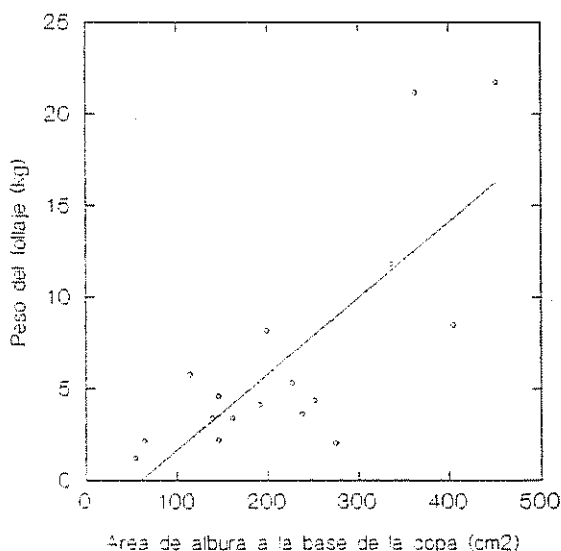


Figura 14. Línea de tendencia de la relación entre el área de albura a la base de la copa y el peso seco del follaje en *Bombacopsis quinata* ($R = 78\%$).

Con este resultado se comprueba que la TMV aplica a diferentes alturas del árbol también para la especie pochote.

6.1.2.3 Relación del área del penúltimo anillo a la base del árbol con el peso seco del follaje

A diferencia de la teca, el pochote sí mantiene una estrecha relación entre el crecimiento en diámetro del último año (penúltimo anillo de crecimiento a la base del árbol) y la cantidad de follaje del año siguiente, pero solamente a la base del árbol, no así a la base de la copa. Se determinó que las variables tienen un coeficiente de correlación de 89%, con tendencia lineal (Figura 15).

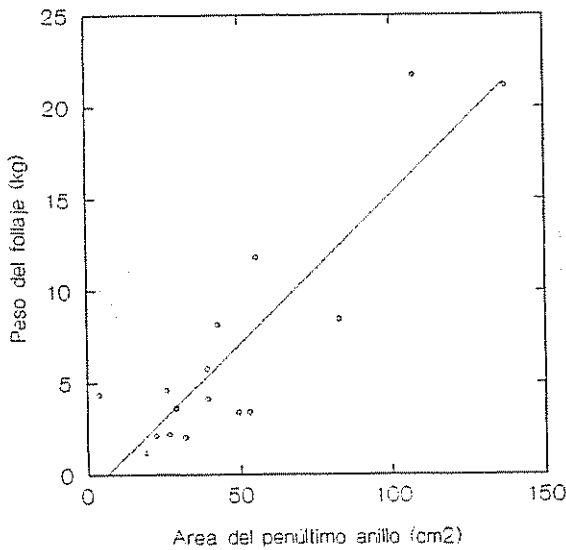


Figura 15. Línea de tendencia de la relación entre el área del penúltimo anillo de crecimiento a la base del árbol y el peso seco del follaje en *Bombacopsis quinata* (R = 89%).

El modelo de mejor ajuste para esta relación fue el siguiente:

$$Phojas = -1.042 + 0.163 * Apai \quad R^2 = 79\% \quad (\text{Ecuación 4})$$

Phojas = peso seco del follaje (kg)

Apai = área del penúltimo anillo de crecimiento a la base del árbol (cm²)

El modelo anterior explica el 79 % de la variación en el peso del follaje debido a los cambios en el área del penúltimo anillo de crecimiento, siguiendo un patrón de tipo lineal (Figura 16).

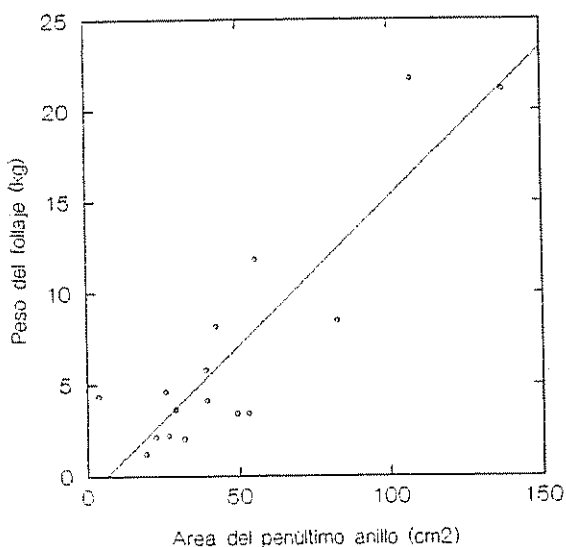


Figura 16. Ajuste del modelo de predicción del peso del follaje a partir del área del penúltimo anillo a la base del árbol (Ecuación 4) con las observaciones de campo de *Bombacopsis quinata*.

Estos resultados indican que es posible relacionar el crecimiento en área basal del año anterior con el peso del follaje, pudiéndose entonces estimar la cantidad de follaje requerido por un árbol en el siguiente año para lograr cierto incremento (ICA) en área basal.

Conociendo que existe esta fuerte relación, puede entonces buscarse relaciones que ayuden a simplificar la estimación de la cantidad de follaje presente en una plantación y poder de esta forma estimar la cantidad de follaje que se necesita para mejorar las tasas de crecimiento de la plantación. Por ejemplo, se determinó que existe también una fuerte relación entre el peso seco del follaje (kg) y el área de copa (m^2) ($R=98\%$, Figura 17). De manera que de forma práctica es posible determinar el peso seco de follaje de un árbol midiendo su área de copa y estimar el incremento en área basal a partir del área de copa. Esto quiere decir que, para un incremento en área basal esperado se puede estimar el área de copa necesaria y la cantidad máxima de árboles con esa dimensión de copa que podría haber en un área determinada de plantación.

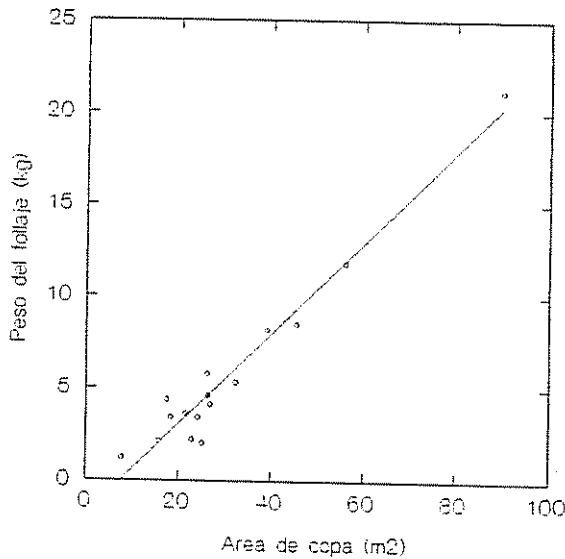


Figura 17. Línea de tendencia de la relación entre el área de copa y el peso seco del follaje en *Bombacopsis quinata* ($R = 98\%$).

6.1.2.4 Relación del área del penúltimo anillo a la base de la copa viva con el peso seco del follaje

La relación encontrada entre el área del penúltimo anillo a la base de la copa viva y el peso seco del follaje fue de apenas un 52%. Es posible que la variación en las alturas en donde inicia la copa en pochote cause que el área del penúltimo anillo, en árboles con cantidades similares de follaje, diverjan considerablemente

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

6.2.1 Relación entre las variables para *Tectona grandis*

Las relaciones más fuertes encontradas entre las variables medidas en los árboles de teca aprovechados para el estudio de biomasa son presentadas en el Cuadro 16.

Cuadro 16. Resumen de las correlaciones (%) encontradas para las principales variables evaluadas en los árboles de *Tectona grandis* aprovechados para el estudio de biomasa en la Zona Atlántica (ZA) y Zona Pacífica (ZP) de Costa Rica.

Variab relacionadas	ZA	ZA + ZP	Variab relacionadas	ZA	ZA + ZP
aalburai-dap	83	84	phojas-dcopa	93	88
aalburas-dap	93	67	phojas-pramas	96	90
aalburas-dbcopa	96	84	phojas-varbol	83	75
aalburas-dcopa	86	75	phojas-vcopa	90	88
aalburas-vcopa	77	75	phojas-vramas	94	87
acopa-dap	81	73	pramas-acopa	92	85
acopa-dbcopa	85	74	pramas-dap	93	80
acopa-varbol	86	67	pramas-dbcopa	95	91
dap-harbol	80	91	pramas-dcopa	95	0 86
dbcopa-acopa	85	74	pramas-phojas	96	90
dbcopa-dap	98	88	pramas-vcopa	94	91
dbcopa-dcopa	91	86	pramas-vramas	98	96
dbcopa-vcopa	87	86	varbol-dap	98	88
dcopa-dap	88	85	varbol-harbol	79	73
dcopa-varbol	90	72	vcopa-dap	82	82
phojas-aalburai	79	81	vcopa-dcopa	97	96
phojas-aalburas	91	82	vcopa-varbol	88	87
phojas-acopa	85	81	vramas-aalburas	85	80
phojas-apai	68	58	vramas-dbcopa	92	90
phojas-dap	91	88	vramas-dcopa	94	86
phojas-dbcopa	92	89	vramas-vcopa	93	90

donde:

- aalburai = área de albura a la base de la copa (cm²) phojas = peso seco del follaje (kg)
aalburas = área de albura a la base de la copa (cm²) pramas = peso seco de ramas (kg)
acopa = área de copa (m²) varbol = volumen del árbol (m³)
dap = diámetro a la altura del pecho (cm) vcopa = volumen de copa (m³)
dbcopa = diámetro del fuste a la base de la copa (cm) vramas = volumen de ramas (m³)
dcopa = diámetro de copa (m)
harbol = altura total del árbol (m)

La importancia de estudiar estas relaciones es que permite encontrar caminos más fáciles para estimar una variable de difícil medición en el campo o que requiere la corta del árbol, a partir de su relación con otra variable de fácil medición.

Las áreas de albura tienen relación con variables de fácil medición como el dap y el diámetro de copa, habiendo correlación de hasta 93%.

El área de copa, utilizada en la simulación de escenarios de crecimiento presentados en este estudio para estimar la densidad máxima de árboles en el transcurso del turno de rotación, mantiene cierta relación con el dap y con el volumen del árbol, variables que normalmente se tienen en los registros de las plantaciones.

En la sección de la Teoría del Modelo Vascular se mostró como el peso seco del follaje está fuertemente relacionado con el área de albura a diferentes alturas del fuste. El área de albura está relacionada con otras variables de fácil medición.

Relaciones fuertes encontradas entre las variables de composición y estructura de copa con las variables de crecimiento como el dap, el área de albura y el área del penúltimo anillo de crecimiento fueron utilizadas para desarrollar algunos modelos presentados en este estudio.

También se presentan modelos que relacionan a variables de composición de copa con variables de estructura de copa. La utilidad de estos modelos es que permiten estimar una variable de difícil medición a partir de otras variables de fácil medición, como por ejemplo la relación entre el peso del follaje y el peso seco o volumen de ramas. Estas relaciones con coeficientes mayores a 87%, permitieron generar modelos para la estimación del peso del follaje, siendo posible realizar estudios de biomasa en la época seca, en donde no se cuenta con la totalidad del follaje.

Otras variables menos utilizadas normalmente, como el peso de ramas, el volumen de ramas, el volumen de copa, etc., también tienen fuertes relaciones con el dap, el diámetro de copa, peso del follaje que, en caso de necesitar estimar alguna de ellas, pueden relacionarse y evitar su difícil medición en el campo.

6.2.2 Relaciones entre variables de *Bombacopsis quinata*

Las relaciones más fuertes encontradas entre las variables medidas a los árboles aprovechados de pochote son presentadas en el Cuadro 17.

Cuadro 17. Resumen de las principales coeficientes de correlación (%) encontrados para las variables evaluadas en los árboles de *Bombacopsis quinata* aprovechados para el estudio de biomasa en la Zona Pacífica de Costa Rica.

Relación	R	Relación	R
aalburai-dap	94	phojas-apai	89
aalburai-phojas	93	phojas-dap	81
aalburai-varbol	96	phojas-dbcopa	88
aalburai-vcopa	74	phojas-dcopa	94
aalburas-dap	96	phojas-pramas	86
aalburas-dbcopa	94	phojas-varbol	78
aalburas-dcopa	78	phojas-vcopa	93
aalburas-varbol	87	phojas-vramas	97
aalburas-vcopa	86	pramas-aalburas	81
acopa-dap	70	pramas-acopa	88
acopa-varbol	57	pramas-dap	96
apai-dcopa	87	pramas-dbcopa	77
apai-vcopa	91	pramas-dcopa	84
harbol-dap	90	pramas-phojas	86
dbcopa-dap	94	pramas-vcopa	93
dbcopa-dcopa	83	pramas-vramas	98
dbcopa-varbol	88	varbol-dap	96
dbcopa-vcopa	84	varbol-harbol	91
dcopa-dap	73	vcopa-dap	93
dcopa-varbol	59	vcopa-dcopa	95
phojas-aalburai	93	vramas-dap	75
phojas-aalburas	78	vramas-dbcopa	74
phojas-acopa	98	vramas-phojas	97

donde:

aalburai	= área de albura a la base de la copa (cm ²)
aalburas	= área de albura a la base de la copa (cm ²)
acopa	= área de copa (m ²)
apai	= área del penúltimo anillo a la base del árbol (cm ²)
dap	= diámetro a la altura del pecho (cm)
dbcopa	= diámetro del fuste a la base de la copa (cm)
dcopa	= diámetro de copa (m)
harbol	= altura total del árbol (m)
phojas	= peso del follaje (kg)
pramas	= peso de ramas (kg)
varbol	= volumen del árbol (m ³)
vcopa	= volumen de copa (m ³)
vramas	= volumen de ramas (m ³)

En la sección de la Teoría del Modelo Vascular se comprobó la relación que existe entre las áreas de albura y el peso del follaje; también entre el área del penúltimo anillo de crecimiento y el peso del follaje. El cuadro anterior muestra las relaciones entre estas variables predictivas del peso del follaje y variables de más fácil medición, como el volumen del árbol, el dap, el diámetro a la base de la copa, el diámetro de copa, etc. De esta forma es posible estimar las áreas de albura o el área del penúltimo anillo de crecimiento a partir de variables de fácil medición, sin tener que recurrir a variables cuya medición es destructiva.

Para el peso del follaje se determinaron varias correlaciones con altos coeficientes R (>90%), entre ellas peso follaje - área de copa, peso follaje - diámetro de copa, peso follaje - vramas, peso follaje - peso ramas. Con estas dos últimas relaciones es posible considerar el realizar trabajos de biomasa en la época seca inclusive, en donde el follaje está prácticamente ausente, pudiendo ser estimado a partir del volumen o el peso de las ramas. El peso de ramas, a su vez, se relaciona fuertemente con otras variables como el dap (R= 96%) y el volumen de ramas (R= 98%), entre otras.

Al igual que en teca, en pochote se detectaron fuertes relaciones entre las variables de estructura de copa y las variables de crecimiento que, en primer lugar permiten conocer las dimensiones necesarias de los componentes de la copa para lograr buenos crecimientos y, en segundo lugar, permiten realizar estudios futuros de biomasa mucho más sencillos (en metodología) y obtener la misma información.

6.2.3 Principales modelos para definir las relaciones de composición de la biomasa de copa con el crecimiento del árbol encontrados para *Tectona grandis* y *Bombacopsis quinata*.

A continuación se presenta un resumen de los principales modelos desarrollados para *Tectona grandis* en Costa Rica. Los que se encuentran subrayados fueron utilizados en la simulación de escenarios de crecimiento; los gráficos de residuos, normalidad y ajuste de esos modelos se presentan en los Anexos.

$$\underline{\text{LN (PHOJAS)}} = \underline{-3.228} + \underline{1.827} * \underline{\text{LN (DAP)}} \quad \underline{R^2 = 87\%} \quad \underline{\text{(Ecuación 5)}}$$

$$\underline{\text{PHOJAS}} = \underline{5.402} + \underline{0.121} * \underline{\text{PRAMAS}} \quad \underline{R^2 = 81\%} \quad \underline{\text{(Ecuación 6)}}$$

$$\underline{\text{LN(PHOJAS)}} = \underline{4.375} + \underline{0.671} * \underline{\text{LN(VRAMAS)}} \quad \underline{R^2 = 77\%} \quad \underline{\text{(Ecuación 7)}}$$

$$\underline{\text{PHOJAS}} = \underline{-9.356} + \underline{4.088} * \underline{\text{DCOPA}} \quad \underline{R^2 = 77\%} \quad \underline{\text{(Ecuación 8)}}$$

$$\text{AALBURAI} = -101.194 + 14.017 * \text{DAP} \quad R^2 = 69\% \quad \text{(Ecuación 9)}$$

$$\text{ACOPA} = -14.945 + 1.954 * \text{DAP} \quad R^2 = 54\% \quad \text{(Ecuación 10)}$$

$$\text{HARBOL} = 5.31 + 0.57 * \text{DAP} \quad R^2 = 83\% \quad \text{(Ecuación 11)}$$

$$\underline{\text{DCOPA}} = \underline{0.884} + \underline{0.206} * \underline{\text{DAP}} \quad \underline{R^2 = 72\%} \quad \underline{\text{(Ecuación 12)}}$$

$$\text{LN (DCOPA)} = -0.081 + 0.395 * \text{LN (VCOPA)} \quad R^2 = 95\% \quad \text{(Ecuación 13)}$$

$$\text{DCOPA} = 3.042 + 0.189 * \text{PHOJAS} \quad R^2 = 77\% \quad \text{(Ecuación 14)}$$

$$\underline{\text{DCOPA}} = \underline{-0.178} + \underline{2.456} * \underline{\text{LN (PHOJAS)}} \quad \underline{R^2 = 96\%} \quad \underline{\text{(Ecuación 15)}}$$

$$\text{DBCOPA} = 4.395 + 0.527 * \text{DAP} \quad R^2 = 77\% \quad \text{(Ecuación 16)}$$

$$\text{DBCOPA} = 3.536 + 0.327 * \text{DAP} + 0.972 * \text{DCOPA} \quad R^2 = 82\% \quad \text{(Ecuación 17)}$$

$$\text{LN (PRAMAS)} = -4.355 + 0.769 * \text{LN (DCOPA)} + 2.195 * \text{LN (DAP)} \quad R^2 = 84\% \quad \text{(Ecuación 18)}$$

$$\text{PRAMAS} = 14.074 + 0.520 * \text{VCOPA} \quad R^2 = 82\% \quad \text{(Ecuación 19)}$$

$$\underline{\text{LN}(\text{PRAMAS}) = 0.061 + 0.615 * \text{LN}(\text{PHOJAS})} \quad R^2 = 81\% \quad (\text{Ecuación 20})$$

$$\underline{\text{LN}(\text{PRAMAS}) = 7.059 + 1.093 * \text{LN}(\text{VRAMAS})} \quad R^2 = 96\% \quad (\text{Ecuación 21})$$

$$\text{VCOPA} = -4.067 + 1658.143 * \text{VRAMAS} \quad R^2 = 82\% \quad (\text{Ecuación 22})$$

$$\text{VCOPA} = 10.733 + 1.576 * \text{PRAMAS} \quad R^2 = 80\% \quad (\text{Ecuación 23})$$

(ver descripción de variables en lista de correlaciones, Cuadro 16)

De la misma forma, se desarrollaron una serie de ecuaciones para *Bombacopsis quinata* a partir de las relaciones entre las variables de composición de copa y las variables de crecimiento. Los modelos que se encuentran subrayados fueron utilizados en la simulación de escenarios de crecimiento; los gráficos de residuos, normalidad y ajuste de esos modelos se presentan en los Anexos.

$$\text{LN}(\text{AALBURAI}) = 0.265 + 1.850 * \text{LN}(\text{DAP}) \quad R^2=91\% \quad (\text{Ecuación 24})$$

$$\text{APAI} = -54.034 + 16.411 * \text{DCOPA} \quad R^2= 76\% \quad (\text{Ecuación 25})$$

$$\text{HARBOL} = 4.371 + 0.466 * \text{DAP} \quad R^2= 81\% \quad (\text{Ecuación 26})$$

$$\text{DBCOPA} = 2.014 + 0.630 * \text{DAP} \quad R^2= 88\% \quad (\text{Ecuación 27})$$

$$\text{DCOPA} = 2.260 + 0.156 * \text{DAP} \quad R^2= 53\% \quad (\text{Ecuación 28})$$

$$\underline{\text{DCOPA} = -7.431 + 4.281 * \text{LN}(\text{DAP})} \quad R^2= 97\% \quad (\text{Ecuación 29})$$

$$\underline{\text{ACOPA} = 8.754 + 3.860 * \text{PHOJAS}} \quad R^2= 98\% \quad (\text{Ecuación 30})$$

$$\text{PHOJAS} = -1.880 + 0.247 * \text{ACOPA} \quad R^2= 95\% \quad (\text{Ecuación 31})$$

$$\text{PHOJAS} = -10.295 + 2.629 * \text{DCOPA} \quad R^2= 88\% \quad (\text{Ecuación 32})$$

$$\text{PHOJAS} = -8.585 + 0.600 * \text{DAP} \quad R^2= 66\% \quad (\text{Ecuación 33})$$

$$\underline{\text{PHOJAS} = -41.649 + 15.156 * \text{LN}(\text{DAP})} \quad R^2= 82\% \quad (\text{Ecuación 34})$$

$$\underline{\text{PHOJAS} = -2.945 + 1.225 * (\text{PRAMAS})^{0.5}} \quad R^2= 86\% \quad (\text{Ecuación 35})$$

$$\underline{\text{PHOJAS} = 1.357 + 38.648 * \text{VRAMAS}} \quad R^2= 87\% \quad (\text{Ecuación 36})$$

$$\text{PRAMAS} = -99.298 + 6.510 * \text{DAP} \quad R^2 = 92\% \quad (\text{Ecuación 37})$$

$$\text{PRAMAS} = -4.396 + 688.832 * \text{VRAMAS} \quad R^2 = 97\% \quad (\text{Ecuación 38})$$

$$\text{LN (VARBOL)} = -9.753 + 2.708 * \text{LN (DAP)} \quad R^2 = 98\% \quad (\text{Ecuación 39})$$

Los principales modelos desarrollados son aquellos que relacionan al crecimiento del árbol (dap, área de albura) con la biomasa foliar y estructura de la copa (diámetro, área, volumen). Modelos similares a las Ecuaciones 5, 10, 12, 28, 32 y 33 han sido desarrollados para diversas especies forestales.

La estimación de la biomasa de ramas a partir del dap (Ecuaciones 18 y 37) también ha sido utilizada en otros trabajos. Karmacharya y Singh (1992) desarrollaron un modelo con estas variables utilizando datos de plantaciones de teca entre 4 y 30 años (Cuadro 8) con un coeficiente de determinación $R^2 = 94\%$. Las Ecuaciones 18 (teca) y 37 (pochote) tienen un R^2 de 82% y 92%, respectivamente.

El modelo desarrollado por Suri (1975), por ejemplo, predice el área de copa a partir del dap desarrolló un modelo para predecir el área de copa en teca en Kerala, con un $R^2 = 83\%$; la ecuación desarrollada para teca en el presente estudio tiene un $R^2 = 54\%$, resultando mejor predecir el diámetro de copa a partir del dap ($R^2 = 72\%$). Precisamente el modelo para *Eucalyptus oblicua* desarrollado por Curtin (1970) relaciona el diámetro de copa con el diámetro del fuste a la base de la copa ($R^2 = 94\%$). La utilidad de ecuaciones como estas en el manejo de plantaciones es ejemplificado por Krajicek et al. (1961), quienes desarrollaron un modelo de predicción de una variable llamada "máxima área de copa", que indica el área máxima alcanzable por la copa de un árbol de un diámetro determinado, contándose de esta forma con un criterio más para el manejo de la densidad de una plantación.

Curtin (1970) también desarrolló un modelo que permite determinar cual es el diámetro de copa que se deben poseer los árboles de una plantación con cierto diámetro, altura y número de árboles.

Las ecuaciones para este tipo de predicciones, desarrolladas en el presente estudio, fueron empleadas en los escenarios de crecimiento para comparar el manejo de la densidad de árboles propuesta con la estimada por los modelos como óptima para el buen crecimiento de los árboles.

6.3 *Análisis Fustal*

El estudio de los anillos de crecimiento en árboles dominantes y codominantes permitió llevar a cabo un estudio retrospectivo del crecimiento en la vida de estos y suponer que su comportamiento es un reflejo del promedio de la plantación y de su patrón de desarrollo en el tiempo. La información proveniente de estos análisis fustales fue utilizada en la simulación del crecimiento de una plantación a través de su turno de rotación, incorporando datos de incrementos en diámetro y altura más confiables. Esto permitió conocer la dinámica del desarrollo de los árboles en diferentes sitios y de diferentes edades.

En la Figura 18 se observa el desarrollo de un árbol de teca hasta los 46 años de edad. Es evidente el crecimiento lento desde tempranas edades, principalmente en diámetro. Según indicaciones del propietario, dicha plantación nunca fue manejada, es decir no se le hicieron raleos ni podas en forma apropiada. Con base en el número de árboles actuales en la plantación, se tuvieron que haber cortado algunos o debieron haber muerto. Durante la vida de la plantación siempre existió una alta densidad de árboles.

De esta figura se puede rescatar también que el árbol formó un fuste bastante cilíndrico hasta unos 18.0 m. de altura, quizás debido a la poca formación de ramas por la competencia entre copas.

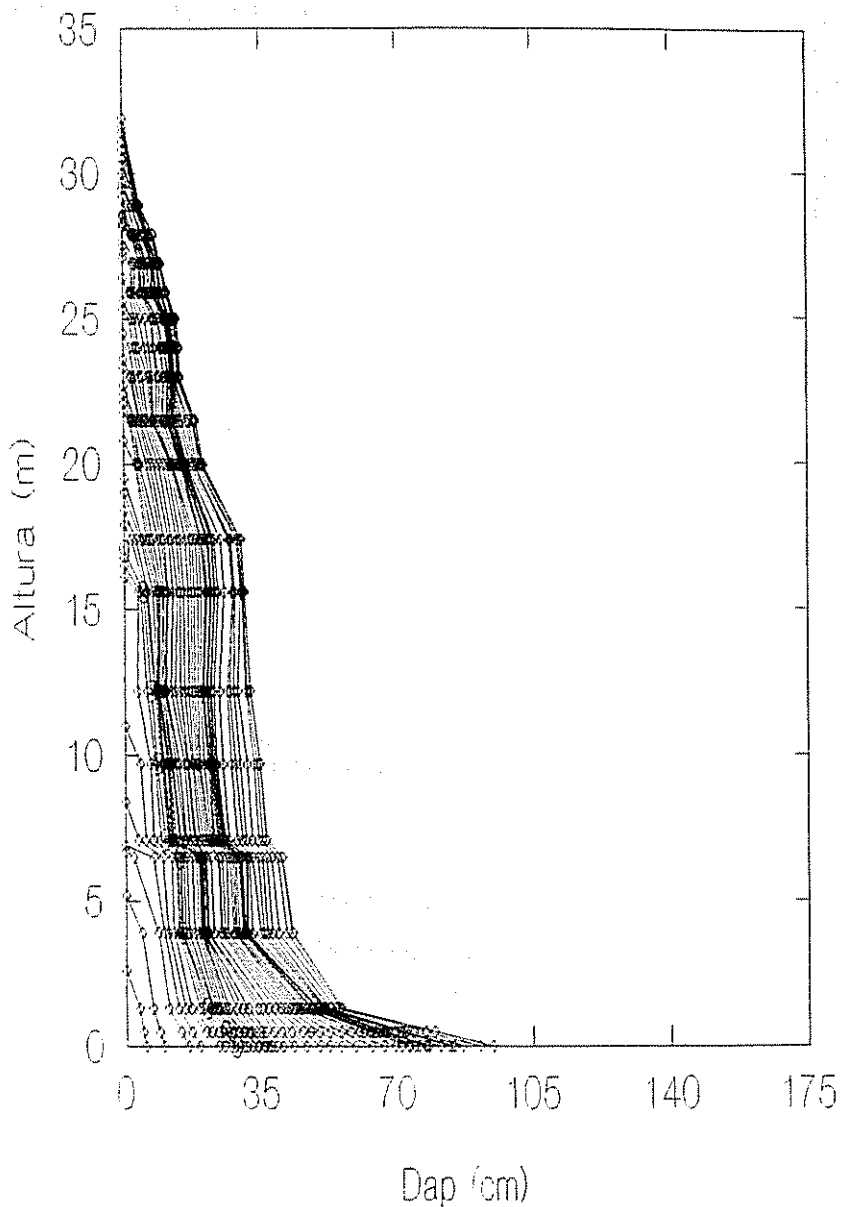


Figura 18. Crecimiento en diámetro (dap) y altura total (altura) de un árbol de *Tectona grandis* de 46 años según el análisis fustal. Parrita, Puntarenas, Costa Rica.

Los crecimientos lentos en diámetro en ciertos períodos, observados en la Figura 18 pueden notarse más claramente en la Figura 19. A partir de los 4 años de edad, este árbol en particular disminuyó considerablemente su crecimiento en diámetro hasta llegar a incrementos corrientes anuales menores a 0.5 cm y a tempranas edades (13 años). Luego se da un mejoramiento en los incrementos

debido a aclareos leves y vuelve a decaer hasta que, a la edad de 40 años, se recupera un poco a causa de la tala de algunos árboles en la plantación.

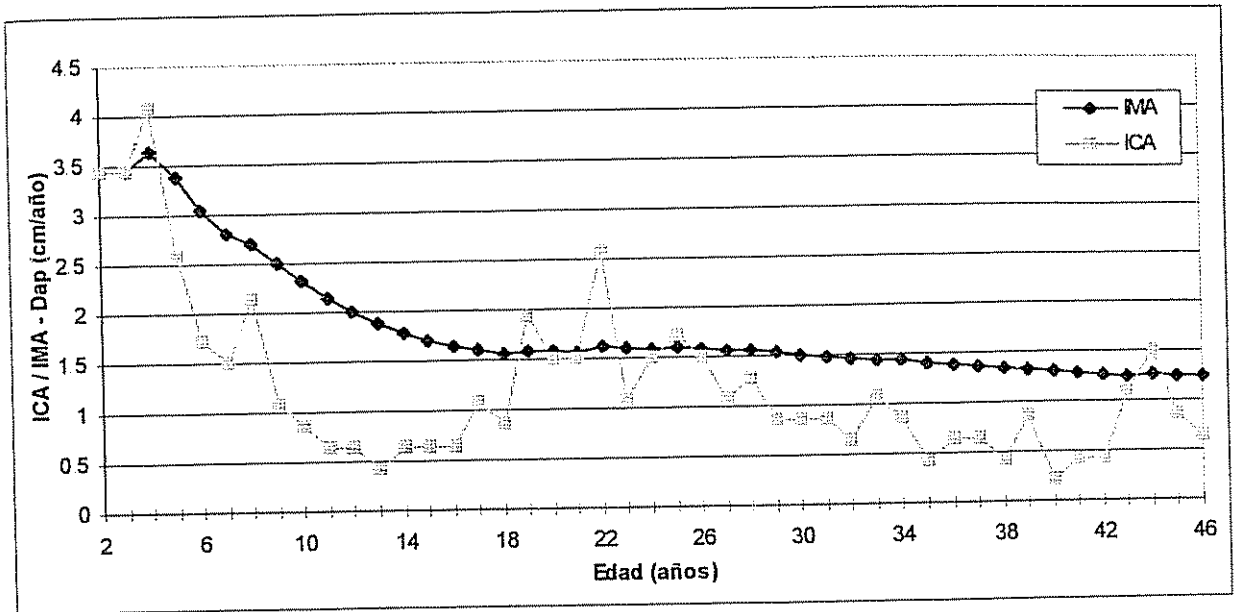


Figura 19. Incremento corriente anual (ICA) e incremento medio anual (IMA) en diámetro (dap) con base en el análisis fustal de un árbol de *Tectona grandis* de 46 años de edad en Parrita, Puntarenas, Costa Rica.

El análisis fustal de este árbol muestra que, con buen manejo (principalmente raleos oportunos), es posible tener un ICA promedio de aproximadamente 2.5 cm a los 22 años de edad y de 1.5 cm a los 44 años.

La Figura 20 muestra el desarrollo de un árbol de teca de 27 años en Buenos Aires de Puntarenas, zona sur de Costa Rica. El patrón de crecimiento es similar al de la teca de 46 años; en la Figura 21 se confirma que los incrementos anuales en dap cayeron a 0.5 cm, con disminuciones considerables a los 3 y a los 10 años. Este árbol proviene de un ensayo de introducción de especies de aproximadamente 0.5 ha, plantado a 2 x 2 m y en el momento de la corta del árbol se encontraba a una densidad de 5 x 5 m (no se conoce el momento de el o los aclareos, pareciendo ser más una entresaca la labor que se realizó en el sitio).

En cuanto a la forma, este árbol presenta mayor conicidad pero con una buena forma hasta unos 17 m de altura (Figura 20).

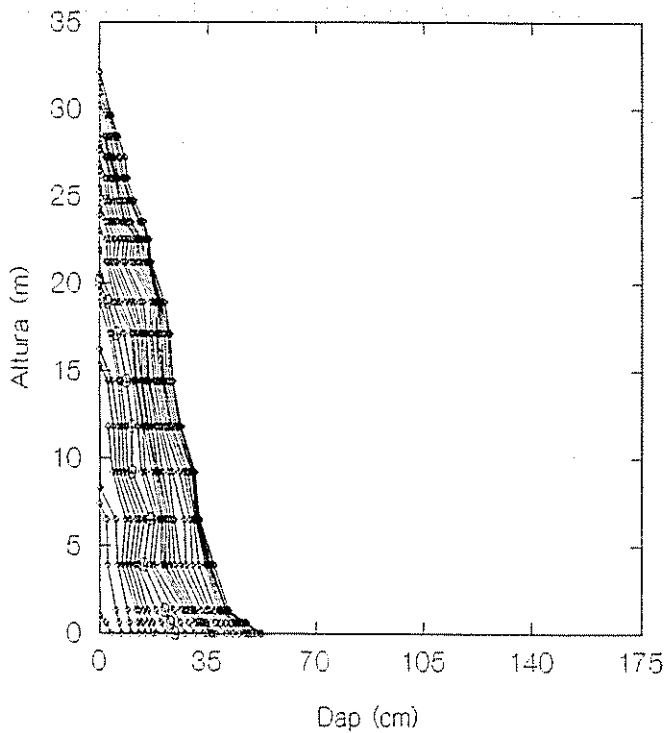


Figura 20. Análisis fustal de un árbol de *Tectona grandis* de 27 años en Buenos Aires, Puntarenas.

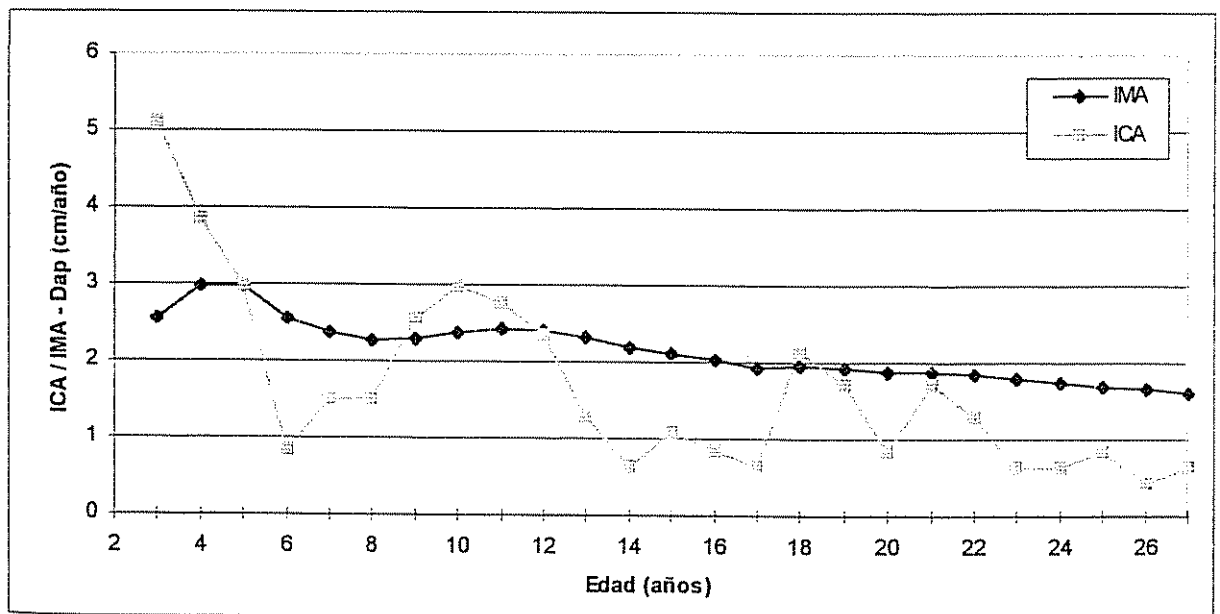


Figura 21. Crecimiento corriente anual (ICA) e incremento medio anual (IMA) en diámetro (dap) con base en el análisis fustal de un árbol de *Tectona grandis* de 27 años de edad en Buenos Aires, Puntarenas, Costa Rica.

Las Figuras 22 y 23 muestran otro análisis fustal en un árbol más joven de la zona de Jicaral, Puntarenas, con un crecimiento medio anual (IMA) aún superior a los 2.5 cm. El incremento corriente anual (ICA) va en disminución, reduciéndose de 4.3 cm en el año 4 a solo 1.5 cm en el año 12, resultado posiblemente de una ausencia de un segundo raleo, el cual se inició hasta el año 12. En la Figura 22 se observa la estrechez de los últimos 4-5 anillos. El árbol presenta una forma cilíndrica hasta los 13 m de altura.

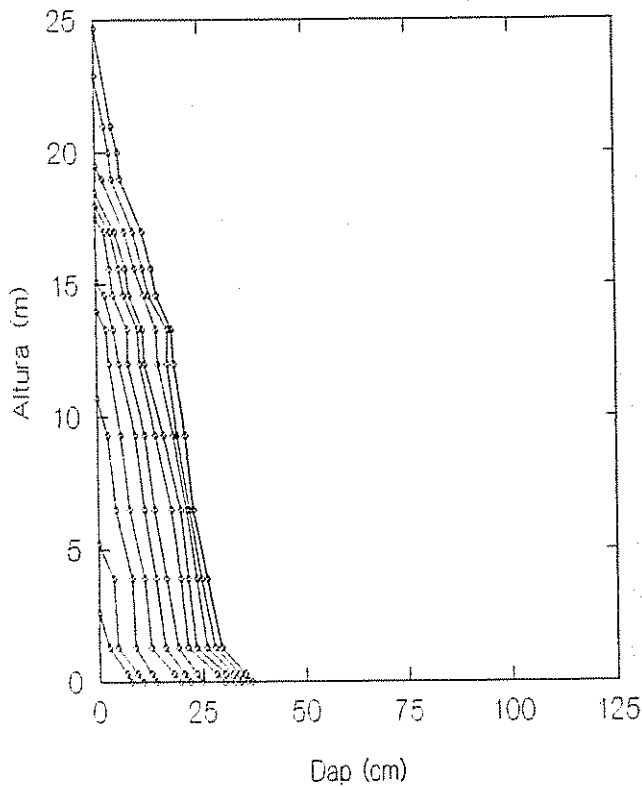


Figura 22. Análisis fustal de un árbol de *Tectona grandis* de 12 años en Jicaral, Puntarenas, Costa Rica.

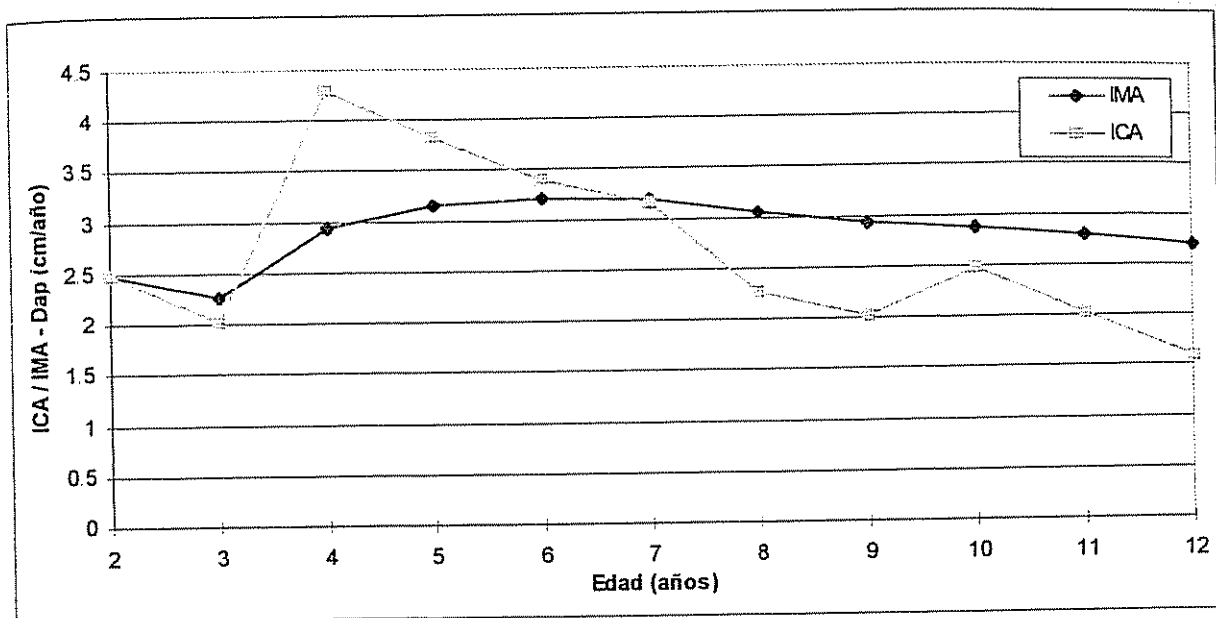


Figura 23. Incremento corriente anual (ICA) e incremento medio anual (IMA) en diámetro (dap) de un árbol de *Tectona grandis* de 12 años de edad en Jicaral, Puntarenas, Costa Rica.

En pochote el análisis fustal fue más complicado debido a que aún en la zona de Guanacaste, en donde se presenta una marcada estación seca, en algunos árboles los anillos no eran continuos, es decir, no completaban su circunferencia. Esto, junto con la aparición de más anillos de los que supuestamente debían haber según la edad de la plantación, trajo a la confusión de si estos eran anillos verdaderos o falsos. En estos casos hubo que descartar dicho análisis.

Las Figuras 24 y 25 son parte de los resultados obtenidos del análisis fustal de un árbol de pochote de 26 años de edad, cosechado en la zona sur de Costa Rica (Buenos Aires de Puntarenas). La Figura 8 muestra variaciones marcadas en el crecimiento anual en diámetro (ICA), pasando de incrementos excelentes de hasta 4.3 cm/año a incrementos bajos de 0.6 cm/año y con un IMA de 1.8 cm/año. Estos bajos ICAs pueden deberse a que el distanciamiento inicial de plantación fue de 2.0 x 2.0 m y el actual de 4.0 x 4.0 m, realizándose entresacas y no raleos formales.

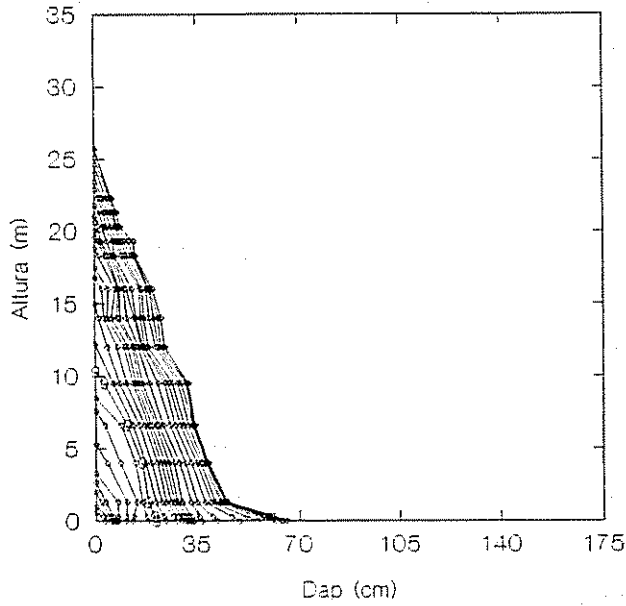


Figura 24. Análisis fustal de un árbol de *Bombacopsis quinata* de 26 años en Buenos Aires, Puntarenas, Costa Rica.

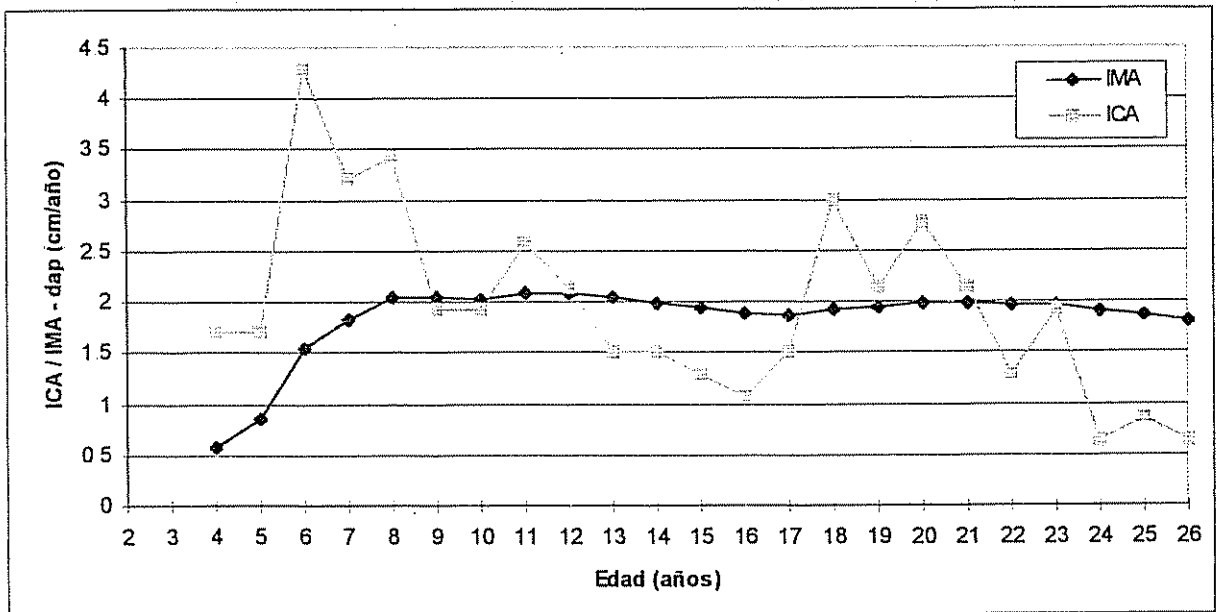


Figura 25. Incremento corriente anual (ICA) e incremento medio anual (IMA) en diámetro (dap) de un árbol de *Bombacopsis quinata* de 26 años de edad en Buenos Aires, Puntarenas, Costa Rica.

6.4 Productividad: Desarrollo de escenarios de crecimiento

Para el planteamiento de escenarios de crecimiento fueron utilizados diferentes modelos de composición y estructura de copa, modelos de crecimiento desarrollados a partir de análisis fustales y de variables a nivel de rodal (área basal, volumen, densidad).

El objetivo de estos escenarios es mostrar posibles desarrollos en términos de crecimiento y productividad de una plantación hasta el turno final de rotación, al aplicar diferentes escenarios de manejo y considerando como objetivo final de producción madera para aserrío. Se definieron escenarios para plantaciones con calidades productivas de sitio diferentes, utilizando como parámetro el área basal. Se analizaron 8 escenarios para cada especie: con áreas basales de 18, 20, 22, y 24 m²/ha y 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 es controlado por las restricciones en términos de área basal máxima.

No se pretende definir como se debe manejar una plantación de teca o pochote, sino más bien de mostrar algunas posibles opciones de manejo y las posibles repercusiones en el desarrollo del rodal, las cuales variarán de un sitio a otro dependiendo de su potencial, de las condiciones climáticas y de los objetivos e intereses propuestos, así como del tipo de producto final y de las dimensiones del mismo.

6.4.1 *Tectona grandis*

Las variables utilizadas en la simulación de los escenarios de crecimiento para teca fueron:

- **Edad (años):** Esta variable fue establecida en intervalos de un año, las demás variables como el diámetro y la altura están en función de la edad.
- **Espaciamento (m):** Se calculó a partir del número de árboles /ha.
- **N-máx. (densidad de plantación máxima posible):** Se utilizó una función del área de copa promedio y el número de árboles en una hectárea. Se consideró que en el momento en que el área de la plantación es ocupada por completo por las áreas de las copas de los árboles se llega a la máxima densidad de plantación. Se presentan dos opciones: una opción (#1) es mediante la Ecuación 12 ($R^2 = 72\%$) que estima el diámetro de copa a partir del dap; a partir del diámetro de copa se estima el área de copa: $DAP \rightarrow DCOPA \rightarrow ACOPA$.

La otra opción (#2) predice el peso del follaje a partir del dap (Ecuación 5, $R^2 = 87\%$), el diámetro de copa a partir del peso del follaje (Ecuación 15, $R^2 = 96\%$) y el área de copa a partir del diámetro de copa (como una elipse, ver metodología): DAP → PHOJAS → DCOPA → ACOPA.

- **Número de árboles iniciales de la plantación:** Se basó en dos densidades, una de 1111 árb./ha y otra de 816 árb./ha. La variación del número de árboles en el tiempo depende directamente de las intensidades de raleo aplicadas.
- **Intensidad de raleo (%):** (número de árboles extraídos/número de árboles antes del raleo) x 100.
- **dap (cm):** Se utilizó la curva de crecimiento en diámetro presentada en la Figura 26, la cual fue elaborada a partir de datos de las parcelas evaluadas en el campo.
- **IMA dap (cm/año):** Se calculó dividiendo el dap entre la edad.
- **Htotal (altura total en metros):** La predice el dap (cm) según la Ecuación 40 hasta los 5 años de edad. El ajuste de la curva sobre los datos de los 6 árboles del análisis fustal se presenta en la Figura 40 de los Anexos.

$$H_{total} = -0.0084 * (dap)^2 + 1.0602 * dap - 0.3425 \quad R^2 = 90\% \quad (\text{Ecuación 40})$$

Después de los 5 años, la altura total es estimada a partir del dap con la Ecuación 11 (ver resumen de modelos de biomasa de copa en teca): $harbol = 5.31 + 0.57 * dap \quad R^2 = 83\%$.

- **IMA Htotal (m/año):** Se calculó dividiendo la altura total entre la edad.
- **AB (área basal en m^2/ha):** Se calculó a partir del dap (cm) y el número de árboles (N) como $AB = \pi/4 * (dap)^2 * N$.
- **AB-extr. (área basal extraída en m^2/ha):** Es la diferencia entre el área basal antes del raleo y el área basal después del raleo, considerando las áreas basales establecidas para cada escenario.
- **AB-extr. (área basal extraída en %):** (área basal extraída/área basal antes del raleo) x 100.
- **AB-reman. (área basal remanente en m^2/ha):** Es la diferencia entre el área basal antes del raleo y el área basal extraída.
- **VOL-reman. (volumen remanente en m^3/ha):** $= \pi/4 * (dap)^2 * H_{total} * 0.45 * N$
- **VOL-ext. (volumen extraído en m^3/ha):** Diferencia entre el volumen antes y el volumen después del raleo.

6.4.1.1 Escenarios de crecimiento

Para los siguientes escenarios de crecimiento de teca se utilizó el crecimiento en diámetro y altura promedio presentado en la Figura 26.

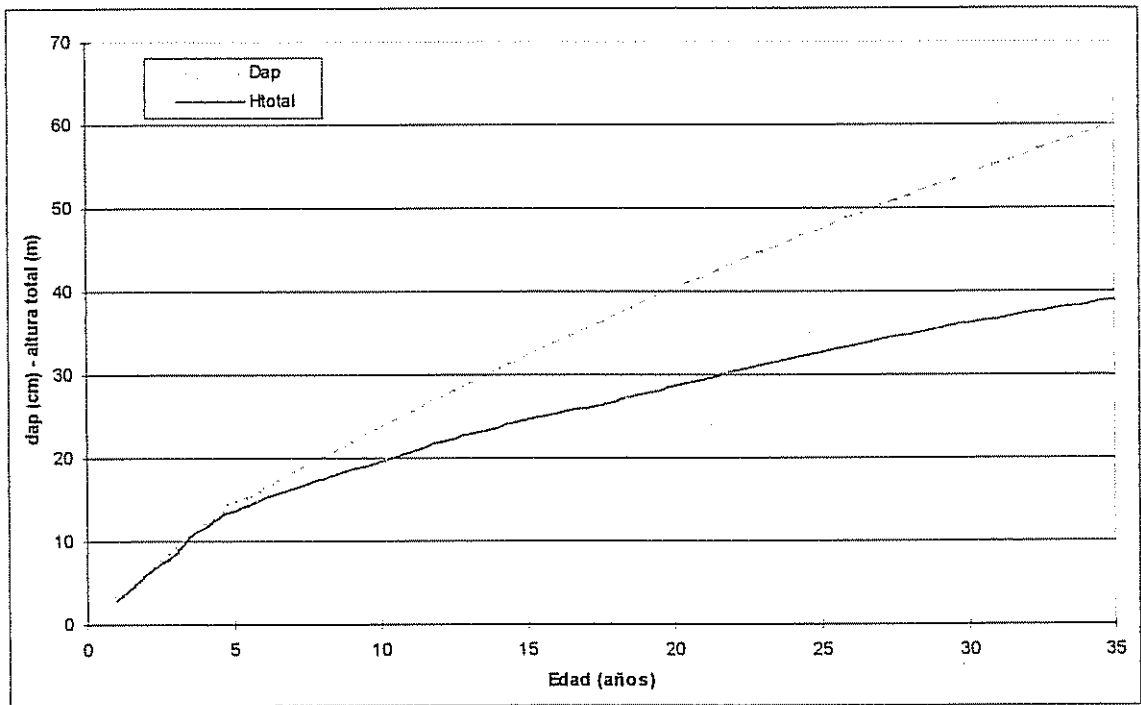


Figura 26. Curvas de crecimiento en diámetro (dap) y altura total promedio utilizadas en los escenarios de crecimiento de *Tectona grandis* en Costa Rica.

6.4.1.1.1 Escenario 1: Manejo del área basal a $18 \text{ m}^2/\text{ha}$ y con una densidad inicial de plantación de 1111 árboles/ha ($3 \times 3 \text{ m}$).

Como se nota en la Figura 27, en este escenario de manejo, el primer raleo se efectúa a los 4 años, ya que se considera necesario aplicar un saneamiento y eliminar los árboles defectuosos. Esta primera intervención se haría en árboles con promedios de 12.1 cm de diámetro y 11.3 m de altura, eliminándose un 50% de los individuos (se reduce a 556 árb./ha), lo que equivale a eliminar un 38% del área basal ($4.9 \text{ m}^2/\text{ha}$).

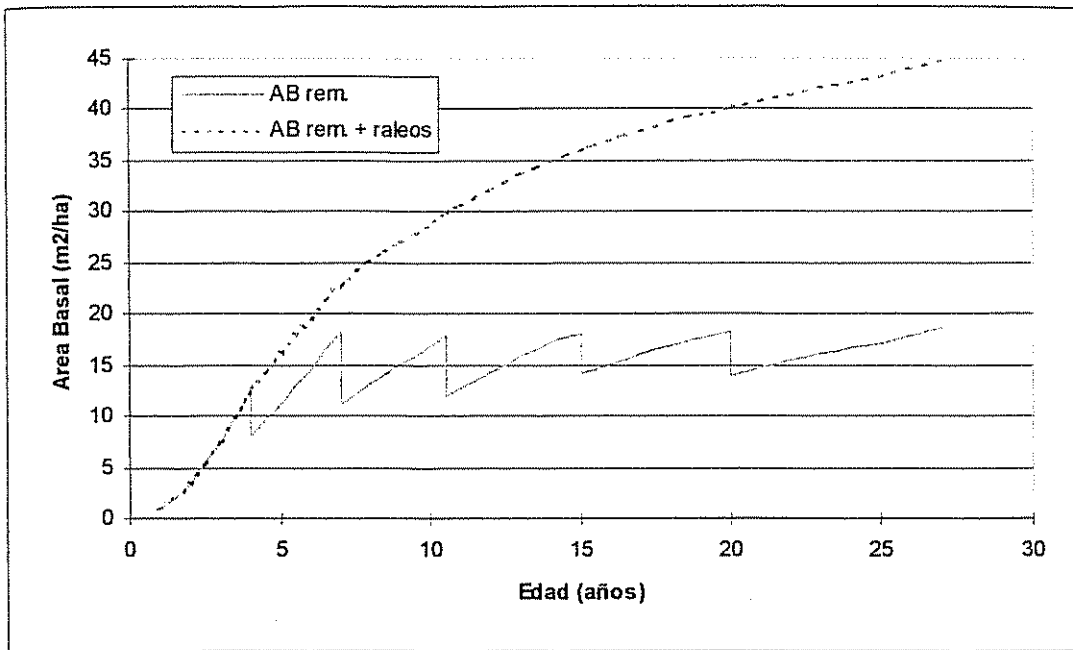


Figura 27. Area basal remanente y remanente más raleos de una plantación de *Tectona grandis* en Costa Rica con un manejo del área basal a $18 \text{ m}^2/\text{ha}$ y partiendo de una densidad de 1111 árboles /ha (escenario 1).

Los siguientes raleos se realizan siguiendo como criterio la capacidad del sitio en términos de área basal, en este caso 18 m^2 . Una segunda intervención a los 8 años, una tercera a los 11 años, una cuarta a los 16 años y la última a los 20 años permiten reducir entre 4.0 y $7.1 \text{ m}^2/\text{ha}$ en cada oportunidad y llegar a un turno final a los 26 años con un área basal de $18.7 \text{ m}^2/\text{ha}$. Para entonces se contará con 109 árboles remanentes/ha, con un diámetro promedio de 46.8 cm y una altura total de 32 m, lo que equivale a un volumen total remanente de $269.4 \text{ m}^3/\text{ha}$, un volumen total extraído de $215.9 \text{ m}^3/\text{ha}$ y un volumen total acumulado de $485.3 \text{ m}^3/\text{ha}$ en la corta final (Figura 28, Cuadro 18).

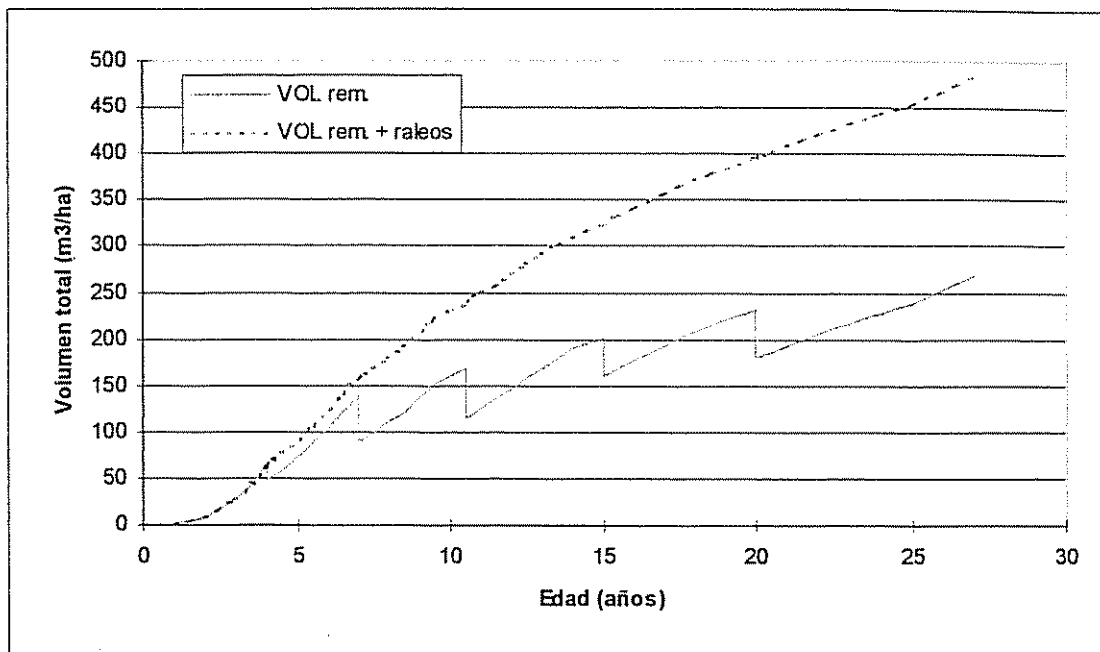


Figura 28. Volumen total remanente y remanente más raleos de una plantación de *Tectona grandis* en Costa Rica con un manejo del área basal a $18 \text{ m}^2/\text{ha}$ y partiendo de una densidad de 1111 árboles/ha (escenario 1).

La densidad de árboles durante el turno de rotación (N) se asemejó a la densidad máxima posible (N-max), estimada a partir del área de ocupación de copas (Cuadro 5, Anexos). Por lo tanto, bajo este escenario de crecimiento no se da una competencia fuerte entre árboles.

En los Anexos (Cuadro 5) se presentan las variables de crecimiento, productividad y estimación de máxima ocupación de sitio para el Escenario 1.

6.4.1.1.2 Escenario 2: Manejo del área basal a $18 \text{ m}^2/\text{ha}$ y con una densidad inicial de plantación de 816 árboles/ha ($3.5 \times 3.5 \text{ m}$).

Al reducir la densidad inicial a 816 árboles /ha, el turno final, las dimensiones de los árboles y la productividad prácticamente no cambian (en relación al Escenario 1), lo que si disminuye es el número de raleos (1 raleo menos) y las épocas, siendo en este caso a los 5 años el primero (saneamiento), 9 años el segundo, 13 años el tercero y el último a los 19 años, para un turno final a los 25 años (Cuadro 6, Anexos).

Con esta densidad de plantación es posible disminuir los costos de plantación y de manejo, además de cosecharse árboles de mayor tamaño en los raleos. Sin embargo, debe considerarse otros aspectos del manejo como el control de las malezas y la ejecución de las podas, que, al aumentar el espacio entre árboles, deben controlarse con mayor intensidad y frecuencia.

6.4.1.1.3 Escenario 3: Manejo del área basal a $20 \text{ m}^2/\text{ha}$ y con una densidad inicial de plantación de 1111 árboles/ha ($3.0 \times 3.0 \text{ m}$).

Como Escenario 3 se plantea un rodal con una densidad inicial de 1111 árboles/ha, reducido a 556 árboles/ha en el primer raleo de saneamiento a los 4 años y llevado a una densidad final de 103 árboles/ha a los 28 años mediante 4 raleos consecutivos de 45, 40, 25 y 25% de intensidad a los 8, 12, 18 y 23 años; manteniendo como límite los $20 \text{ m}^2/\text{ha}$ preestablecidos (Figura 29; Cuadro 7, Anexos).

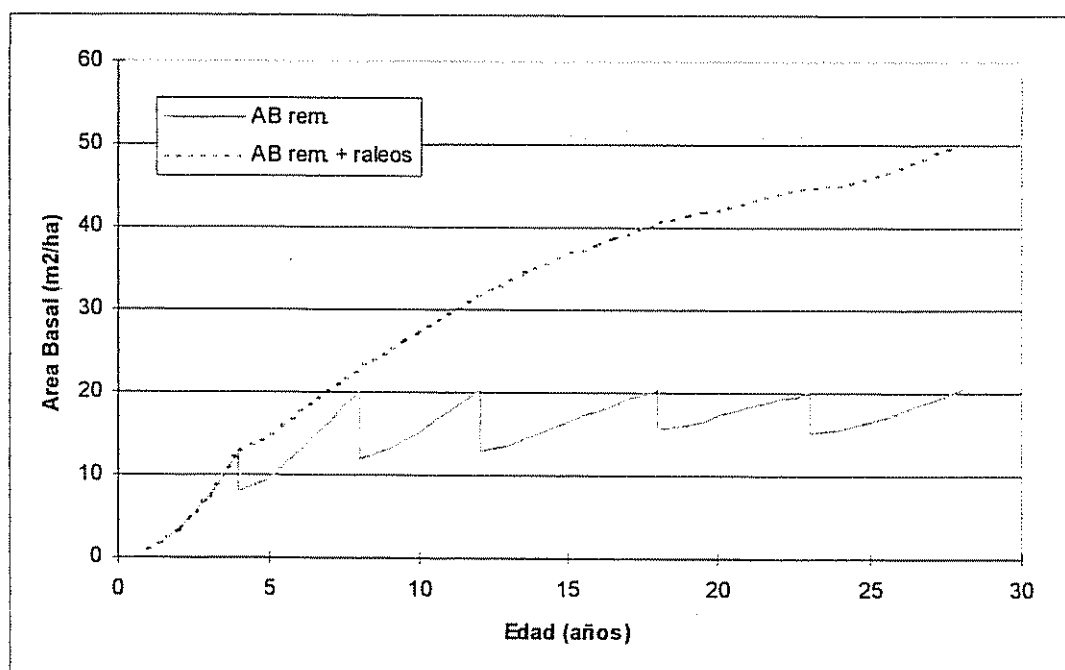


Figura 29. Área Basal remanente y remanente más raleos de una plantación de *Tectona grandis* en Costa Rica con un manejo del área basal a $20 \text{ m}^2/\text{ha}$ y partiendo de una densidad de 1111 árboles/ha (escenario 3).

El diámetro promedio de los árboles será de 50.4 cm y la altura de 34.0 m, para una volumen total remanente de $315.1 \text{ m}^3/\text{ha}$ al turno de corta y un volumen total acumulado de $579.9 \text{ m}^3/\text{ha}$ (Figura 30).

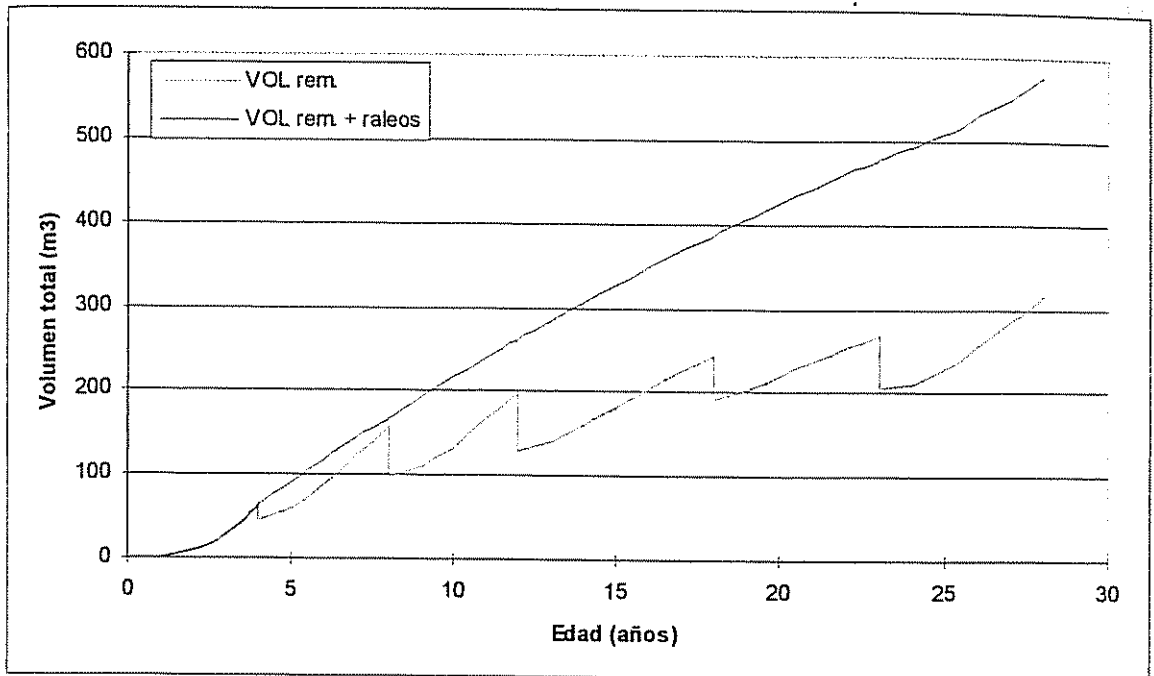


Figura 30. Volumen remanente y remanente más raleos de una plantación de *Tectona grandis* en Costa Rica con un manejo del área basal a $20 \text{ m}^2/\text{ha}$ y partiendo de una densidad de 1111 árboles/ha (escenario 3).

6.4.1.1.4 Escenario 4: Manejo del área basal a $20 \text{ m}^2/\text{ha}$ y con una densidad inicial de plantación de 816 árboles/ha ($3.5 \times 3.5 \text{ m}$).

Al aumentar el distanciamiento de plantación a $3.5 \times 3.5 \text{ m}$ se modificaron las dimensiones y número de árboles en cada raleo, así como las dimensiones al turno final (Cuadro 8, Anexos). Se aplica un primer raleo de saneamiento (se extrae un 45% de los árboles, 5.0 m^2 de área basal) a los 5 años (en el escenario anterior fue a los 4 años); los sucesivos raleos para reducir el área basal al llegar a los $20 \text{ m}^2/\text{ha}$ fueron a los 10, 14, 19 y 25 años, eliminando 7.8 , 6.0 , 4.6 y $4.8 \text{ m}^2/\text{ha}$, respectivamente. Se llega a un turno final de 29 años con 97 árboles con diámetros de 51.3 cm y alturas de 34.6 m , para un volumen total remanente de $311.5 \text{ m}^3/\text{ha}$ ($584.2 \text{ m}^3/\text{ha}$, remanente más raleos). Las diferencias entre ambos escenarios es mínima, siendo quizás la diferencia nuevamente la menor cantidad de individuos de mayor volumen que son extraídos en cada raleo y al turno final.

Las ventajas de utilizar una u otra densidad inicial de plantación se reflejan en los costos/beneficios del manejo de la plantación y en los productos de los raleos, para llegar al final del turno final de rotación con similar cantidad y dimensiones de árboles (Cuadro 18).

6.4.1.1.5 Escenario 5: Manejo del área basal a 22 m²/ha y con una densidad inicial de plantación de 1111 árboles/ha (3.0 x 3.0 m).

En sitios con capacidad productiva de mediana a alta, es posible manejar áreas basales superiores a los 20 m²/ha. Este es el caso del Escenario 5, en donde la plantación es llevada a 22 m²/ha y reducida a áreas basales entre 13 y 17 m²/ha en cada raleo (Figura 31).

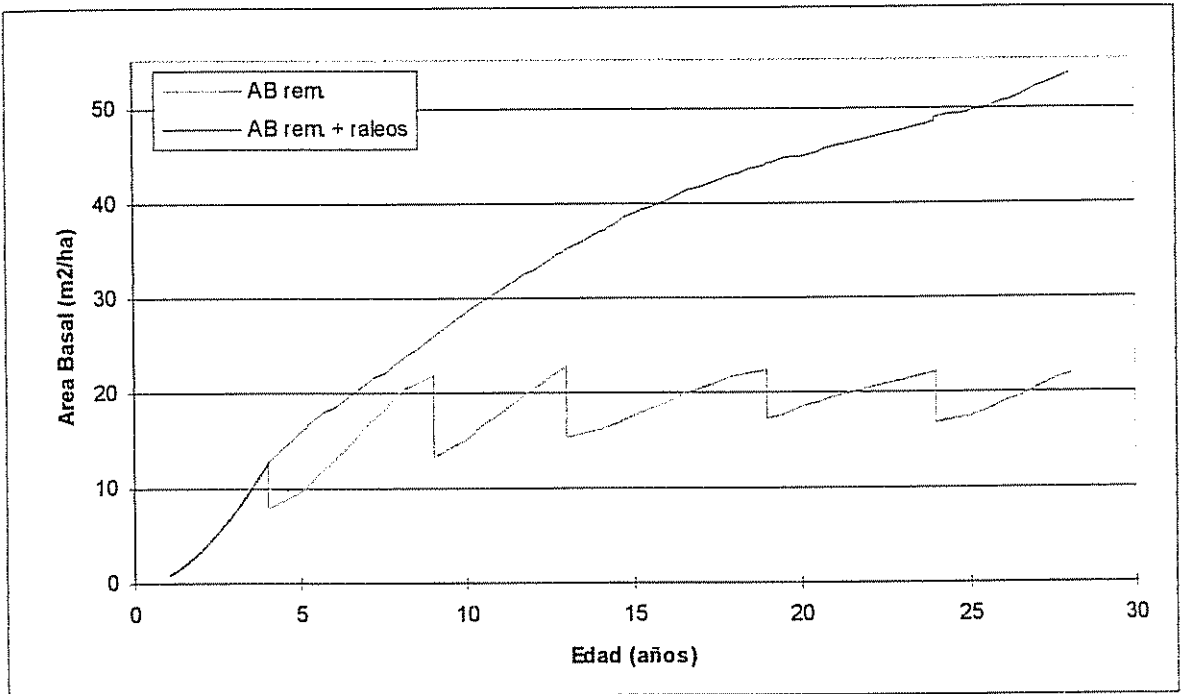


Figura 31. Area basal remanente y remanente más raleos de una plantación de *Tectona grandis* en Costa Rica con un manejo del área basal a 22 m²/ha y partiendo de una densidad de 1111 árboles/ha (escenario 5).

En este escenario se logra llegar a un turno de 28 años con diámetros y densidades finales similares a los escenarios 3 y 4 (20 m²/ha). Para una capacidad de sitio de 22 m²/ha, podría esperarse obtener 110 árboles/ha con diámetros de 50.4 cm, para un volumen total remanente de 336.0 m³/ha y un volumen total remanente más volumen extraído en raleos de 627.6 (Figura 32, Cuadro 9, Anexos).

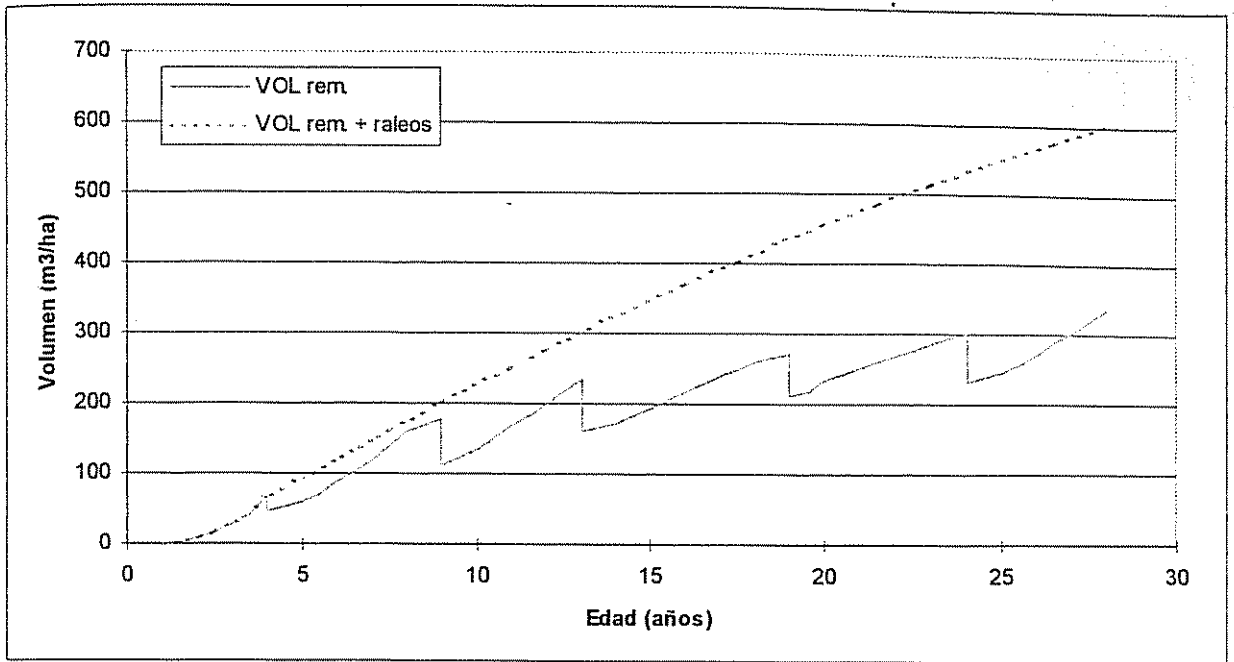


Figura 32. Volumen total remanente y acumulado de una plantación de *Tectona grandis* en Costa Rica con un manejo del área basal a 22 m²/ha y partiendo de una densidad de 1111 árboles/ha (escenario 5).

6.4.1.1.6 Escenario 6: Manejo del área basal a 22 m²/ha y con una densidad inicial de plantación de 816 árboles/ha (3.5 x 3.5 m).

Al disminuir el número de árboles /ha de 1111 a 816 fue posible reducir la cantidad de los aclareos de cinco intervenciones a solo cuatro. Se estima un turno final de 28 años con 111 árboles/ha de diámetros cercanos a los 50.4 cm (Cuadro 10, Anexos). La producción final en este caso sería de 340.7 m³/ha, produciéndose con lo extraído en los raleos un total de 595.9 m³/ha.

En sitios de alta capacidad productiva es posible manejar una plantación con áreas basales de hasta 25 m²/ha (CATIE, 1991). Los Escenarios 7 y 8, presentados a continuación, se construyeron con base en un área basal máxima de 24 m²/ha, tratando de asemejar a los sitios promedios con buen potencial productivo del país.

6.4.1.1.7 Escenario 7: Manejo del área basal a $24 \text{ m}^2/\text{ha}$ y con una densidad inicial de plantación de 1111 árboles/ha ($3.0 \times 3.0 \text{ m}$).

Para este escenario se establecieron 5 raleos con intensidades de 25 a 50% (en término de número de árboles extraídos), lo que equivale a reducir $7.8 \text{ m}^2/\text{ha}$ en el primer raleo de saneamiento a los 5 años y a 4 raleos consecutivos de 8.6, 7.1, 5.5 y $5.8 \text{ m}^2/\text{ha}$ a los 9, 13, 18 y 23 años (Figura 33).

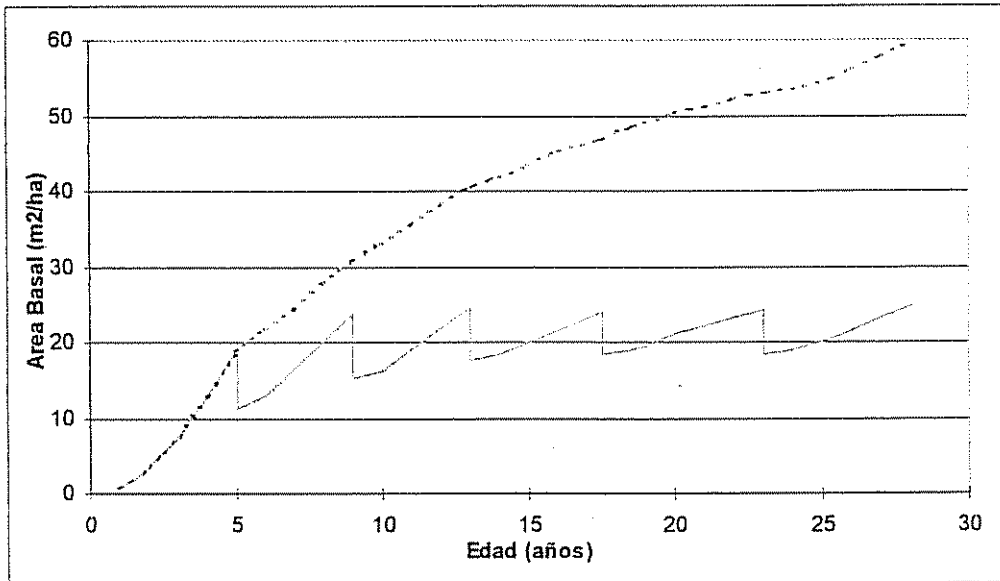


Figura 33. Área basal remanente y remanente más raleos de una plantación de *Tectona grandis* en Costa Rica con un manejo del área basal a $24 \text{ m}^2/\text{ha}$ y partiendo de una densidad de 1111 árboles/ha (escenario 7).

El turno final está proyectado para los 28 años, con 125 árboles/ha con diámetros promedio de 50.4 cm y alturas de 34.0 m, lo que equivaldría a $381.8 \text{ m}^3/\text{ha}$, para un total acumulado de $703.7 \text{ m}^3/\text{ha}$ (Figura 34; Cuadro 11, Anexos).

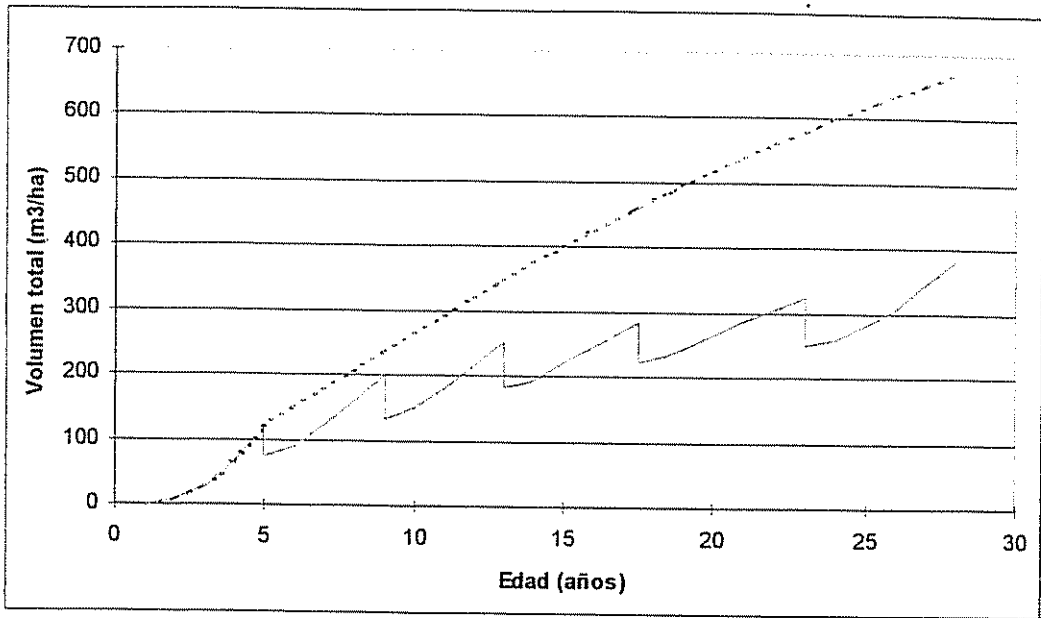


Figura 34. Volumen total remanente y remanente más raleos de una plantación de *Tectona grandis* en Costa Rica con un manejo del área basal a $24 \text{ m}^2/\text{ha}$ y partiendo de una densidad de 1111 árboles /ha (escenario 7).

Bajo las intensidades y los momentos de ejecución de los aclareos del Escenario 7, se mantiene la densidad de árboles/ha entre los límites de máxima densidad estimados a partir del área de ocupación de copas, lo que indica que la plantación no es sometida en ningún momento a fuertes estados de competencia (Cuadro 11, Anexos).

6.4.1.1.8 Escenario 8: Manejo del área basal a $24 \text{ m}^2/\text{ha}$ y con una densidad inicial de plantación de 816 árboles/ha ($3.5 \times 3.5 \text{ m}$).

En este escenario se aplicaron cinco raleos. En cada raleo se eliminó entre un 30 y un 50% de los árboles, lo que equivale a extraer entre 5.7 y $8.6 \text{ m}^3/\text{ha}$. El turno final se estaría alcanzando a los 28 años con aproximadamente 122 árboles/ha de 50.4 cm de diámetro (Cuadro 12, Anexos).

El volumen producido sería de $372.7 \text{ m}^3/\text{ha}$; contando el volumen extraído en los raleos llegaría a $639.3 \text{ m}^3/\text{ha}$.

Es importante considerar siempre varias opciones, ya que las condiciones bajo las cuales se maneja una plantación usualmente varía significativamente de un sitio a otro. Por ejemplo, en sitios afectados por fuertes vientos no sería recomendable aplicar aclareos de intensidades tan altas como

40% ó 50%, debido a lo expuestos que quedan los árboles remanentes, por lo que opciones de manejo con más intervenciones de menor intensidad son requeridas y pueden ofrecer la posibilidad crecer los árboles con base en especificaciones de dimensiones del producto deseado con mayor rentabilidad. El Cuadro 18 contiene el resumen de los escenarios de crecimiento.

Cuadro 18. Resumen del rendimiento de plantaciones de *Tectona grandis* en Costa Rica bajo diferentes escenarios de crecimiento y manejo silvicultural.

Escenario	Edad	Raleos	N	Intens	Dap	H total	AB	AB-ext	AB-ext	Vol total	Vol total	Vol total	IMA	
AB Arb/ha	(años)			raleo (%)	(cm)	(m)	(m ² /ha)	(m ² /ha)	(%)	(m ³ /ha)	(m ³ /ha)	rem + ext. (m ³ /ha)	Vol rem (m ³ /ha)	
18m2	1111	4	1	556	50	13.5	13.0	8.0	4.9	50	46.6	18.6	65.2	16.3
		8	2	308	45	21.5	17.5	11.2	7.1	45	88.0	51.6	139.6	18.6
		11	3	193	37	28.1	21.3	12.0	5.9	37	115.2	52.5	167.7	15.3
		16	4	145	25	35.1	25.3	14.1	4.0	25	160.2	42.1	202.3	13.1
		20	5	109	25	40.5	28.4	14.0	4.2	25	179.7	51.1	230.8	11.5
		26	Turno final	109	—	46.8	32.0	18.7	—	—	269.4	—	485.3	10.4
18m2	816	5	1	431	47	16.0	14.4	8.7	5.3	38	56.3	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	10.2
20m2	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	11.3
20m2	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
22m2	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	110	—	50.4	34.0	21.9	—	—	336.0	—	627.6	12.0
22m2	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	12.2
24m2	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
		28	Turno final	125	—	50.4	34.0	24.9	—	—	381.8	—	703.7	13.6
24m2	816	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	—	—	372.7	—	639.3	13.3

Nota: las variables están definidas al principio del capítulo (sección 6.4.1).

Es importante recordar que estos escenarios son solo posibles opciones de manejo de una plantación. Las mediciones de las parcelas establecidas en el campo y los árboles aprovechados (Cuadros 1 y 3, Anexos) permitieron controlar si alguno de los escenarios presentaba proyecciones poco probables o del todo erróneas, en relación a los crecimientos reales de la especie en Costa Rica.

La mayor densidad de plantación al turno final que se obtuvo en los escenarios es de 125 árboles/ha con un diámetro promedio de 50.4 cm. El experimento FI023 (plantación de 46 años con muy poco manejo, zona de Parrita) contiene 156 árboles/ha con un diámetro de 42.6 cm., lo cual indica que es posible, mediante un manejo intensivo, alcanzar un diámetro final de 50.4 cm con 125 árboles/ha al turno final. Por otro lado, el experimento FI035 (ensayo de introducción de especies, Buenos Aires), a una edad de 27 años, tenía 357 árboles/ha con diámetros de 41.5 cm, aunque se considera fuera de lo normal en relación a los demás sitios. La máxima densidad de plantación, estimada a partir de los modelos desarrollados con las variables de composición de biomasa de copa y de crecimiento, son otro criterio empleado para validar el manejo del número de árboles en el tiempo. En todos los escenarios propuestos, las densidades de las plantaciones después de cada raleo y al turno final son menores a los límites sugeridos por los modelos, por lo que se considera que la cantidad y dimensiones de los árboles esperados en los turnos finales son posibles de alcanzar.

El máximo diámetro propuesto por los escenarios fue de 50.4 cm; la parcela del experimento FI023, a los 46 años, tenía un dap promedio de 42.0 cm (esto sin un adecuado manejo), encontrándose diámetros de hasta 58.7 cm dentro de la plantación. En la lista de árboles aprovechados (Cuadro 3, Anexos) se puede observar como, individuos con tan solo 20 años de edad han alcanzado diámetros de 40.7 cm y otros, a los 27 años, diámetros de 50.0 cm.

Áreas basales entre 18 y 24 m², utilizadas en los escenarios, son valores normales según las plantaciones evaluadas en el campo. El experimento FI023, a los 46 años de edad, tiene un área basal de 22.2 m², ubicándose dentro del rango utilizado en los escenarios. Así mismo, los volúmenes remanentes al turno final de rotación con los que se trabajó en el desarrollo de los escenarios no superaron los 400 m³/ha y en la base de datos del sistema MIRA se tienen parcelas con volúmenes de 400 m³/ha.

Vásquez y Ugalde (1995) indican que la teca en sitios de mediana producción en Costa Rica puede manejarse con áreas basales entre 15 y 20 m²/ha, mientras que para sitios de alta producción el manejo puede basarse en áreas basales superiores a los 20 m²/ha.

En Costa Rica se han reportado productividades entre $6 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{año}$ y $12 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{año}$ en plantaciones de teca a edades entre los 20 y 27 años (Rojas, 1981). Los escenarios del presente estudio indican que la productividad a los 30 años varía entre $10.2 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{año}$ y $13.6 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{año}$, excluyendo los volúmenes extraídos en los raleos. Evans y Wood (1994) citan un incremento medio anual (IMA) en volumen de $12 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{año}$ en Kilombero, Tanzania. Vallejos (1996) encontró una productividad promedio de plantaciones de teca en Costa Rica menores de 16 años de $15.0 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{año}$, mientras que Vásquez y Ugalde (1995) reportan un IMA en volumen entre 15 y $20 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{año}$ para sitios medios y más de $20 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{año}$ para sitios de calidad alta. A edades menores a los 16 años de edad, los escenarios desarrollados presentan productividades entre los 13 y $24 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{año}$ (Figura 35), similar a lo encontrado por Vásquez y Ugalde (1996) para teca en Guanacaste, Costa Rica.

Centeno (1997) indica que mediante un manejo intensivo de la teca en Mato Grosso (Brasil), la empresa Cáceres Florestal S.A. logró una productividad de $10 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{año}$ a un turno de 25 años y sugiere que las plantaciones de teca en la región tropical de América producen entre 3 y $10 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{año}$ en turnos de 20 a 30 años. Dupuy y Verhaegen (1993) citan una productividad al turno de rotación de 3.4 a $11.5 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{año}$ para las plantaciones de teca en Costa de Marfil, quedando la productividad que se sugieren los escenarios de crecimiento desarrollados para teca en Costa Rica dentro de los sitios de mediana a alta calidad (Figura 35).

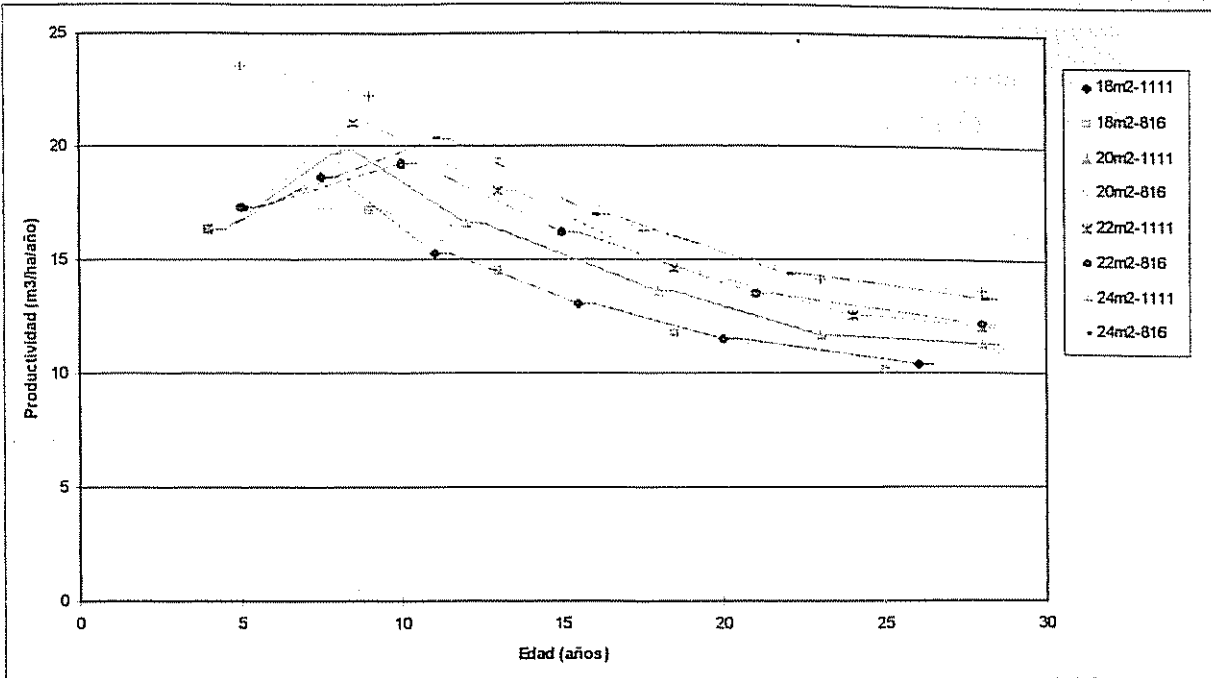


Figura 35. Productividad de los escenarios de crecimiento desarrollados para *Tectona grandis* en Costa Rica.

Según Centeno (1997), el potencial de rendimiento de las plantaciones de teca en la región tropical de América puede llegar a $500 \text{ m}^3/\text{ha}$ en 30 años en sitios de muy buena calidad, mientras que en sitios de baja calidad es posible alcanzar los $200 \text{ m}^3/\text{ha}$ en el mismo período. Dentro de las plantaciones evaluadas en el presente estudio, destacando que no tuvieron un buen manejo en términos de frecuencia e intensidad de raleos, se tienen registros de volúmenes cercanos a los $400 \text{ m}^3/\text{ha}$ alrededor de los 20 años y una de las plantaciones más viejas del país (47 años) y sin manejo, presentó un volumen total de $316 \text{ m}^3/\text{ha}$.

Los escenarios desarrollados para teca en Costa Rica mostraron volúmenes entre $254 \text{ m}^3/\text{ha}$ y $382 \text{ m}^3/\text{ha}$, quedando dentro del intervalo sugerido por Centeno (1997) para plantaciones con buen crecimiento.

En cuanto a las estrategias de manejo presentadas en los escenarios, Centeno (1997) considera conveniente manejar las plantaciones de teca dejándolas desarrollarse hasta $20\text{-}22 \text{ m}^2/\text{ha}$, reduciéndolas en cada raleo hasta $13\text{-}15 \text{ m}^2/\text{ha}$. Este régimen de manejo coincide con los escenarios definidos en este estudio (escenarios 3, 4, 5 y 6), mientras que en los escenarios 1 y 2 se llevó el área basal de $18 \text{ m}^2/\text{ha}$ a $11\text{-}12 \text{ m}^2/\text{ha}$ y en los escenarios 7 y 8 se redujo de $24 \text{ m}^2/\text{ha}$ a $15\text{-}16 \text{ m}^2/\text{ha}$.

Torres (1982), propone un sistema de raleos para teca en Venezuela partiendo de una densidad de 1000 árboles/ha, manejando un área basal máxima de 24 m²/ha y reduciéndola a 17 m²/ha, esto en sitios calidad I. En sitios calidad dos recomienda reducir el área basal de 24 m²/ha a 15 m²/ha.

Como se mencionó anteriormente, en los escenarios manejados a un área basal máxima de 24 m²/ha (escenarios 7 y 8), el área basal es reducida a 15-16 m²/ha, quedando dentro de los valores definidos por Torres (1982).

Entre las propuestas de manejo que se citan en la literatura, cabe rescatar el régimen de manejo para teca propuesto por Dupuy y Verhaegen (1993) en Costa de Marfil, el cual tiene cierta concordancia con los resultados obtenidos en el presente estudio.

Dupuy y Verhaegen (1993) presentan varios escenarios de crecimiento según clases de fertilidad, con un número de raleos que varían de 4 a 6 y turnos de rotación de 37 a 68 años (Cuadro 4, sección 4.1.1.3). Una de las opciones de manejo en sitios de alta calidad es llevar una masa forestal de 1450 árboles/ha iniciales a un turno de rotación de 27 años con 115 árboles/ha con un diámetro promedio de 49.9 cm mediante la aplicación de 5 raleos consecutivos a los 3, 6, 10, 15 y 20 años. En realidad se plantea un turno de 37 años, pero si se considera el último raleo como la corta final se asemeja más a la mayoría de los escenarios desarrollados para la teca en Costa Rica.

Los escenarios 5, 6, 7 y 8 son los que más se asemejan al escenario propuesto por Dupuy y Verhaegen (1993) para sitios de calidad media a alta, con turnos finales de 28 años, densidades finales de 110 a 122 árboles/ha y diámetros de 50.4 cm.

Los experimentos 025FI y 026FI fueron evaluados en siete, teniendo mediciones entre los 4.2 años y los 12.5 años (Cuadro 1, Anexos). En el primero se registraron dos disminuciones en área basal, correspondientes a dos raleos practicados, en donde se pasó de 22.5 m²/ha a 17.5 m²/ha, logrando recuperar los 5.0 m²/ha extraídos en menos de dos años. En el segundo se registraron dos aclareos drásticos, eliminándose 12 m²/ha en cada caso; sin embargo, tres años después del primer raleo el área basal recuperó 18.5 m²/ha, pasando de 18 m²/ha a 36.5 m²/ha a los 8.3 años de edad. La máxima cantidad de área basal extraída en la simulación de escenarios de crecimiento fue de 8.8 m²/ha, pretendiendo recuperarla en un lapso de seis años, lo cual parece estar dentro de rangos aceptables de crecimiento para teca en Costa Rica.

El escenario de crecimiento más productivo fue el manejado a un área basal máxima de 24 m²/ha y llevado a un turno final de 28 años. El escenario menos productivo fue el escenario 2 (18 m²/ha, 816 árboles/ha) con 10.2 m³/ha/año al turno final de 25 años

En cuanto al volumen aprovechado al turno final, los volúmenes más altos los presentaron los escenarios 7 y 8, manejados a un área basal de 24 m²/ha con 1111 y 816 árboles/ha iniciales para volúmenes de 381.8 y 372.7 m³/ha/año, respectivamente. En general, el volumen aumentó al incrementar el área basal máxima a manejar, produciendo más volumen en la corta final los escenarios con densidades iniciales de 1111 árboles/ha.

Para los escenarios de crecimiento se estableció el turno final de rotación al alcanzar el límite de área basal máxima fijada, sin embargo en cada escenario se dejó un margen de algunos años más (2 o 3 años), considerando que no siempre será necesario aprovechar una plantación exactamente al alcanzar el área basal máxima del sitio, pudiendo mantenerse en pie por cierto tiempo más y ganar un poco más de volumen

En Costa Rica existen plantaciones jóvenes con crecimientos mayores y menores a los empleados en los escenarios. Por tal razón se decidió desarrollar 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 con muy alto crecimiento. De la misma forma se desarrolló 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.

En el escenario 9 (Cuadro 13, Anexos) el IMA en dap y altura total es reducido en 20 y 10%, respectivamente. Como es de esperarse, para poder alcanzar las mismas dimensiones que se estimaron para el escenario sin reducción de IMA, el turno final debe ser extendido de 28 a 36 años.

En el escenario 10 (Cuadro 14, Anexos), el aumento en 20 y 10% en el IMA en dap y altura total respectivamente, el turno final se alcanza a los 27 años. Si bien la reducción en el tiempo hasta el turno final es de solo un año, se alcanzan mayores dimensiones en los árboles. El diámetro promedio esperado al turno de corta es de 57.2 cm, con una densidad de 96 árboles/ha.

6.4.2 *Bombacopsis quinata*

Las variables utilizadas en los escenarios de pochote fueron las mismas que se utilizaron para las simulaciones de crecimiento en teca, sustituyendo las ecuaciones de teca por las desarrolladas para pochote:

- **Edad (años):** se utilizaron los datos promedio de parcelas, desde los 2 años de edad hasta los 23 años (Cuadro 2, Anexos). El modelo desarrollado fue:

$$\text{Edad} = 0.8911 + 0.2454 * \text{dap} + 0.0006 * (\text{dap})^2 \quad R^2 = 79\% \quad (\text{Ecuación 41})$$

La línea de mejor ajuste se presenta en la Figura 43 (Anexos).

- **Espaciamiento:** de igual forma que en teca.
- **N-máx. :** de igual forma que en teca. Las opción #1 predice el diámetro de copa a partir del dap (Ecuación 29, $R^2 = 97\%$) y a partir del diámetro de copa se estima el área de copa (ecuación de elipse, ver metodología): DAP → DCOPA → ACOPA.
La opción #2 predice el peso del follaje a partir del dap (Ecuación 34, $R^2 = 82\%$) y el área de copa a partir del peso del follaje (Ecuación 30, $R^2 = 98\%$): DAP → PHOJAS → ACOPA.
- **Número de árboles iniciales de la plantación:** de igual forma que en teca.
- **Intensidad de raleo (%):** de igual forma que en teca.
- **dap (cm):** de igual forma que en teca.
- **IMA dap (cm/año):** se calculó dividiendo el dap entre la edad.
- **Htotal (altura total en metros):** Se estimó a partir del dap, utilizando datos de las parcelas de medición para desarrollar el siguiente modelo:

$$\text{Htotal} = 0.6832 * \text{dap} - 0.7735 \quad R^2 = 91\% \quad (\text{Ecuación 42})$$

El ajuste de la curva sobre los datos de campo se presenta en la Figura 44 (Anexos).

- IMA Htotal (m/año): de igual forma que en teca.
- AB (área basal en m²/ha): de igual forma que en teca.
- AB-extr. (área basal extraída en m²/ha): de igual forma que en teca.
- AB-extr. (área basal extraída en %): de igual forma que en teca.
- AB-reman. (área basal remanente en m²/ha): de igual forma que en teca.
- VOL-reman. (volumen remanente en m³/ha): $\pi/4 \times (\text{dap})^2 \times \text{htotal} \times 0.40 \times N$
- VOL-ext. (volumen extraído en m³/ha): de igual forma que en teca.

6.4.2.1 Escenarios de crecimiento

Para los siguientes escenarios de crecimiento de pochote se utilizó el crecimiento en diámetro y altura promedio según las Ecuaciones 41 y 42, obteniéndose las curvas presentas en la Figura 36.

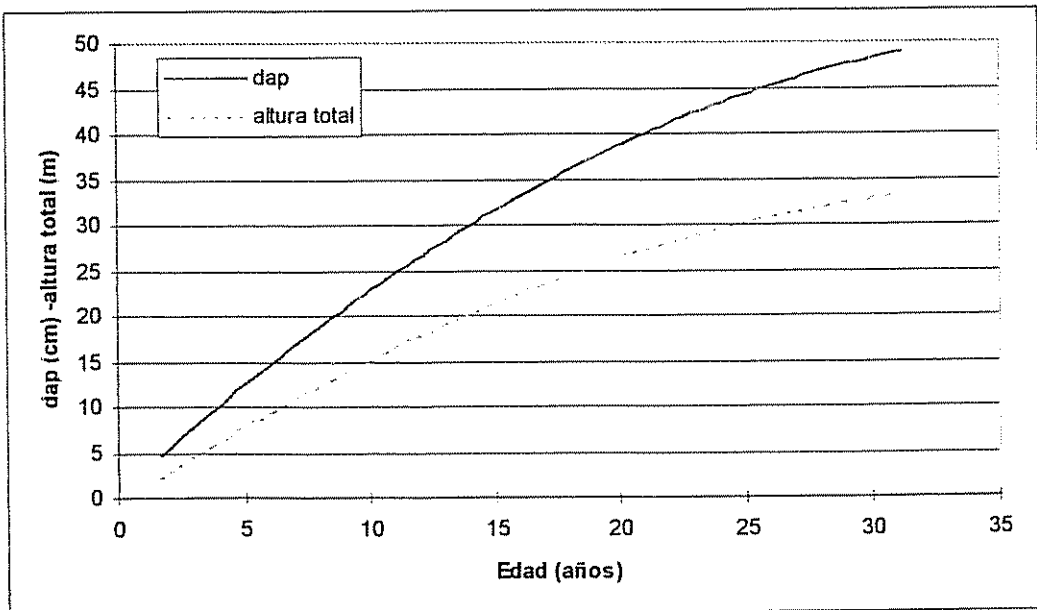


Figura 36. Curvas de crecimiento en diámetro (dap) y altura total promedio utilizadas en los escenarios de crecimiento de *Bombacopsis quinata* en Costa Rica.

6.4.2.1.1 Escenario 1: Manejo del área basal a 18 m²/ha y con una densidad inicial de plantación de 1111 árboles/ha (3 x 3 m).

Bajo este escenario de manejo (Figura 37), considerado representativo para sitios de calidad baja, el primer raleo es efectuado entre los 3 y 4 años, con el fin de aplicar un saneamiento y eliminar los árboles defectuosos. Esta primera intervención se haría con árboles de 9.0 cm de diámetro y 5.4 m de altura, eliminándose un 45% de los individuos (se reduce a 614 árboles/ha), lo que equivale a eliminar un 30% del área basal (1.7 m²/ha).

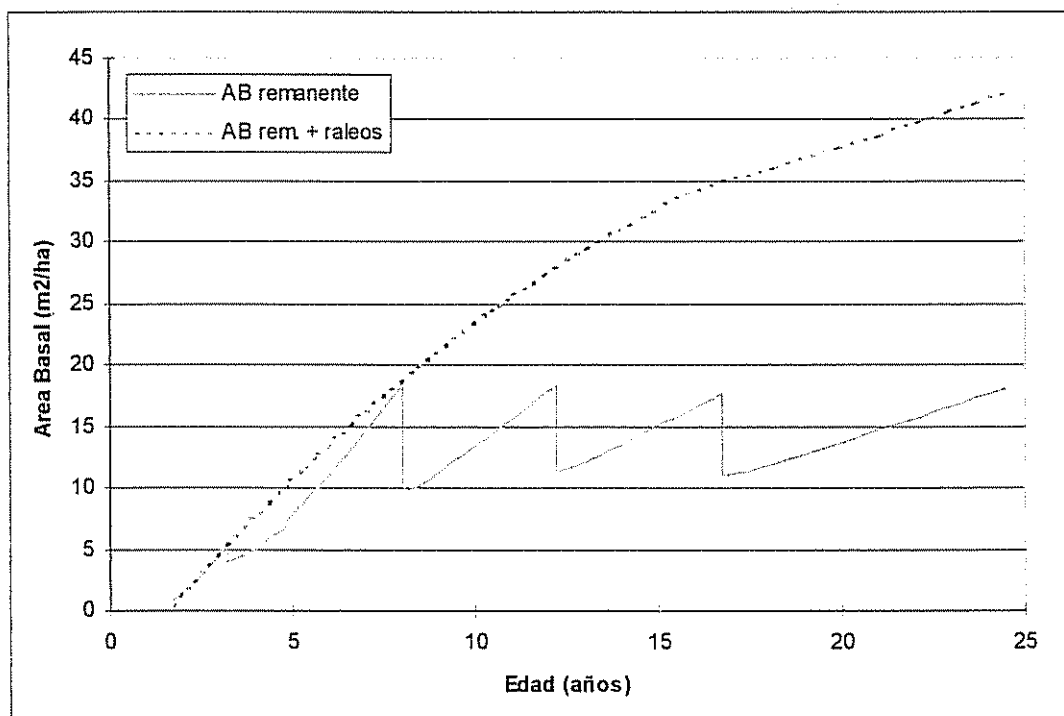


Figura 37. Área basal remanente y remanente más raleos de una plantación de *Bombacopsis quinata* en Costa Rica con un manejo del área basal a 18 m²/ha y partiendo de una densidad de 1111 árboles/ha (escenario 1).

Los siguientes raleos se realizan siguiendo como criterio la capacidad del sitio en términos de área basal, en este caso 18 m². Una intervención a los 8 años, otra a los 12 y la última a los 17 años permiten reducir entre 7.0 y 8.5 m²/ha en cada oportunidad y llegar a un turno final a los 24 años con un área basal de 18.1 m²/ha; para entonces se contará con 112 árboles remanentes, con un diámetro promedio de 45.5 cm y una altura total de 30.3 m, lo que equivale a un volumen total de 220.0 m³/ha en la corta final y un volumen total remanente más volumen raleado de 371.9 m³/ha (Figura 38).

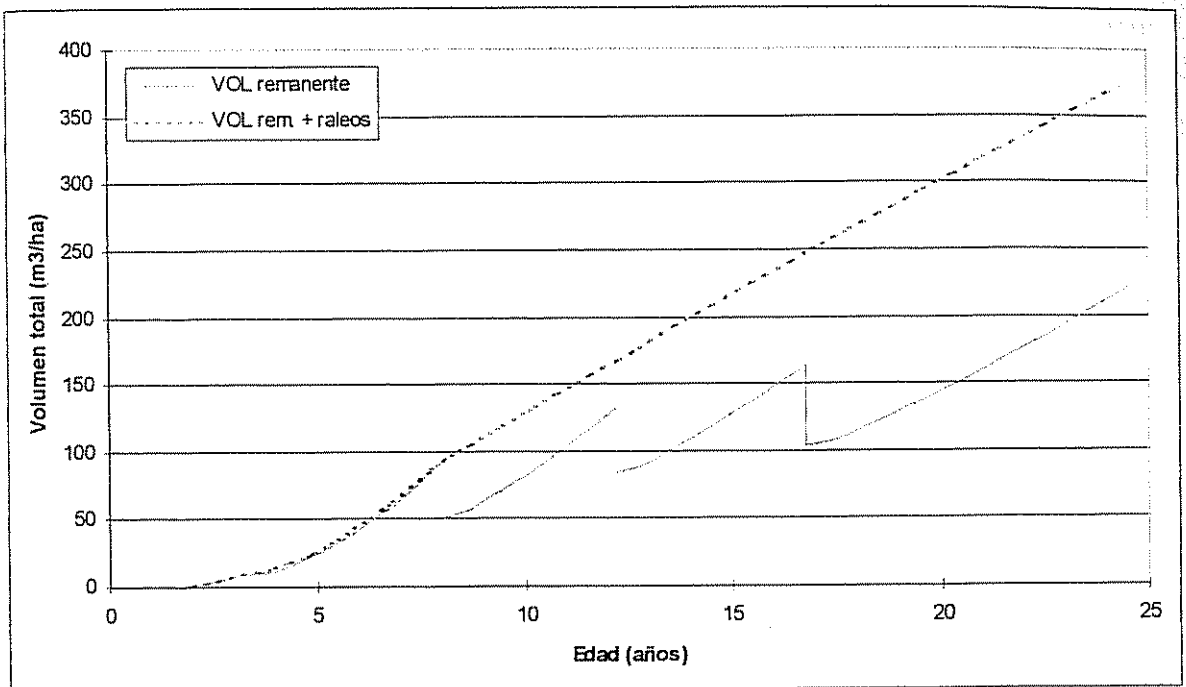


Figura 38. Volumen total remanente y remanente más raleos de una plantación de *Bombacopsis quinata* en Costa Rica con un manejo del área basal a $18 \text{ m}^2/\text{ha}$ y partiendo de una densidad de 1111 árboles/ha (escenario 1).

La densidad de árboles durante el turno de rotación se asemejó a la densidad máxima posible, estimada a partir del área de ocupación de copas (Cuadro 15, Anexos). Por lo tanto, bajo este escenario de crecimiento no hay competencia fuerte entre árboles que ocasione disminuciones en el crecimiento.

En los Anexos (Cuadro 15) se presentan las variables de crecimiento, productividad y estimación de máxima ocupación de sitio para el Escenario 1.

6.4.2.1.2 Escenario 2: Manejo del área basal a $18 \text{ m}^2/\text{ha}$ y con una densidad inicial de plantación de 816 árboles/ha ($3.5 \times 3.5 \text{ m}$).

Al reducir la densidad inicial a 816 árboles /ha, la edad al turno final, las dimensiones de los árboles y la productividad prácticamente no cambian (en relación al Escenario 1). Se presenta una leve variación en las edades en donde se deben ejecutar los raleos, atrasándose las actividades de manejo y el turno final entre 1 y 2 años (Cuadro 16, Anexos).

Con esta densidad de plantación es posible disminuir los costos de plantación y de manejo, además de obtenerse productos de mayor volumen en los raleos. Sin embargo, debe considerarse otros aspectos del manejo como el control de las malezas y la ejecución de las podas, que, con mayor razón en pochote que en teca, al aumentar el espacio entre árboles, la aparición de una gran cantidad de ramas gruesas en el fuste y la proliferación de malezas y arbustos deben controlarse con mayor intensidad y frecuencia.

6.4.2.1.3 Escenario 3: Manejo del área basal a 20 m²/ha y con una densidad inicial de plantación de 1111 árboles /ha (3 x 3 m).

Como Escenario 3 se plantea un rodal con una densidad inicial de 1111 árboles/ha, reducido a 614 árboles/ha en el primer raleo de saneamiento a los 3-4 años de edad y llevado a una densidad final de 122 árboles/ha a los 25 años mediante un raleo de 45% y dos de 40% de intensidad a los 8-9, 12 y 17-18 años; manteniendo como límite los 20 m²/ha preestablecidos (Figura 39; Cuadro 17, Anexos).

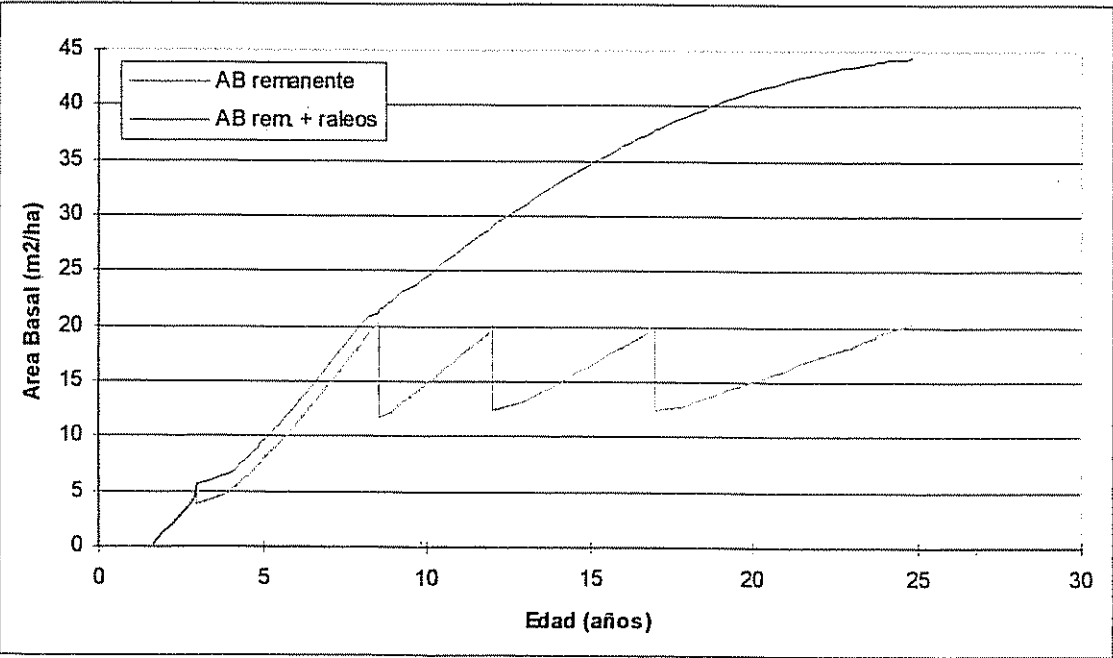


Figura 39. Area Basal remanente y remanente más raleos de una plantación de *Bombacopsis quinata* en Costa Rica con un manejo del área basal a 20 m²/ha y partiendo de una densidad de 1111 árboles/ha (escenario 3).

El diámetro promedio de los árboles será de 46.0 cm y la altura de 30.7 m, para una volumen total de 249.5 m³/ha al turno de corta y un volumen total remanente más volumen raleado de 418.6 m³/ha (Figura 40).

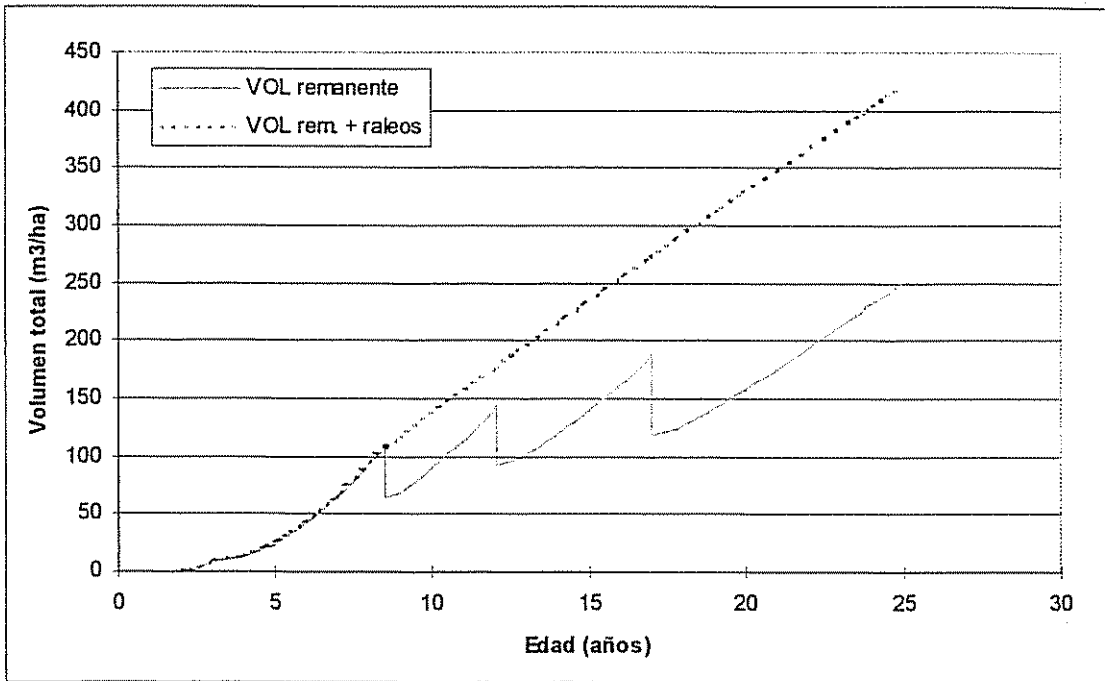


Figura 40. Volumen total remanente y remanente más raleos de una plantación de *Bombacopsis quinata* en Costa Rica con un manejo del área basal a 20 m²/ha y partiendo de una densidad de 1111 árboles/ha (escenario 3).

6.4.2.1.4 Escenario 4: Manejo del área basal a 20 m²/ha y con una densidad inicial de plantación de 816 árboles/ha (3.5 x 3.5 m).

Al disminuir el número de árboles /ha de 1111 a 816 se logra retardar los raleos de 1 a 3 años, extraer menos árboles de mayores dimensiones y llegar al turno final a una edad similar al Escenario 3, con aproximadamente la misma cantidad de árboles y dimensiones (Cuadro 18, Anexos). La producción final en este caso sería de 252.92 m³/ha, produciéndose junto con lo extraído en los raleos un total de 425.9 m³/ha, prácticamente los mismos volúmenes esperados en el escenario anterior.

6.4.2.1.5 Escenario 5: Manejo del área basal a 22 m²/ha y con una densidad inicial de plantación de 1111 árboles/ha (3.0 x 3.0 m).

En sitios con capacidad productiva de mediana a alta, es posible manejar áreas basales superiores a los 20 m². En el Escenario 5, la plantación es llevada a 22 m²/ha y reducida a áreas basales entre 12.7 m²/ha y 13.8 m²/ha en cada raleo, exceptuando el primer raleo de saneamiento, en donde se redujo de 10.6 m²/ha a 7.5 m²/ha (Figura 41).

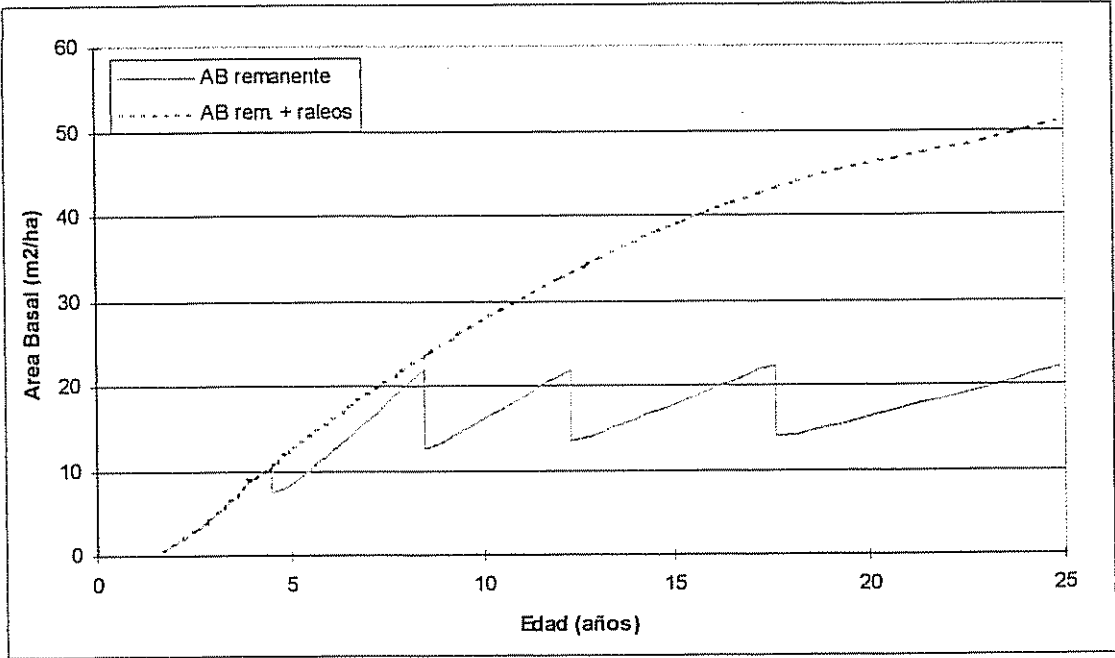


Figura 41. Area Basal remanente y remanente más raleos de una plantación de *Bombacopsis quinata* en Costa Rica con un manejo del área basal a 22 m²/ha y partiendo de una densidad de 1111 árboles/ha (escenario 5).

En este escenario se llega a un turno de 25 años con diámetros similares a los otros escenarios (18 y 20 m²), la diferencia radica en el número de árboles con esos diámetros que puede soportar el sitio. Para una capacidad de sitio de 22 m²/ha, podría esperarse obtener 132 árboles/ha con diámetros de 46.0 cm, para un volumen total remanente de 269.3 m³/ha (Figura 42; Cuadro 19, Anexos).

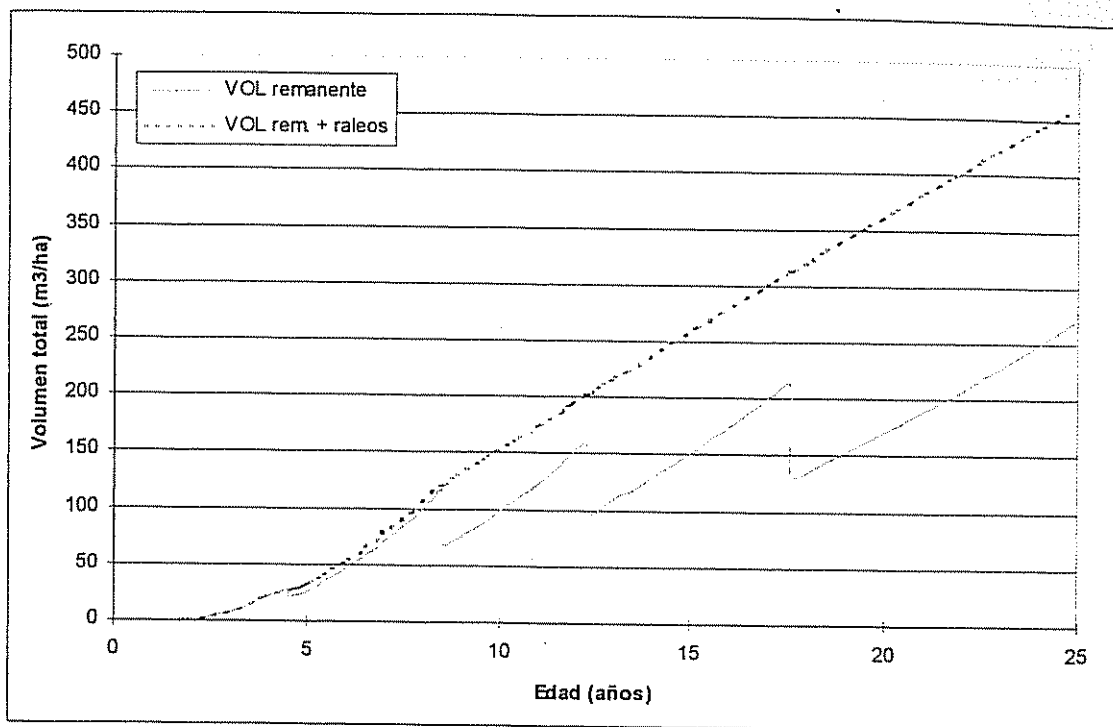


Figura 42. Volumen total remanente y acumulado de una plantación de *Bombacopsis quinata* en Costa Rica con un control del área basal a $22 \text{ m}^2/\text{ha}$ y partiendo de una densidad de 1111 árboles/ha (escenario 5).

6.4.2.1.6 Escenario 6: Manejo del área basal a $22 \text{ m}^2/\text{ha}$ y con una densidad inicial de plantación de 816 árboles/ha ($3.5 \times 3.5 \text{ m}$).

Según la simulación del escenario de crecimiento con un manejo del área basal de $22 \text{ m}^2/\text{ha}$ y partiendo de 816 árboles/ha, es posible prologar los raleos y la corta final unos 3 años, aumentando las dimensiones de los árboles extraídos en cada intervención. De esta forma se estaría cosechando a los 28 años 112 árboles/ha con 50.0 cm de diámetro y 33.4 m de altura, para un volumen de $292.5 \text{ m}^3/\text{ha}$. La producción incluyendo lo extraído en los raleos sería de $503.1 \text{ m}^3/\text{ha}$.

En sitios de alta capacidad productiva es posible manejar una plantación con áreas basales de hasta $25 \text{ m}^2/\text{ha}$ (CATIE, 1991). Los Escenarios 7 y 8, presentados a continuación, se construyeron con base en un área basal máxima de $24 \text{ m}^2/\text{ha}$, tratando de asemejar a los sitios de mejor potencial productivo del país.

6.4.2.1.7 Escenario 7: Manejo del área basal a 24 m²/ha y con una densidad inicial de plantación de 1111 árboles/ha (3.0 x 3.0 m).

Para este escenario se simularon 2 raleos con intensidades de 45% y otros dos con intensidades de 40% (en término de número de árboles extraídos), lo que equivale a eliminar 3.6 m²/ha en el primer raleo de saneamiento a los 4-5 años y a 3 raleos consecutivos de 9-10 m²/ha a los 9-10 años, a los 14 años y a los 20 años (Figura 43).

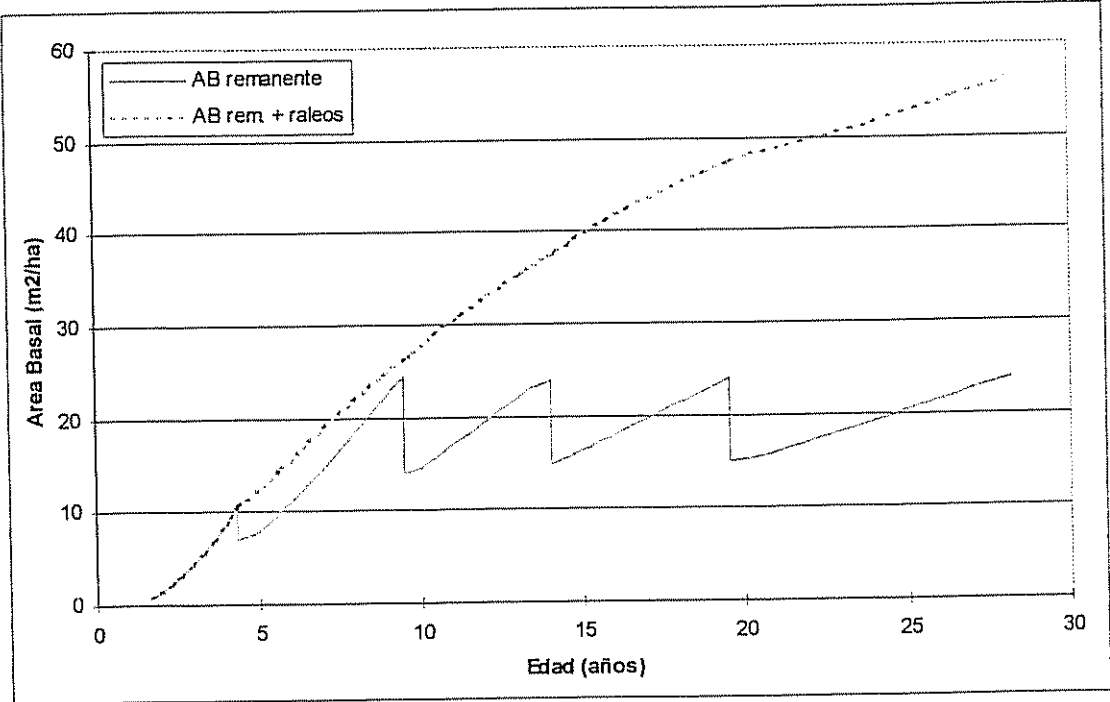


Figura 43. Area Basal remanente y acumulada de una plantación de *Bombacopsis quinata* en Costa Rica con un manejo del área basal a 24 m²/ha y partiendo de una densidad de 1111 árboles/ha (escenario 7).

El turno final está proyectado para los 28 años, con 122 árboles /ha con diámetros promedio de 50.0 cm y alturas de 33.4 m, lo que equivaldría a 319.5 m³/ha, para un total de volumen remanente más volumen raleado de 548.8 m³/ha (Figura 44; Cuadro 21, Anexos).

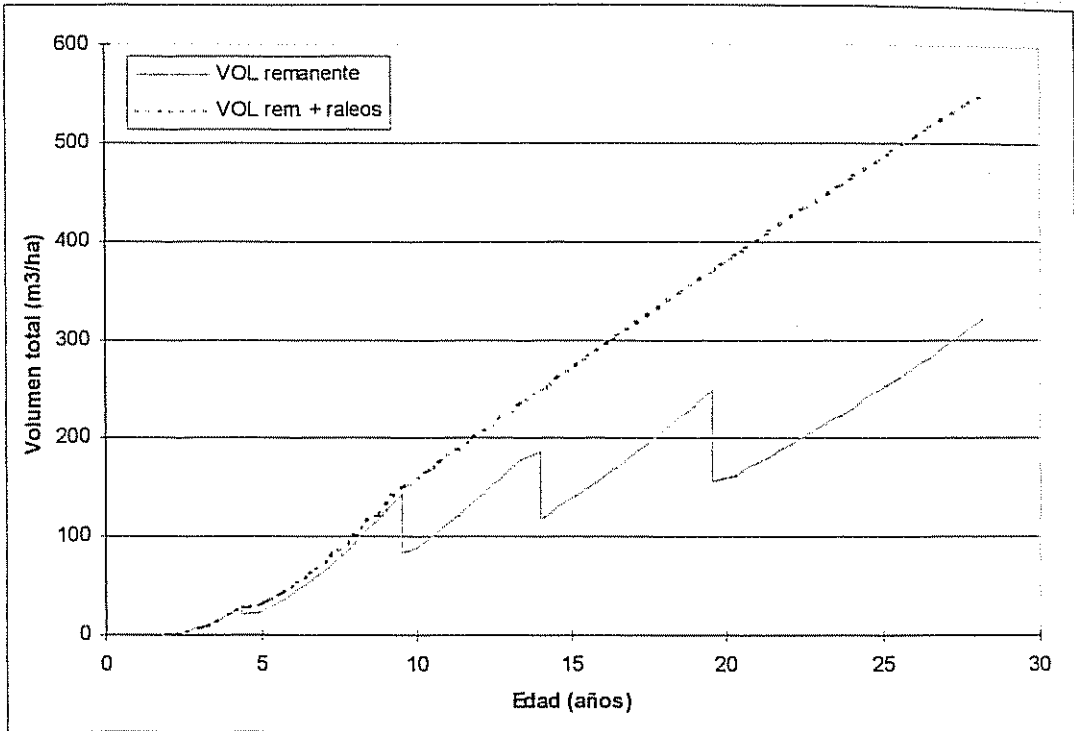


Figura 44. Volumen total remanente y remanente más raleos de una plantación de *Bombacopsis quinata* en Costa Rica con manejo del área basal a $24 \text{ m}^2/\text{ha}$ y partiendo de una densidad de 1111 árboles/ha (escenario 7).

6.4.2.1.8 Escenario 8: Manejo del área basal a $24 \text{ m}^2/\text{ha}$ y con una densidad inicial de plantación de 816 árboles/ha ($3.5 \times 3.5 \text{ m}$).

La diferencia de este escenario con respecto al escenario anterior, en donde se parte de 1111 árboles, es mínima. Principalmente se retrasan los raleos 1 año y los árboles extraídos en cada intervención tienen 2-3 cm más de diámetro (Cuadro 22, Anexos). La ventaja de utilizar uno u otro escenario dependerá más de aspectos de manejo como por ejemplo la calidad y costo del material a plantar, consideraciones de los costos de las labores de limpieza y de podas.

A continuación se presenta un resumen de los escenarios de crecimiento desarrollados para *Bombacopsis quinata* bajo las condiciones de crecimiento de las plantaciones en Costa Rica.

Cuadro 19. Resumen del rendimiento de plantaciones de *Bombacopsis quinata* en Costa Rica bajo diferentes escenarios de crecimiento y manejo silvicultural.

Escenario	Edad	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)	
18m2	1111	3-4	1	614	45	9.0	5.4	3.9	1.7	30.0	8.4	2.1	10.5	3.2
		8	2	310	50	20.0	12.9	9.7	8.6	47.0	50.2	42.0	92.2	11.6
		12	3	185	40	28.0	18.4	11.4	7.0	38.0	83.7	48.8	132.5	10.9
		17	4	112	40	35.5	23.5	11.0	6.8	38.0	103.7	61.1	164.8	9.8
		24	Turno final	112	—	45.5	30.3	18.1	—	—	220.0	—	—	371.9
18m2	816	4-5	1	487	40	12.0	7.4	5.5	2.2	29.0	16.4	4.6	21.0	4.8
		9	2	270	45	22.0	14.3	10.3	7.4	42.0	58.0	39.9	97.9	11.0
		13	3	162	40	29.5	19.4	11.0	6.8	38.0	85.6	50.0	135.6	10.4
		19	4	105	35	38.0	25.2	12.0	5.9	33.0	120.5	56.9	177.4	9.6
		25	Turno final	105	—	46.5	31.0	17.9	—	—	222.0	—	—	373.4
20m2	1111	3-4	1	614	45	9.0	5.4	3.9	1.7	30.0	8.4	2.1	10.5	3.2
		8-9	2	340	45	21.0	13.6	11.8	8.5	42.0	64.0	43.5	107.5	12.7
		12	3	203	40	28.0	18.4	12.5	7.7	38.0	91.8	53.5	145.3	11.9
		17-18	4	122	40	36.0	23.8	12.5	7.6	38.0	118.8	70.0	188.8	11.0
		25	Turno final	122	—	46.0	30.7	20.4	—	—	249.5	—	—	418.6
20m2	816	4-5	1	487	40	12.0	7.4	5.5	2.2	29.0	16.4	4.6	21.0	4.8
		10-10	2	266	45	23.5	15.3	11.5	8.7	43.0	70.5	50.4	120.9	12.4
		14-15	3	172	35	31.5	20.7	13.4	6.6	33.0	111.6	52.2	163.8	11.5
		19-20	4	113	35	39.0	25.9	13.5	6.6	33.0	139.2	65.0	204.2	10.7
		26	Turno final	113	—	47.5	31.7	20.0	—	—	252.9	—	—	425.9
22m2	1111	4-5	1	663	40	12.0	7.4	7.5	3.1	29.0	22.3	6.2	28.5	6.6
		8-9	2	366	45	21.0	13.6	12.7	9.2	42.0	68.9	46.9	115.8	13.7
		12	3	219	40	28.0	18.4	13.5	8.3	38.0	99.1	57.7	156.8	12.9
		18	4	132	40	36.5	24.2	13.8	8.5	38.0	133.6	78.9	212.5	12.1
		25	Turno final	132	—	46.0	30.7	22.0	—	—	269.3	—	—	459.0
22m2	816	5-6	1	493	40	14.0	8.8	7.6	4.1	35.0	26.7	12.8	39.5	7.5
		10-11	2	284	42	24.5	16.0	13.4	8.9	40.0	85.5	53.9	139.4	13.6
		15	3	171	40	32.0	21.1	13.7	8.4	38.0	115.7	67.9	183.6	12.6
		21	4	112	35	41.0	27.2	14.7	7.3	33.0	160.4	76.0	236.4	11.4
		28	Turno final	112	—	50.0	33.4	21.9	—	—	292.5	—	—	503.1
24m2	1111	4-5	1	616	45	12.0	7.4	7.0	3.6	34.0	20.7	7.8	28.5	6.6
		9-10	2	336	45	23.0	14.9	14.0	10.5	43.0	83.0	59.6	142.6	15.1
		14	3	202	40	30.5	20.1	14.7	9.0	38.0	118.2	69.2	187.4	13.7
		20	4	122	40	39.5	26.2	14.9	9.2	38.0	156.6	92.7	249.3	12.7
		28	Turno final	122	—	50.0	33.4	23.9	—	—	319.5	—	—	548.8
24m2	816	5-6	1	493	40	12.0	8.8	7.6	4.1	35.0	26.7	12.8	39.5	7.5
		11	2	294	40	25.5	16.6	15.0	9.2	38.0	100.0	58.0	158.0	14.7
		15-16	3	177	40	33.0	21.8	15.1	9.3	38.0	131.6	77.4	209.0	13.7
		21-22	4	116	35	42.0	27.9	16.0	7.9	33.0	178.9	84.8	263.7	12.3
		29	Turno final	116	—	51.5	34.4	24.1	—	—	331.0	—	—	563.9

El Cuadro 2 de los Anexos resume las variables evaluadas en las plantaciones de pochote incluidas en este estudio. Esta información proveniente de plantaciones reales permite compararla con los resultados de los escenarios de crecimiento simulados y evaluar el grado de similitud entre ambos.

La mayor densidad de plantación que se encuentra en los escenarios desarrollados es de 132 árboles/ha con un diámetro promedio de 46.0 cm, que corresponde al Escenario 5, manejado a 22 m²/ha y partiendo de 1111 árboles/ha. Los dos modelos que estiman la máxima ocupación de sitio indican que es posible tener entre 139 y 159 árboles/ha con esas dimensiones (Cuadro 19, Anexos). En el experimento 035FI se registran 618 árboles/ha con 40.4 cm de diámetro a los 22 años; otro

experimento (013FI) presenta diámetros de 36.5 cm a una densidad de 203 árboles/ha a los 17 años (Cuadro 2, Anexos). En CATIE (1991) se presenta una tabla preliminar de rendimiento para pochote en Costa Rica; se parte de una densidad de 1600 para llegar a los 30 años con 216 árboles de 35.6 cm de diámetro. Cabe entonces la posibilidad de mejorar las dimensiones de los árboles del turno final mediante un manejo intensivo que concentre el crecimiento en menos árboles, como es el caso de el Escenario 5. Navarro (1987) reporta un diámetro promedio de 49.0 cm para una de las plantaciones de pochote evaluadas en Costa Rica.

En el presente estudio se encontraron árboles con un diámetro máximo de 46.0 cm en plantaciones sin manejo adecuado, por lo que se considera que en condiciones como las simuladas en los escenarios este diámetro máximo bien puede superar los 50.0 cm en turnos de rotación de 30 años.

Áreas basales entre los 18 y 24 m²/ha (utilizadas en los escenarios) son comunes entre las parcelas medidas en el campo. Navarro (1987) y Ugalde (1997) reportan también parcelas de pochote evaluadas en Costa Rica con estos valores de área basal. CATIE (1991) utiliza para la tabla de rendimientos propuesta un área basal final de 21.5 m²/ha, similar a la empleada en los escenarios 5 y 6. Vásquez y Ugalde (1995) clasifican el rendimiento y producción de pochote en Guanacaste, considerando sitios buenos aquellos con áreas basales superiores a 25 m²/ha, sitios medios entre 15 y 25 m²/ha y sitios malos los que presentan menos de 15 m²/ha. Según esta clasificación, los escenarios de crecimiento simulados serían para sitios medios; los de mayor área basal prácticamente de clase alta.

Los volúmenes que se pretenden aprovechar al turno final oscilan entre 220 m³/ha y 331 m³/ha. El experimento 013FI, antes mencionado, presenta un volumen de 205 m³/ha a partir de 203 árboles/ha de 36.5 cm de diámetro. Otros experimentos, como el 014FI registran volúmenes de 321.4 m³/ha, por lo que los valores de los escenarios pueden considerarse realistas para plantaciones de pochote con buen manejo en Costa Rica. Vásquez y Ugalde (1994), citados por Ugalde (1997), encontraron volúmenes de hasta 372.4 m³/ha en plantaciones de pochote de 13.2 años en Guanacaste, Costa Rica.

Para turnos de rotación entre 24 y 29 años, según los escenarios de crecimiento desarrollados, la productividad del pochote en Costa Rica oscila entre 10.0 y 15 m³/ha/año para edades hasta los 15 años (Figura 45). Estos valores concuerdan exactamente con el rango de productividad en los sitios de clase media definido por Vásquez y Ugalde (1995) para plantaciones de hasta 16 años de edad, teniéndose entonces dentro de ese rango valores cercanos a los 10 m³/ha/año representativos de un sitio

de calidad baja a media y productividades de $15 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{año}$ pertenecientes a sitios de clase media a alta. CATIE (1991) reporta un IMA en volumen de $10.4 \text{ m}^3/\text{ha}$ a los 30 años, mientras que los escenarios desarrollados en el presente estudio muestran productividades a esas edades de $11.3 \text{ m}^3/\text{ha}$.

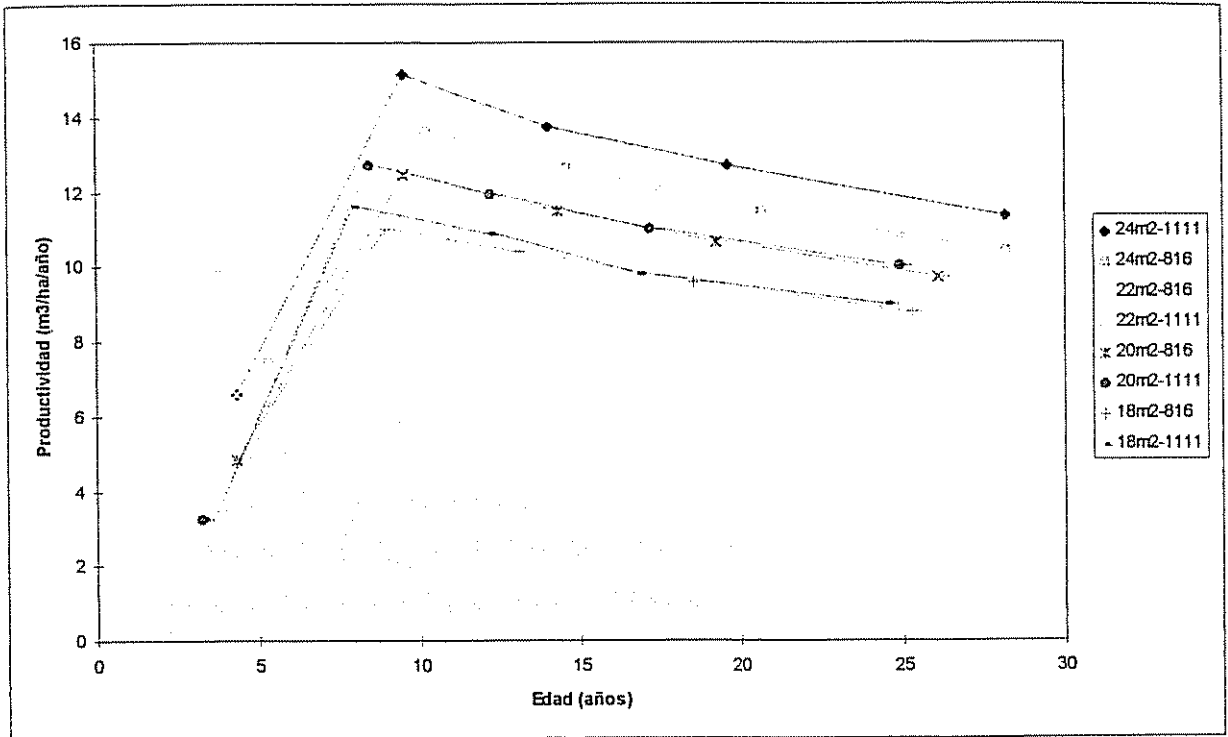


Figura 45. Productividad de los escenarios de crecimiento desarrollados para *Bombacopsis quinata* en Costa Rica.

CATIE (1991) recomienda ejecutar los raleos en las plantaciones de pochote cuando el área basal se encuentre entre 22 y $25 \text{ m}^2/\text{ha}$, extrayendo de 6 a $8 \text{ m}^2/\text{ha}$ en cada intervención. En los raleos aplicados a los escenarios de crecimiento del presente estudio se extrajeron entre 7.4 y $10.5 \text{ m}^2/\text{ha}$.

6.5 Comparación de costos entre un manejo intensivo y un manejo tradicional.

Tomando como ejemplo el Escenario 7, en donde se maneja un área basal de $24 \text{ m}^2/\text{ha}$ y partiendo de 1111 árboles/ha, se estimaron los costos en los que se incurriría desde el establecimiento hasta el turno de rotación de una plantación de *Tectona grandis* en Costa Rica bajo un manejo intensivo y bajo un manejo tradicional

Se asume que el sitio es de calidad de media a alta, con topografía plana a levemente ondulada, con fácil acceso de mano de obra y maquinaria liviana y se encuentra cerca de un camino principal. No se incluyen costos fijos ni el costo de la tierra; precios constantes a 1998.

En el Cuadro 20 se muestran las diferentes actividades evaluadas para teca. Hasta el año 5 se incluye, además de las actividades de establecimiento, deshijas, chapeas, fertilización, control de plagas, podas y un raleo de saneamiento; los costos hasta este año ascienden a ¢324869 (\$1271). A partir del año 9 se realizan 4 raleos para llegar a un turno final de 28 años con 125 árboles/ha. Los costos de cada raleo ascienden a ¢ 170 000 (\$637) aproximadamente, extrayendo entre 65 y 75 m³/ha. La cosecha final supone un costo de ¢ 900 000 (\$3370) y un volumen de 382 m³/ha. El costo total del manejo intensivo es entonces de ¢1.955 656 (\$7325).

El manejo tradicional implica menos actividades. En los primeros 5 años no se fertiliza, no hay control de plagas, no se deshija, se poda una sola vez y se aplica un raleo de saneamiento. Los costos hasta el quinto año se reducen de ¢ 324869 a solo ¢ 173283 (\$649). Se consideran 2 raleos más, uno a los 13 años (extracción de 69.6 m³/ha) y otro a los 23 años (se extraen 76.1 m³/ha); el costo de estas dos intervenciones es de ¢349 770 (\$1310).

Definiendo el manejo tradicional como las actividades antes mencionadas, el costo total hasta el turno final es de ¢1.458 000 (\$5500), un 27% menos del costo estimado para el manejo intensivo.

Cuadro 20. Costos de establecimiento y manejo de una plantación de *Tectona grandis* bajo un manejo intensivo y bajo un manejo tradicional en Costa Rica.

Edad (años)	Arboles por hectárea	Actividad	Concepto de Insumos	Insumos (Colones)	Insumos (dólares)	Número jornales	Costo jornales (colones)	Costo jornales (dólares)	A precios const. - 1998 Total (colones)	Total (dólares)	Costo manejo tradicional (dólares)
1	1111	Chapea inicial				6.6	12547	47	12547	47	47
1	1111	Trazado o marcación				1.8	3479	13	3479	13	13
1	1111	Rodajea inicial				5.1	9638	36	9638	36	36
1	1111	Ahoyado				3.7	6977	26	6977	26	26
1	1111	Plantación	1111 plantas	29960.34	112.211	4.3	8117	30	38078	143	143
1	1111	Fertilización	fertilizante (70 g/planta)	4900	18	1.8	3479	13	8378	31	
1	1111	Replante	plantas	5393	20	1.2	2304	9	7697	29	
1	1111	Chapea manual y química	herbicida (2.8 t/ha)	3514	13	7.4	14125	53	17638	66	
1	1111	Rodajea manual				4.4	8365	31	8365	31	
1	1111	2 deshierbas				4.0	7604	28	7604	28	
1	1111	Plagas (hormigas) y malezas "trepadoras"		800	3	4.0	7604	28	8404	31	
TOTAL HASTA AÑO 1				44566	167	44	84239	316	126805	482	265
2	1111	Chapea manual y química	herbicida (1.5 t/ha)	1882	7	10	19581	73	21463	80	
2	1111	Rodajea manual				8	16102	60	16102	60	60
2	1111	Fertilización	fertilizante (100 g/planta)	6999	26	1	2281	9	9281	35	
2	1111	Poda hasta 2-3 metros				5	8745	33	8745	33	33
2	1111	2 deshierbas				4	7604	28	7604	28	28
2	1111	Plagas (hormigas) y malezas "trepadoras"		800	3	4.0	7604	28	8404	31	
TOTAL HASTA AÑO 2				54248	203	77	146156	547	200404	751	386
3	1111	Chapea manual y química	herbicida (2 t/ha)	2510	9	9.2	17490	66	19999	75	
3	1111	Rodajea manual				4.0	7604	28	7604	28	
3	1111	deshija				2.0	3802	14	3802	14	
3	1111	Plagas (hormigas) y malezas "trepadoras"		800	3	2.0	3802	14	4602	17	
TOTAL HASTA AÑO 3				57558	216	94	178854	670	236412	865	386
4	1111	Chapea manual				5.2	9885	37	9885	37	
4	1111	Poda hasta 5-6 metros				4.5	8555	32	8555	32	
TOTAL HASTA AÑO 4				57558	216	104	197294	739	254852	955	386
5	1111	Chapea manual				4.5	8555	32	8555	32	32
5	559	Raleo m3 ==>	44.7	61463	230				61463	230	230
TOTAL HASTA AÑO 5				119020	446	108	205848	771	324869	1217	649
9	559	Chapea manual				5.2	9885	37	9885	37	
9	333	Raleo m3 ==>	68.5	164400	616				164400	616	
13	333	Chapea manual				5.2	9885	37	9885	37	37
13	224	Raleo m3 ==>	69.6	167040	626				167040	626	626
18	224	Chapea manual				5.2	9885	37	9885	37	
18	168	Raleo m3 ==>	62.9	150960	565				150960	565	
23	168	Chapea manual				5.2	9885	37	9885	37	37
23	125	Raleo m3 ==>	76.1	182640	684				182640	684	684
28	125	Chapea manual				5.2	9885	37	9885	37	37
28	0	Turno final m3 ==>	381.8	916320	3432				916320	3432	3432
TOTAL AL TURNO FINAL				1700380	6369	134	255275	956	1955656	7325	5502

Notas:

- Actividades hasta el año 5: Fuente: Gómez y Reiche (1996)
- Costo Jornal (8 horas): 1900 colones (Ministerio de Trabajo, 1998)
- Tipo de cambio US\$: 287 colones (Banco Central de Costa Rica)
- Replante: 18% (Gómez y Reiche, 1996)
- Precio de plantas: 27 colones (actualización de Gómez y Reiche, 1996)
- Herbicida: 1255 colones/ltro (actualización de Gómez y Reiche, 1996)
- Insecticida: 617 colones/kg, 1.4 kg/ha => 800 colones/ha
- Costo 1er raleo (sin extracción, solo apilado dentro de la plantación): 1375 colones/m3 (actualización de Gómez y Reiche, 1996)
- Costo de 2do, 3er y 4to raleos: 2400 colones/m3 (CIIBI-ITCR, 1998; David Quirós, 1998 comunicación personal)
- No se incluyen costos fijos
- Costos promedio en terrenos con diferentes condiciones de sitio.
- Actividades de aprovechamiento incluyen pistas, corra, arrastre, trazo y apilado (insumos y jornales)

En pochote se estimaron los costos para el mismo escenario (24 m²/ha, 1111 árboles/ha). Las actividades hasta el año 5 son similares a las presentadas en teca; el costo del mantenimiento hasta este año bajo un manejo intensivo es de ₡309 242 (\$1158), prácticamente el mismo que en teca. Tres raleos siguientes, a los 9, 14 y 20 años tienen un costo total de ₡532 000 (\$1993) para un volumen total extraído de 221.5 m³/ha. A los 28 años se estipula el turno final, cosechando 320 m³/ha a un costo de ₡767 759 (Cuadro 21).

El manejo tradicional reduce los costos de los primeros cinco años a ₡161 000 (\$604). Los dos raleos aplicados a los 5 y 14 años suponen un costo de ₡177 000 (\$663) para un volumen total a extraer de 152.3 m³/ha. Para el turno final se estaría aprovechando un volumen igual al extraído bajo el manejo intensivo, solo que distribuido en una mayor cantidad de árboles, costando esta actividad ₡768 000 (\$2876).

Bajo estas condiciones, el manejo tradicional implica un costo total hasta el aprovechamiento final de ₡1.100 000 (\$4140)/ha, un 33% menos del costo del manejo intensivo.

Cuadro 21. Costos de establecimiento y manejo de una plantación de *Bombacopsis quinata* bajo un manejo intensivo y bajo un manejo tradicional en Costa Rica.

Edad (años)	Árboles por hectárea	Actividad	Concepto de insumos	Insumos (Colones)	Insumos (dólares)	Número jornales	Costo jornales (colones)	Costo jornales (dólares)	Precios const - 1998 Total (dólares)	Total (dólares)	Costos manejo tradicional (dólares)
1	1111	Chapea inicial				7.3	13783	52	13783	52	52
1	1111	Trazado o marcación				2.4	4487	17	4467	17	17
1	1111	Rodajea inicial				5.2	9885	37	9885	37	37
1	1111	Ahoyado				4.0	7509	28	7509	28	28
1	1111	Plantación	1111 plantas	35774	134	4.6	8745	33	44519	167	167
1	1111	Fertilización	fertilizante (88 g/planta)	4800	18	1.5	2852	11	7651	29	
1	1111	Replanta	plantas	6439	24	1.2	2304	9	8743	33	
1	1111	Chapea manual y química	herbicida (8 l/ha)	10039	38	9.0	17109	64	27149	102	
1	1111	Rodajea manual				6.7	12737	48	12737	48	48
1	1111	2 deshojas				4.0	7604	28	7604	28	
1	1111	Plagas (hormigas) y malezas "trepadoras"		800	3	4.0	7604	28	8404	31	
TOTAL HASTA AÑO 1				57852	217	50	94600	354	152452	571	348
2	1111	Chapea manual y química	herbicida (3 l/ha)	3755	14	11.4	21577	81	25342	95	
2	1111	Rodajea manual				7.9	14923	56	14923	56	56
2	1111	Fertilización	fertilizante (105 g/planta)	5688	21	2.0	3802	14	9490	36	
2	1111	Poda hasta 2-3 metros				4.6	8745	33	8745	33	33
2	1111	2 deshojas				4.0	7604	28	7604	28	
2	1111	Plagas (hormigas) y malezas "trepadoras"		800	3	4.0	7604	28	8404	31	
TOTAL HASTA AÑO 2				68105	255	84	158855	595	226960	850	437
3	1111	Chapea manual y química	herbicida (2 l/ha)	2510	9	9.5	18060	68	20570	77	
3	1111	Rodajea manual				4.0	7604	28	7604	28	28
3	1111	deshoja				2.0	3802	14	3802	14	
3	1111	Plagas (hormigas) y malezas "trepadoras"		800	3	2.0	3802	14	4602	17	
TOTAL HASTA AÑO 3				71415	267	101	192123	720	263538	987	465
4	1111	Chapea manual				7.7	14638	55	14638	55	55
4	1111	Poda hasta 5-6 metros				4.5	8555	32	8555	32	
TOTAL HASTA AÑO 4				71415	267	113	215316	806	286731	1074	520
5	1111	Chapea manual				6.2	11786	44	11786	44	44
5	616	1er Raleo (7.8 m ³ /ha)		10725	40				10725	40	40
TOTAL HASTA AÑO 5				82140	308	119	227102	851	309242	1158	604
9	616	Chapea manual				5.2	9885	37	9885	37	
9	336	2do Raleo (59.6 m ³ /ha)		143219	536				143219	536	
14	336	Chapea manual				5.2	9885	37	9885	37	37
14	202	3er Raleo (69.2 m ³ /ha)		166288	623				166288	623	623
20	202	Chapea manual				5.2	9885	37	9885	37	
20	122	4to Raleo (92.7 m ³ /ha)		222758	834				222758	834	
28	125	Chapea manual				5.2	9885	37	9885	37	
28	125	Turno final (319.5 m ³ /ha)		767759	2876				767759	2876	2876
TOTAL AL TURNO FINAL				1382164	5177	140	266644	999	1648808	6175	4129

Notas:

- Actividades hasta el año 5: Fuente: Gómez y Reiche (1996)
- Costo Jornal: 1900 colones (Ministerio de Trabajo, 1998)
- Tipo de cambio US\$: 267 colones (Banco Central de Costa Rica)
- Replante: 18% (Gómez y Reiche, 1996)
- Precio de plantas: 32.2 colones (actualización de Gómez y Reiche, 1996)
- Herbicida: 1255 colones/litro (actualización de Gómez y Reiche, 1996)
- Insecticida: 617 colones/kg, 1.4 kg/ha => 800 colones/ha
- Costo 1er raleo (sin extracción, solo apilado dentro de la plantación): 1375 colones/m³ (actualización de Gómez y Reiche, 1996)
- Costo de 2do, 3er y 4to raleos: 1824 colones/m³ (actualización de Otárola, 1996)
- No se incluyen costos de administración.
- Terreno con diferentes condiciones de sitio.
- Actividades de aprovechamiento incluyen pistas, corta, arrastre, troceo y apilado (insumos y jornales).

En ambos casos los costos del manejo intensivo son mayores que los costos del manejo tradicional, principalmente debido a la poca frecuencia de raleos practicada en el segundo caso.

Una evaluación de los productos de raleos y de la corta final de ambos manejos permitirá valorar las ventajas de uno sobre el otro.

6.6 Biomasa seca en follaje y ramas según zona geográfica

Con el objetivo de reducir las diferencias entre sitios e inclusive dentro de sitios por variaciones en el contenido de humedad se decidió trabajar con el peso seco y no con el peso húmedo de follaje y ramas. Se tomó esta medida ya que es posible que dos árboles tuvieran la misma cantidad de biomasa seca, por ejemplo de follaje, pero uno proveniente de un sitio en donde ha llovido más que en el otro, por lo que las hojas contendrían más humedad y la biomasa reportada sería mayor que la del árbol en el sitio con menos precipitación. Inclusive dentro de un mismo sitio, si se aprovechó un árbol en la mañana y otro en la tarde en un día muy soleado, habrán diferencias en los contenidos de humedad que pueden llegar a ser de consideración, principalmente en el follaje.

Al haber trabajado con peso seco se eliminaron estas diferencias, no importando así de donde vengan las muestras o en que época del año fueron tomadas. El Cuadro 22 contiene los porcentajes de materia seca de follaje y ramas encontrados en las diferentes zonas del país de donde se aprovecharon árboles para la cuantificación de biomasa.

Cuadro 22. Contenido de biomasa seca del follaje y de las ramas de *Tectona grandis* y *Bombacopsis quinata* en diferentes zonas de Costa Rica.

Sitio / Zona geográfica	% biomasa seca del follaje		% biomasa seca en ramas	
	<i>T. grandis</i>	<i>B. quinata</i>	<i>T. grandis</i>	<i>B. quinata</i>
Guápiles, Guácimo, Cahuita (Limón)	36.30	-----	46.00	-----
Jicaral (Puntarenas)	30.43	20.58	43.54	37.56
Carrillo, Sámará (Guanacaste)	31.00	25.20	40.11	38.64
Tempisque, Quebrada Honda (Guanacaste)	31.40	21.48	45.16	38.56
Quepos, Parrita (Puntarenas)	35.11	20.01	51.94	39.34
Palmar Norte, Buenos Aires (Puntarenas)	37.80	20.49	43.83	41.74
Promedio	33.67	21.55	45.10	39.17

Los porcentajes de materia seca en follaje tienen un ámbito de variación de un 7% para teca y un 5% para pochote. En ramas la variación es de un 6% para teca y un 4% para pochote. Las

diferencias se pueden considerar mínimas tomando en cuenta que las muestras provienen de las zonas más secas y más húmedas del país (Limón, Guanacaste, Puntarenas, Zona Sur).

Del Cuadro 22 se concluye que en Costa Rica el porcentaje de materia seca en árboles de teca es en promedio un 34% en follaje y un 45% en ramas, mientras que para pochote es un 22% en follaje y un 39% en ramas.

6.7 Producción de biomasa de follaje y ramas

Los trabajos de Chelunor (1983) y Karmacharya y Singh (1992) (ver sección de revisión de literatura) presentan las cantidades de biomasa seca de follaje y ramas producidas por árboles de teca a diferentes edades. En el Cuadro 23 se comparan algunos resultados del trabajo de Chelunor en Nigeria con los de la presente investigación en Costa Rica.

Cuadro 23. Producción de biomasa seca de follaje y ramas en árboles de teca reportados en dos estudios realizados en Nigeria y en Costa Rica.

Edad (años)	Nigeria*		Costa Rica	
	Follaje (kg)	Ramas (kg)	Follaje g	Ramas (kg)
10	10.7	47.9	11.0	52.0
14	14.6	106.0	15.0	70.0

*Fuente: Chelunor, 1983.

La producción de biomasa seca de follaje a los 10 y 14 años es muy parecida en ambos sitios; el peso seco de ramas difiere a los 14 años, siendo un 28% menor en Costa Rica. A los 10 años, sin embargo, la biomasa de ramas reportada en ambos sitios difiere solamente en un 8%. Este resultado indica que la composición de la biomasa de copa en teca en estos dos sitios tiende a desarrollarse en el tiempo de forma similar, al menos a estas edades.

Los valores de biomasa seca de ramas reportados por Karmacharya y Singh (1992) para teca en una región tropical seca de la India, no concuerdan con los resultados del cuadro anterior. A los 14 años, por ejemplo, el peso seco de ramas reportado es de solamente 5.02 kg. A los 30 años, la teca en esta región tropical seca de la India, según estos autores, alcanza 20.2 kg., mientras que en Costa Rica los árboles de teca muestreados tenían hasta 146.0 kg de biomasa seca de ramas. La diferencia tan

amplía en los resultados se debe posiblemente a que es una región muy seca y con bajas tasas de crecimiento, ya que se reporta un diámetro (dap) de solo 10.41 cm en árboles de 30 años y con diámetros de copa de 4.4 m, mientras que en Costa Rica es factible encontrar a esas edades individuos con más de 40 cm de diámetro (dap) y con 8-10 m de diámetro de copa.

6.8 Factor de forma

El factor de forma encontrado para teca fue de 0.45 en promedio, dentro de un ámbito que va de 0.35 a 0.60. Este resultado incluye datos provenientes de plantaciones jóvenes (mínimo 4 años) y viejas (máximo 46 años) de diferentes zonas del país, para un total de 53 árboles (árboles cosechados para este estudio de biomasa más los árboles cosechados en un estudio anterior por Morataya (1996)). Para cercas vivas, según datos provenientes de la zona Atlántica, el factor disminuye a 0.40 en promedio, variando de 0.34 a 0.46. La Figura 46 muestra la distribución de los factores de forma según el diámetro del árbol.

En general, considerando las zonas más secas y las más húmedas del país, no se encontraron mayores diferencias entre los factores de forma (0.45 vs 0.43, respectivamente). Tampoco hubo relación alguna entre la altura total de los árboles y el factor de forma, tanto para las zonas secas como para las zonas húmedas.

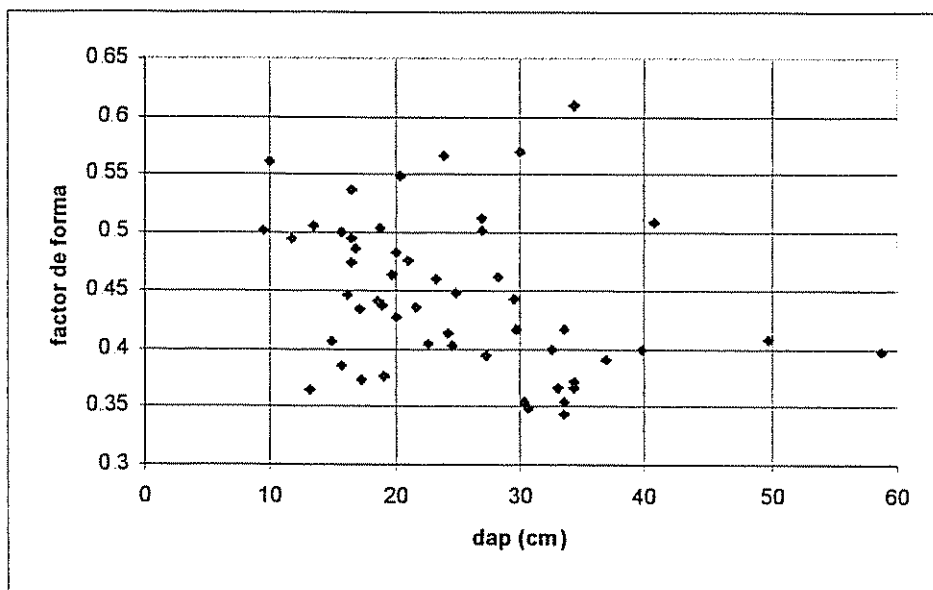


Figura 46. Distribución del factor de forma según el diámetro de los árboles para *Tectona grandis* en Costa Rica.

Para pochote se obtuvo un factor de forma menor que para teca, según los datos de 17 árboles de edades entre 10 y 26 años provenientes del presente muestreo en los diferentes sitios del país (no incluyen árboles de cercas vivas), el promedio es de 0.40, variando de 0.32 a 0.51 y con una ligera tendencia a disminuir a medida que aumenta el diámetro (Figura 47).

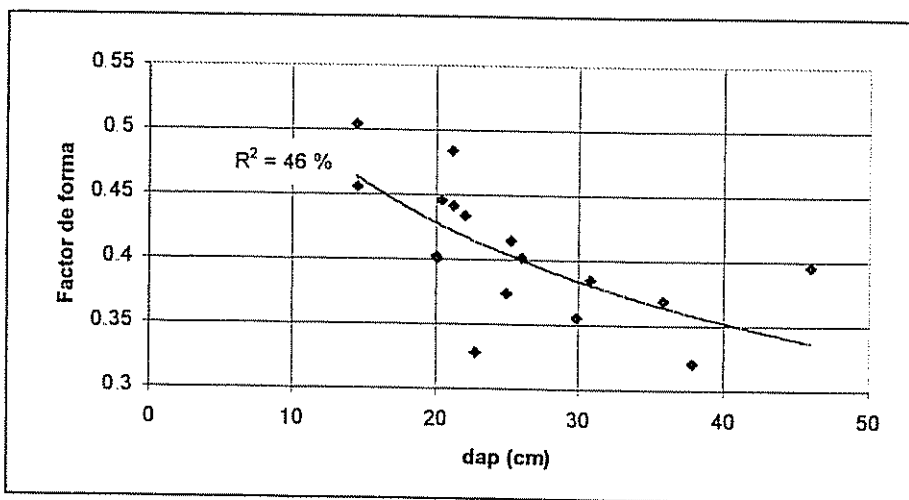


Figura 47. Distribución del factor de forma según el diámetro de los árboles para *Bombacopsis quinata* en Costa Rica.

6.9 Porcentaje de área de albura

De cada árbol cosechado se tomó una sección del fuste a 0.3 metros de altura y a la altura donde inicia la copa (base de la copa); a estas muestras se les calculó el porcentaje de albura en relación al área total de la rodaja. En las Figuras 48 y 49 se muestran los resultados para teca y pochote, respectivamente.

Los árboles provenientes de zonas húmedas de Costa Rica como Limón, Parrita, Buenos Aires y Palmar Norte (codificados como Guiv, TBA, Milo, FB, FyC, Bat, entre otros) no presentaron diferencias en porcentajes de albura con los árboles provenientes de zonas secas del país; para estos últimos se esperaba encontrar una menor cantidad de albura. La zona de Limón presentó porcentajes de albura superiores al 50% para árboles menores de 12 años, alcanzando valores de hasta 90%. La zona de Parrita y zona sur del país mostraron valores similares en inclusive inferiores a los de la zona seca, debido quizás a que son los de mayor edad.

En la Figura 49 se presentan la distribución de los porcentajes de albura según a la altura a la que fue tomada la sección transversal. Tanto a 0.3 metros de altura (0.3) como al dap (dap) y a la base de la copa viva (BC) los porcentajes de albura se distribuyen sobre la curva de tendencia de todos los datos unidos, notándose levemente una mayor dispersión en los porcentajes de albura calculados para las secciones tomadas a 0.3 metros de altura en relación a los calculados al dap y a la base de la copa.

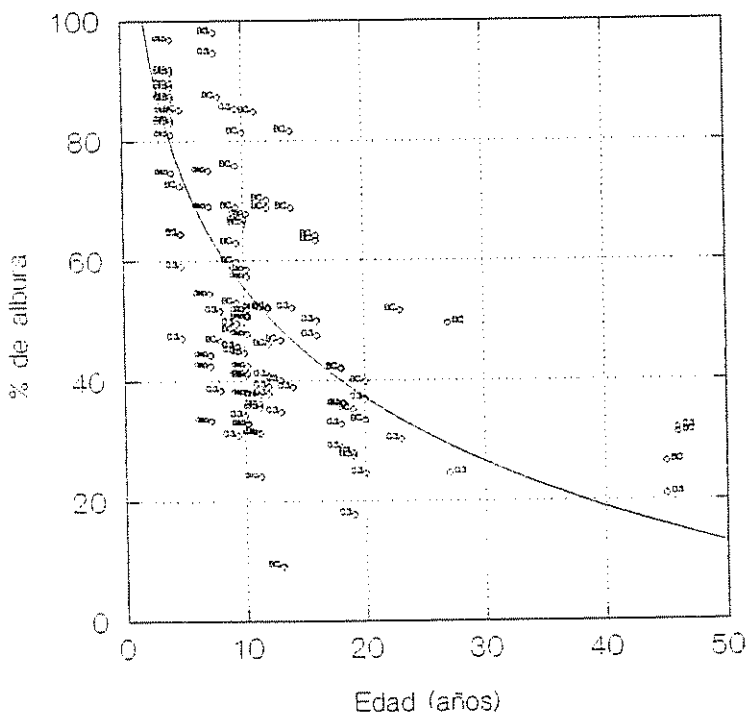


Figura 49. Porcentaje de área de albura en relación al área basal de las secciones transversales del fuste tomadas a 0.3 m de altura (0.3), al dap (dap) y a la base de la copa viva (BC) en árboles de *Tectona grandis* en Costa Rica.

En pochote solo se cosecharon árboles de la zona seca (Guanacaste y Puntarenas), de cuyo análisis se concluye que a edades de 25 años aún persiste más del 65% de albura a una altura de 0.3 metros, mientras que a la base de la copa no hay presencia alguna de duramen. En los árboles en los que se tomaron secciones del fuste a diferentes alturas se observó que el duramen ya no se presentaba a 1.3 metros de altura, a excepción del árbol de Palmar Norte (27 años) en el cual había presencia de aproximadamente un 20% de duramen, el cual desaparecía por completo a los 5.0 metros de altura. Existe una tendencia de disminución del porcentaje de albura a la base del árbol con la edad, pasando de 90% a los 10 años a menos del 70% a los 25 años (Figura 50). Los valores cercanos o iguales a 100% corresponden a las secciones tomadas a la base de la copa.

Es importante tener en cuenta este comportamiento del pochote en Costa Rica, ya que por ejemplo en los escenarios de crecimiento, al igual que en la literatura, se mencionan turnos finales de 30 años, para los cuales según estos resultados no se tendrían árboles con un alto porcentaje de duramen, siendo necesario esperar más tiempo, probablemente una década más.

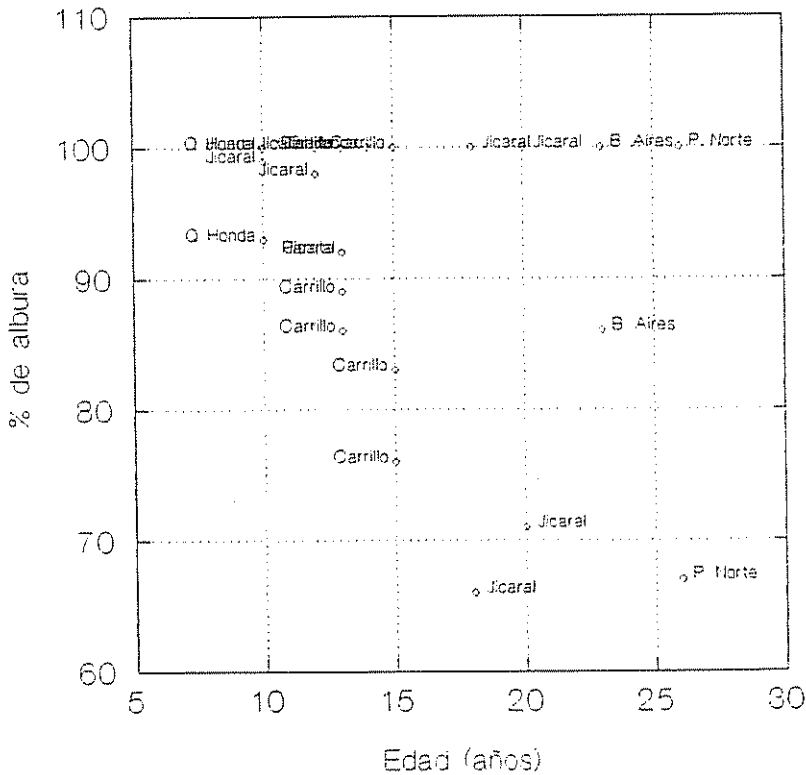


Figura 50. Porcentaje de área de albura en relación al área basal de las secciones transversales tomadas a 0.3 m de altura y a la base de la copa viva en árboles de *Bombacopsis quinata* en Costa Rica.

En pochote, todas las secciones tomadas a la base de la copa viva presentaron un 100% de contenido de albura. Las secciones tomadas a la base del árbol contenían entre un 65 y un 100% de albura, con una tendencia a disminuir al aumentar la edad (Figura 51).

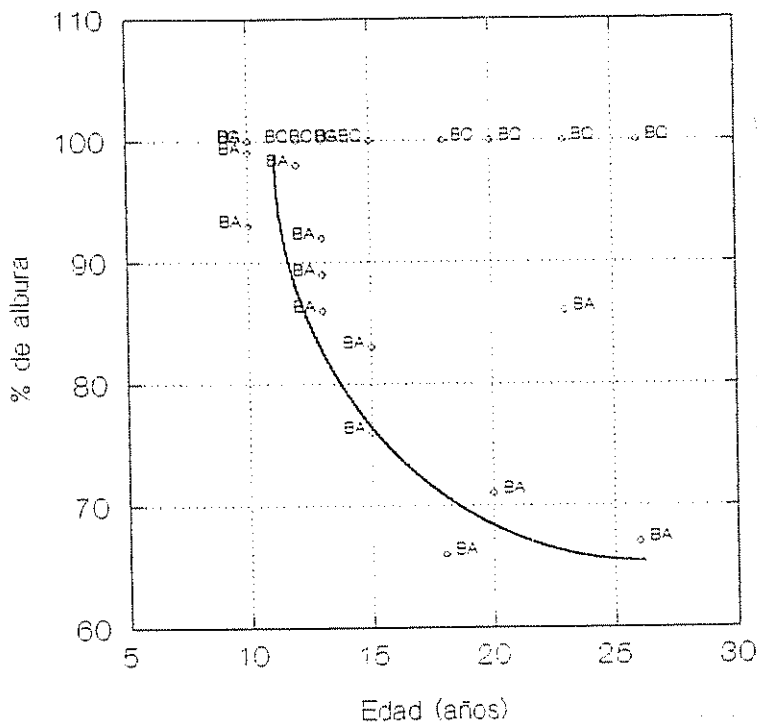


Figura 51. Porcentaje de área basal de albura de las secciones transversales del fuste tomadas a 0.3 m de altura o base del árbol (BA) y a la base de la copa viva (BC) en relación a la edad en árboles de *Bombacopsis quinata* en Costa Rica. La línea de tendencia está basada únicamente en las observaciones tomadas a la base del árbol (BA).

6.10 Peso y densidad de las hojas de *Tectona grandis*

Para la zona Atlántica se realizó un estudio de determinación de la densidad de las hojas maduras para los árboles de teca cosechados, con el fin de obtener información necesaria para estimar el total de área foliar en estudios futuros.

La densidad promedio de una hoja de teca madura, según los resultados obtenidos, es de 0.011 g/cm², el peso seco promedio es 11.1 g. y el área foliar promedio es de 1034.2 cm², lo que aproximadamente equivaldría a un área de 32 x 32 cm).

Para un árbol de teca de 47 años como el aprovechado en Parrita, con un peso seco foliar de 38.1 Kg. y con un área de copa de 47.7 m^2 , el área foliar total vendría a ser de 346 m^2 y con un Índice de Área Foliar (IAF) de $7.26 \text{ m}^2/\text{m}^2$. En un árbol de 20 años, por ejemplo el árbol con código "JR" proveniente de Guanacaste, el área foliar total sería de 216 m^2 , para un IAF de $3.10 \text{ m}^2/\text{m}^2$. Para árboles más jóvenes (10 años), como los aprovechados en Puerto Carrillo, el área foliar total vendría a ser de 102.7 m^2 y un IAF de $3.11 \text{ m}^2/\text{m}^2$.

Para teca en Nigeria, Nwoboshi (1983), citado por Beadle (1997), reporta un IAF de $6.7 \text{ m}^2/\text{m}^2$, valor cercano al estimado para el árbol de teca de 47 años de Parrita. Se considera que a menor IAF la eficiencia en crecimiento aumenta, de manera que dicha eficiencia estaría disminuyendo al aumentar la edad, al menos para la teca en Costa Rica.

Otras especies como *Eucalyptus tereticornis* y *Eucalyptus camandulenses* poseen IAF bajos ($2.2 \text{ m}^2/\text{m}^2$), lo que representaría una alta eficiencia en crecimiento, mientras que especies como *Populus hybrid* y *Picea abies* tienen IAF de $11.6 \text{ m}^2/\text{m}^2$ y $10.2 \text{ m}^2/\text{m}^2$, respectivamente.

7. Conclusiones y recomendaciones

1. Se corroboró que la Teoría del Modelo Vascular aplica también en árboles de *Tectona grandis* de edades avanzadas de hasta 46 años, para las relaciones entre el área de albura a la base del árbol (cm^2) y a la base de la copa (cm^2) con el peso del follaje (kg).
2. En teca no se encontraron relaciones fuertes entre el área del penúltimo anillo de crecimiento a la base del árbol y en la base de la copa con el peso del follaje.
3. En *Bombacopsis quinata*, se presenta también la relación de área de albura a la base del árbol y a la base de la copa con el peso del follaje, e inclusive se relaciona fuertemente el área del penúltimo anillo de crecimiento a la base del árbol con el peso del follaje, a edades entre 10 y 23 años. Este estudio no había sido realizado anteriormente por otros autores.
4. Tanto en teca como en pochote existe una relación fuerte entre el peso del follaje y el crecimiento del árbol en términos de área de albura, inclusive a edades avanzadas de hasta 26 años en pochote y 47 años en teca.

5. Se recomienda realizar los estudios de relaciones entre el área de albura y pero del follaje a alturas mayores de 1.3 m (dap), ya que a menores alturas las gambas o deformaciones del fuste, tanto en teca como en pochote, dificultan la medición del área de albura.
6. Existen relaciones fuertes, en teca y pochote, entre las variables de composición de copa y las variables de crecimiento permitiendo, en primer lugar, conocer las dimensiones necesarias de los componentes de biomasa de follaje y ramas de la copa para lograr buenos crecimientos y en segundo lugar, realizar estudios futuros de biomasa mucho más sencillos en metodología y obtener buenas estimaciones de estos componentes.
7. En teca es posible realizar el análisis fustal en árboles provenientes de plantaciones de las zonas en donde existe una estación seca definida, dado que presentan una clara formación de anillos. Los árboles provenientes de la zona Atlántica (Guápiles, Guácimo, Cahuita) presentan problemas debido a que los anillos de crecimiento no son continuos y además hay formación de anillos de crecimiento falsos, los cuales posiblemente se producen al ocurrir períodos cortos de sequía, no necesariamente anuales.
8. En pochote se presentan más problemas con el análisis fustal, ya que inclusive en las zonas con una estación seca marcada como Jicaral o Sámara en Guanacaste, no fue posible en muchos casos identificar la totalidad de los anillos de crecimiento. Solo en ciertos árboles fue posible mediante un exhaustivo análisis.
9. La técnica del análisis fustal en *Tectona grandis* y *Bombacopsis quinata* fue de gran utilidad cuando no se tienen registros continuos del crecimiento de una plantación, ya que permite conocer el desarrollo del árbol en el tiempo y asociarlo con el manejo aplicado al rodal.
10. El análisis fustal realizado a los árboles de teca y pochote, confirma que la competencia extrema entre árboles de una plantación debido a la falta de un buen manejo, ocasiona una disminución drástica en el crecimiento y una mala distribución de la producción de volumen en muchos árboles de menores dimensiones.
11. El desarrollo de escenarios de crecimiento, basado en datos confiables del desarrollo de plantaciones en el país, resultó ser una herramienta muy útil para desarrollar escenarios

preliminares para el manejo de una plantación en el tiempo y tener una noción de qué es lo que se puede esperar de un rodal, a partir de su desarrollo actual y el potencial del sitio en términos de área basal.

12. *Bombacopsis quinata* presenta un alto porcentaje de albura a edades mayores de 20 años, lo cual obliga a tener que esperar turnos de rotación mayores a los esperados de teca para permitir la formación de un mayor porcentaje de duramen en los árboles.
13. *Tectona grandis* y *Bombacopsis quinata* son especies de crecimiento de mediano a rápido pero demandantes de un manejo intensivo. El presente estudio pretende contribuir a la planificación de este manejo, siendo recomendable reforzar los resultados obtenidos con más datos de plantaciones de avanzada edad para ampliar la base de datos del sistema MIRA, en especial con plantaciones de edades mayores a los 20 años.
14. Los programas desarrollados en Excel y Systat para el análisis fustal de árboles y para los escenarios de crecimiento fueron una herramienta muy útil y accesible a las necesidades y recursos de empresas y entidades forestales.
15. Se considera muy importante evaluar las plantaciones nuevas y el manejo más intensivo (en comparación al tradicional) que están recibiendo para conocer si es posible alcanzar el crecimiento estimado por los sistemas de manejo intensivo desarrollados, lo cual se podría realizar a nivel de primer y segundo raleo para ambas especies.

8. Bibliografía

- Aguilar, M. 1994. Elaboración de tarifas de volúmenes a partir de análisis troncales. *In* Ciencia Forestal en México 19 (76): 89-101
- Alfaro, M. 1990. Estudio de caso sobre la rentabilidad y uso óptimo de recursos en plantaciones forestales en Costa Rica. Tesis Msc. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 162 p.
- Alfaro, M. 1991. Evaluación financiera de la inversión en plantaciones forestales. *Silvoenergía* 48. sp.
- Arguedas, M.; Torres, G. 1992. Especies forestales de mayor utilización en Costa Rica. Serie de apoyo académico #13. Departamento de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica. 32 p.
- Badilla, E. 1992. La teca: técnicas de cultivo de una especie forestal de uso múltiple. Proyecto MADELEÑA, Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica. 15p.
- Beadle, C.L. 1997. Dynamics of leaf and canopy development. *In* Management of soil, nutrients and water in tropical plantation forests E.K. Sadanandan Nambiar, A.G. Brown (Ed.). Australian Centre for International Agricultural Research, Australia. p. 169-204.
- Briscoe, C. 1995. Silvicultura y manejo de teca, melina y pochote. Serie técnica, Informe Técnico No. 270. Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica. 44 p.
- CATIE. 1991. Pochote (*Bombacopsis quinatum*): especie de árbol de uso múltiple en América Central. Serie Técnica. Informe Técnico N° 172. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 44 p.
- Centeno, J.C. 1997. El manejo de las plantaciones de teca. *In* Actualidad Forestal Tropical 5 (2): 10-12.
- Chadwick, D.O.; Larson, B.C. 1990. Forest Stand Dynamics. McGraw-Hill, Inc. 467 p.
- Chavarría, M.; Quirós, L. 1985. *Tectona grandis*. Ministerio de Recursos Naturales Energía y Minas, Dirección General Forestal / FAO. San José, Costa Rica. 50 p.
- Chaves, W.; Chinchilla, M. 1991. Ensayos de aclareo en plantaciones de *Tectona grandis* L.F. en Cóbano de Puntarenas, Costa Rica. *In* Ciencias Ambientales N° 7. Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica. p. 65-73.
- Chaves, E.; Fonseca, W. 1991a. Teca (*Tectona grandis*): especie de árbol de uso múltiple en América Central. Proyecto MADELEÑA. Serie técnica, informe técnico # 179. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 48 p.
- _____ 1991b. Pochote (*Bombacopsis quinatum*), Especie de árboles de uso múltiple en América Central. Proyecto MADELEÑA. Serie técnica, informe técnico # 172. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 44 p.

- Chaves, E. ; Vásquez, A. 1991. Ensayos de aclareo en plantaciones de *Bombacopsis quinatum* (JACQ.) en la Península de Nicoya, Costa Rica. In Ciencias Ambientales N° 7. Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica. p. 93-106.
- Chelunor, L. 1983. Growth and nutrient requirements in a teak plantation age series in Nigeria. Linear growth and biomass production. In Forest Science 29 (1): 159-165.
- Curtin, R. A. 1970. Dynamics of tree and crown structure in *Eucalyptus oblicua*. In Forest Science 16 (3): 321-328.
- Dupuy, B.; Verhaegen, D. 1993. Le teck de plantation. *Tectona grandis* en Côte-D'ivoire. In Bois et Forêts des Tropiques (235): 9-14.
- Dyer, M. E.; Bailey, R.L. 1987. A test of six methods for estimating true heights from stem analysis data. In Forest Science 33 (1): 3-13.
- Evans, J.; Wood, P. 1994. El rol de las plantaciones en la silvicultura tropical. In Actualidad Forestal Tropical 2 (1): 16.
- Fownes, J.H.; Harrington, R.A. 1990. Modelling growth and optimal rotations of tropical multipurpose trees using unit leaf rate and leaf area index. In Journal of Applied Ecology 27: 886-896.
- Fritts, H.C. 1990. Modeling tree-ring and environmental relationships for dendrochronological analysis. In Process modeling of forest growth; responses to environmental stress. Timber Press, Portland, Oregon. p. 368-382.
- Galloway, G. 1997. Dinámica de Rodales (Apuntes del curso de Silvicultura de Plantaciones). CATIE, Turrialba, Costa Rica. 14 p.
- Gómez, M.; Reiche, C. 1996. Costos de establecimiento y manejo de plantaciones forestales y sistemas agroforestales en Costa Rica. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). 49p.
- Harms, W.R.; DeBell, D.S.; Whitesell, C.D. 1994. Stand and tree characteristics and stockability in *Pinus taeda* plantations in Hawaii and South Carolina. In Canadian Journal of Forestry Research 24 (3): 511-521.
- Holdridge, L.R. 1982. Ecología basada en zonas de vida. IICA. San José, Costa Rica. 216 p.
- Hughell, A.D. 1991. Lineamientos para el desarrollo de modelos para la predicción del crecimiento y rendimiento de árboles de uso múltiple. Informe interno. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 131 p.
- Jiménez, S. 1991. Tablas de crecimiento preliminares de *Gmelina arborea* Roxb. Aplicables al Pacífico Seco, Costa Rica. In Ciencias Ambientales N° 7. Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica. p. 23-36.
- Karmacharya, S.B.; Singh, K.P. 1992. Biomass and net production of teak plantations in a dry tropical region in India. In Forest Ecology and Management 55: 233-247.
- Kaufmann, M.R., Troendle, C.A. 1981. The relationship of leaf area and foliage biomass to sapwood conducting area in four subalpine forest tree species. In Forest Science 27 (3): 477-482.

- Kendall, J.A.; Brown, J.K. 1978. Comparison of tree biomass estimators-DBH and sapwood area. *In* Forest Science 24 (4): 455-457.
- Keogh, R. M. 1987. The care and management of teak (*Tectona grandis* L. f.) plantations: a practical field guide for foresters in The Caribbean, Central America, Venezuela and Colombia. Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica. 48 p.
- Krajicek, J.E.; Brinkman, K.A.; Gingrich, S.F. 1961. Crown competition - a measure of density. *In* Forest Science 7 (1): 35-42.
- Lamprecht, H. 1990. Silvicultura en los trópicos. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) Eschborn, Alemania. 335 p.
- Marks, G.C.; Incoll, W.D.; Long, I.R. 1986. Effects of crown development, branch shed and competition on wood defect in *Eucalyptus regnans* and *Eucalyptus sieberi*. Aust. For. Res. 16: 117-129.
- MINAE. 1996. Información estadística relevante sobre el sector forestal 1972-1995. San José, Costa Rica.
- Mora, F. 1997. Factores de forma para teca, a diferentes edades, en la Vertiente Pacífica de Costa Rica. *In* Memoria III Congreso Forestal Nacional, San José, Costa Rica. 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. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 123p.
- Muir, N. G. 1996. Un sistema para el análisis de la calidad de fuste con el fin de predecir rendimientos comerciales de pulpa y madera sólida de melina (*Gmelina arborea*) en inventarios precosecha. Tesis maestría. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 140 p.
- Navarro, C.; Martínez, H. 1989. El pochote (*Bombacopsis quinatum*) en Costa Rica. Guía silvicultural para el establecimiento en plantaciones. Proyecto MADELEÑA. Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 44 p.
- Negi, J.D.S.; Bahuguna, V.K.; Sharma, D.C. 1990. Biomass production and distribution of nutrients in 20 years old teak (*Tectona grandis*) and gamar (*Gmelina arborea*) plantation in Tripura. *In* Indian Forester 116 (9): 681-686.
- Newberry, J.D. 1991. A note on Carmean's Estimate of height from stem analysis data. *In* Forest Science 37 (1): 368-369.
- Ortiz, E. 1993. Técnicas para la estimación del crecimiento y rendimiento de árboles individuales y bosques. Serie de Apoyo Académico 16, Departamento de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica. p. 43-48.

- Ortiz, E. 1994. Planificación y ejecución de raleos en plantaciones forestales. Serie de apoyo académico #10. Departamento de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. 33 p.
- Otarola, E. 1996. Productividad y cuantificación económica de los productos provenientes de raleos en plantaciones forestales de *Eucalyptus*, *Pinus*, *Cupressus* en Turrialba, Costa Rica. Tesis Msc. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). 98 p.
- Prodan, M.; Peters, R.; Cox, F.; Real, P. 1997. Mensura Forestal. GTZ-IICA. San José, Costa Rica. 586p.
- Ramnarine, S. 1994. Growth and yield of teak plantations in Trinidad and Tobago. University of New Brunswick, MSc. Thesis. 165 p.
- Rayner, M.E. 1991. Estimation of true height from karri (*Eucalyptus diversicolor*) stem analysis data. *In Australian Forestry* 54 (1 & 2): 105-108.
- Rojas, F. 1981. Especies forestales más utilizadas en los proyectos de reforestación en Costa Rica. Departamento de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. 131p.
- Suri, S.K. 1975. Correlation studies between bole diameter and crown projection area as an aid to thinning. *In Indian Forester* 101: 539-549.
- Torres, L.A. 1982. Influencia del sitio y la espesura en el crecimiento de plantaciones de teca (*Tectona grandis*) en Caparo, Venezuela. Universidad de Los Andes. Facultad de Ciencias Forestales. 67p.
- Ugalde, L. ed. 1997. Resultados de 10 años de investigación silvicultural del Proyecto Madeleña en Costa Rica. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica. 162 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. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 147p.
- Vásquez, W.; Ugalde, L. 1995. Rendimiento y calidad de sitio para *Gmelina arborea*, *Tectona grandis*, *Bombacopsis quinatum* y *Pinus caribaea* en Guanacaste, Costa Rica. CATIE, Turrialba, Costa Rica. Serie Técnica. Informe Técnico N° 256. 33 p.
- Vincent, A.J. 1964. Plantation teak (*Tectona grandis* L.) sample plot perlis N° 1 Mata Ayer Forest Reserve. *Malayan Forester* (27): 148-173.
- Waring, R.H. 1981. Efficiency of tree crowns and stemwood production at different canopy leaf densities. *In Forestry* 54 (2): 129-137.
- Waring, R.H. 1983. Estimating forest growth and efficiency in relation to canopy leaf area. *In Advances in Ecological Research* 13: 327-348.

9. Apéndices

Cuadro 1. Resumen de las parcelas establecidas en plantaciones de *Tectona grandis* en Costa Rica.

Código experimento	# sitio	Código de tratamiento	Lote #	Edad (meses)	Supervivencia (%)	Dap (cm)	Altura total (m)	# árboles por parcela	Espac1 (m)	Espac2 (m)	Área parcela (m ²)	IMA-Dap (cm/año)	IMA altura (m/año)	Área basal (m ² /ha)	Volumen (m ³ /ha)	IMA volumen (m ³ /ha/año)
001FI	401	CREC.001	1	216	23	25.2	25.6	19	200	200	434	1.4	1.4	21.9	256.2	14.2
001FI	401	CREC.002	1	216	53	22.0	24.0	42	250	250	482	1.2	1.3	32.6	360.0	20.0
001FI	401	CREC.003	1	216	57	21.5	20.8	41	260	220	459	1.2	1.2	32.4	317.0	17.6
001FI	401	CREC.004	1	216	30	23.5	23.0	20	240	284	435	1.3	1.3	19.9	208.6	11.6
002FI	402	CREC.001	1	216	34	21.3	23.6	41	200	200	552	1.2	1.3	26.6	286.6	15.9
002FI	402	CREC.002	1	216	37	22.1	24.8	44	200	200	530	1.2	1.4	31.9	361.3	20.1
003FI	403	CREC.001	1	216	28	23.9	24.1	35	210	210	566	1.3	1.3	26.7	290.2	16.1
003FI	403	CREC.002	1	216	21	24.7	23.3	25	210	210	551	1.4	1.3	21.8	231.1	12.8
004FI	404	CREC.001	1	216	31	17.5	21.2	28	150	160	217	1.0	1.2	30.9	295.1	16.4
005FI	405	CREC.001	1	96	38	20.9	18.0	25	300	300	530	2.6	2.3	16.1	131.9	16.5
005FI	405	CREC.002	1	96	39	20.9	18.5	26	300	300	503	2.6	2.3	17.7	148.3	18.5
005FI	405	CREC.003	1	96	54	16.9	14.8	28	300	300	425	2.1	1.9	14.7	98.4	12.3
006FI	406	CREC.001	1	204	38	19.2	20.6	45	200	200	525	1.1	1.2	24.8	231.9	13.6
007FI	407	CREC.001	1	84	43	20.0	20.3	19	300	300	400	2.9	2.9	14.8	136.1	19.4
007FI	407	CREC.002	1	84	39	20.7	18.0	17	300	300	400	3.0	2.6	14.4	116.9	16.7
008FI	408	CREC.001	1	120	29	21.8	22.2	26	200	300	558	2.2	2.2	17.4	176.2	17.6
011FI	410	CREC.001	1	132	64	16.5	15.6	28	300	300	400	1.5	1.4	14.9	104.8	9.5
011FI	410	CREC.002	1	132	73	14.2	14.8	32	300	300	400	1.3	1.3	12.6	83.2	7.6
012FI	411	CREC.002	1	96	37	23.8	21.1	35	250	300	707	3.0	2.8	22.1	210.5	26.3
012FI	411	CREC.001	1	96	32	24.3	21.4	30	250	300	707	3.0	2.7	19.7	190.0	23.7
015FI	414	CREC.001	1	73	52	16.9	17.1	29	300	322	541	2.8	2.8	12.0	93.2	15.3
018FI	417	CREC.001	1	97	59	17.5	17.1	26	300	300	400	2.2	2.1	15.6	120.1	14.9
019FI	501	CREC.001	1	217	82	24.0	21.0	36	300	300	400	1.3	1.2	40.7	391.1	21.6
020FI	502	CREC.001	1	181	27	24.0	19.9	28	200	200	707	1.6	1.3	31.7	292.3	19.4
021FI	503	CREC.001	1	205	65	29.6	21.6	20	435	520	707	1.7	1.3	18.4	182.0	11.2
022FI	504	CREC.001	1	177	41	24.0	22.0	15	355	305	400	1.8	1.5	16.9	170.5	11.6
023FI	505	CREC.001	1	541	15	42.6	31.6	11	310	320	707	0.8	0.7	22.2	316.4	7.0
024FI	506	CREC.001	1	58	48	14.8	16.6	21	300	300	400	3.1	3.4	9.0	67.8	14.0
024FI	506	CREC.002	1	58	66	15.3	15.1	29	300	300	400	3.2	3.1	13.4	92.3	19.1
024FI	506	CREC.003	1	58	59	16.1	16.3	26	300	300	400	3.3	3.4	13.3	97.7	20.2
024FI	506	CREC.004	1	58	64	14.5	15.4	28	300	300	400	3.0	3.2	11.5	80.3	16.6
025FI	301	CREC.001	1	52	65	18.8	19.6	67	300	300	918	4.3	4.5	20.3	178.6	41.2
025FI	301	CREC.001	1	67	60	20.7	21.0	62	300	300	918	3.7	3.8	22.6	213.4	36.2
025FI	301	CREC.001	1	81	34	24.2	21.3	35	300	300	918	3.6	3.2	17.5	168.4	24.9
025FI	301	CREC.001	1	94	34	26.7	22.3	35	300	300	918	3.3	2.9	21.3	216.2	27.6
025FI	301	CREC.001	1	101	33	29.0	22.8	34	300	300	918	3.3	2.7	22.8	237.5	28.2
025FI	301	CREC.001	1	117	23	30.2	23.7	24	300	300	918	3.1	2.4	18.7	201.4	20.7
025FI	301	CREC.001	1	145	20	32.8	25.9	21	300	300	918	2.7	2.1	19.3	226.3	18.7
025FI	301	CREC.002	1	145	30	30.1	25.4	28	330	330	1000	2.5	2.1	20.0	230.5	19.1

Continuación.....

Cuadro 1. Resumen de las parcelas establecidas en plantaciones de *Tectona grandis* en Costa Rica.

Código experimento	# sitio	Código de tratamiento	Lote #	Edad (meses)	Supervivencia (%)	Dap (cm)	Altura total (m)	# árboles por parcela	Espac1 (m)	Espac2 (m)	Area parcela (m ²)	IMA-Dap (m ³ /haño)	IMA altura (m ³ /haño)	Area basal (m ² /ha)	Volumen (m ³ /ha)	IMA volumen (m ³ /ha/año)
028F	302	CREC.001	1	43	77	12.5	16.4	111	265	276	1061	3.5	4.6	12.8	65.0	26.5
028F	302	CREC.001	1	58	56	18.9	18.6	114	265	276	1061	3.9	3.8	30.1	251.6	52.1
028F	302	CREC.001	1	67	38	20.7	19.7	56	265	276	1061	3.7	3.5	17.8	161.8	29.0
028F	302	CREC.001	1	70	40	22.4	20.9	72	265	276	1061	3.8	3.6	26.7	254.8	43.7
028F	302	CREC.001	1	77	40	24.1	22.0	72	265	276	1061	3.8	3.4	30.9	311.0	48.5
028F	302	CREC.001	1	102	38	26.5	23.6	70	265	276	1061	3.1	2.8	36.3	393.1	46.2
028F	302	CREC.001	1	131	26	29.2	25.6	38	265	276	1061	2.7	2.4	23.9	280.0	25.7
028F	302	CREC.002	1	131	24	30.8	26.3	36	245	265	941	2.8	2.4	28.4	337.5	30.9
031F	507	CREC.001	1	146	56	15.8	14.8	28	238	318	469	1.3	1.2	11.7	79.7	6.6
031F	507	CREC.002	1	146	44	17.5	16.9	22	293	293	444	1.4	1.4	11.9	92.2	7.6
032F	508	CREC.001	1	146	34	22.0	21.4	17	250	250	314	1.8	1.8	20.5	202.6	16.7
032F	508	CREC.002	1	146	42	16.8	18.7	21	200	250	266	1.4	1.5	17.5	151.1	12.4
033F	509	CREC.001	2	158	54	17.7	17.5	28	306	320	447	1.3	1.3	14.8	117.6	8.9
033F	509	CREC.002	2	158	58	16.5	15.4	29	306	320	447	1.3	1.2	13.8	96.8	7.4
034F	307	CREC.001	1	265	38	24.6	29.7	31	200	200	347	1.1	1.4	42.3	569.3	25.8
035F	308	CREC.001	2	288	15	41.5	34.8	12	200	200	336	1.7	1.5	48.3	765.4	31.9
036F	309	CREC.001	1	218	77	18.1	20.1	37	270	330	452	1.0	1.1	21.1	192.3	10.6
038F	419	CREC.001	1	211	21	31.3	24.3	15	300	300	630	1.8	1.4	18.3	199.6	11.4
040F	421	CREC.001	2	78	71	16.1	15.7	32	300	300	630	1.6	1.3	19.9	209.1	11.9
041F	422	CREC.001	2	83	60	15.5	11.3	49	300	300	661	2.5	2.4	9.9	70.2	10.8
041F	422	CREC.001	2	102	40	18.6	16.7	32	300	300	675	2.2	2.0	13.7	70.8	10.2
042F	423	CREC.001	1	192	32	26.1	16.2	23	300	300	666	1.6	1.0	17.7	97.0	11.4
042F	423	CREC.001	1	211	29	26.9	21.6	21	300	300	666	1.5	1.2	18.0	129.4	8.1
044F	101	CREC.001	1	140	40	22.3	22.7	43	310	230	702	1.9	1.9	24.0	175.2	10.0
045F	102	CREC.001	1	92	44	21.1	18.2	32	300	300	648	2.8	2.4	17.2	245.6	21.1
048F	104	CREC.001	1	57	58	15.1	16.3	46	258	265	513	3.2	3.4	16.0	141.4	18.4
004BPC	401	CREC.005	7	79	76	17.7	17.1	37	307	307	462	2.6	2.6	19.7	119.9	25.2
004BPC	401	CREC.014	9	55	61	12.5	10.7	30	300	300	435	2.7	2.3	8.4	152.8	23.2
															41.6	9.1

Cuadro 2. Resumen de las parcelas establecidas para *Bombacopsis quinata* en Costa Rica.

Código explotación	# sitio	Código de tratamiento	Lote #	Edad (meses)	Supervivencia (%)	Dap (cm)	Altura total (m)	# árboles por parcela	Espac1 (m)	Espac2 (m)	Área parcela (m ²)	IMA-Dap (cm/año)	IMA altura (m/año)	Área basal (m ² /ha)	Volumen (m ³ /ha/año)	IMA volumen (m ³ /ha/año)
009FI	408	CREC.001	2	107	78	27.9	15.3	32	544	410	672	2.6	1.7	19.6	121.4	13.6
009FI	408	CREC.002	2	107	73	21.1	13.8	30	609	408	658	2.4	1.6	15.9	88.2	9.9
009FI	408	CREC.003	2	107	73	17.3	9.1	30	544	605	670	1.9	1.0	10.6	39.6	4.4
009FI	408	CREC.001	3	143	71	29.0	18.2	35	500	500	1188	2.4	1.5	19.5	142.8	12.0
009FI	408	CREC.002	3	143	61	29.6	16.9	13	500	500	400	2.5	1.4	22.3	151.8	12.7
009FI	408	CREC.003	3	143	100	28.5	16.7	17	500	500	400	2.4	1.4	27.0	185.3	15.6
010FI	409	CREC.001	1	84	59	18.1	12.4	26	300	300	400	2.6	1.8	16.8	83.1	11.9
010FI	409	CREC.002	1	84	52	19.4	11.0	23	300	300	400	2.8	1.8	16.9	75.7	10.8
010FI	409	CREC.003	1	84	36	17.3	9.1	16	300	300	400	2.5	1.3	9.4	35.2	5.0
010FI	409	CREC.004	1	84	48	20.7	12.7	21	300	300	400	3.0	1.8	17.6	89.8	12.8
013FI	412	CREC.001	1	202	33	36.5	23.9	39	400	400	1917	2.2	1.4	21.3	285.0	12.2
013FI	412	CREC.002	2	132	79	28.4	15.6	22	520	480	707	2.6	1.4	19.7	122.7	11.2
014FI	413	CREC.001	1	228	40	30.8	24.0	32	300	310	713	1.6	1.3	33.4	324.5	17.1
016FI	415	CREC.001	1	85	77	18.8	15.3	34	300	300	400	2.7	2.2	23.6	145.4	20.5
017FI	416	CREC.001	1	97	48	19.0	13.4	27	300	300	502	2.4	1.7	15.3	83.1	10.3
027FI	303	CREC.001	1	51	54	15.4	8.9	97	250	250	1083	3.6	2.1	16.7	60.2	14.2
027FI	303	CREC.001	1	66	54	17.8	11.8	97	250	250	1083	3.2	2.1	21.7	102.0	18.5
027FI	303	CREC.001	1	75	40	19.6	11.8	72	250	250	1083	3.2	2.1	20.5	102.0	18.5
027FI	303	CREC.001	1	80	28	21.2	11.8	46	250	250	1083	3.2	2.1	15.0	102.0	18.5
027FI	303	CREC.001	1	93	24	22.6	11.8	43	250	250	1083	2.9	2.0	15.9	102.0	18.5
027FI	303	CREC.001	1	116	18	26.8	11.8	33	250	250	1083	2.8	1.7	17.1	102.0	18.5
027FI	303	CREC.001	1	144	18	29.2	20.1	33	250	250	1083	2.4	1.7	20.4	165.2	13.8
028FI	304	CREC.001	1	143	63	21.6	18.0	29	285	270	332	1.8	1.5	32.1	233.7	19.6
029FI	305	CREC.001	1	55	95	14.5	17.1	103	300	300	1021	3.2	2.1	16.6	102.0	18.5
029FI	305	CREC.001	1	66	93	15.6	17.1	103	300	300	1021	2.8	2.0	19.2	102.0	18.5
029FI	305	CREC.001	1	76	50	19.1	17.1	55	300	300	1021	3.0	2.0	15.4	102.0	18.5
029FI	305	CREC.001	1	101	50	21.3	17.1	56	300	300	1021	2.5	2.0	19.5	102.0	18.5
029FI	305	CREC.001	1	130	50	22.0	17.1	56	300	300	1021	2.0	1.6	20.9	143.8	13.3
030FI	306	CREC.001	1	49	56	14.9	17.1	64	300	300	1000	3.6	2.1	11.1	102.0	18.5
030FI	306	CREC.001	1	59	57	17.1	17.1	63	300	300	1000	3.5	2.1	14.4	102.0	18.5
030FI	306	CREC.001	1	72	54	19.6	17.1	60	300	300	1000	3.3	2.1	15.9	102.0	18.5
030FI	306	CREC.001	1	95	55	21.4	17.1	61	300	300	1000	2.7	2.1	21.5	102.0	18.5
030FI	306	CREC.001	1	123	54	22.7	18.2	120	300	300	1000	2.2	1.8	48.7	178.7	17.4
031FI	507	CREC.001	2	148	90	17.4	9.4	45	313	317	448	1.4	0.8	24.0	91.2	7.5
032FI	508	CREC.001	2	148	60	23.6	17.8	33	255	255	348	1.9	1.5	41.5	303.4	24.9
033FI	509	CREC.001	1	158	91	16.7	10.1	50	324	355	533	1.3	0.8	20.6	83.4	6.3
034FI	307	CREC.001	2	301	46	26.6	26.9	37	200	200	340	1.1	1.1	59.2	656.8	26.2
035FI	308	CREC.001	1	265	28	40.4	26.3	21	200	200	340	1.8	1.2	79.3	857.0	38.8
037FI	418	CREC.001	1	79	58	17.5	11.8	37	300	350	627	2.7	1.8	14.1	67.6	10.3
039FI	420	CREC.001	1	151	55	27.3	20.3	22	300	300	409	2.2	1.6	31.5	257.3	20.4
043FI	424	CREC.001	1	85	98	14.1	7.1	55	250	250	381	2.0	1.0	22.5	65.7	9.3
043FI	424	CREC.001	1	104	66	15.5	11.0	37	250	250	381	1.8	1.3	16.3	80.6	9.3
046FI	102	CREC.001	1	104	53	19.7	12.1	40	300	300	680	2.3	1.4	17.7	87.0	10.0
047FI	103	CREC.001	1	201	38	33.8	23.1	44	300	300	1479	2.0	1.4	28.6	247.1	14.8
001BPC				139	47	16.9	8.0	23	283	283	392	1.4	0.6	13.1	47.3	4.1
001BPC				115	49	18.8	9.4	24	300	300	441	1.9	0.9	15.1	63.9	6.7

Cuadro 3. Lista de los árboles de *Tectona grandis* aprovechados para la medición de variables de composición de biomasa de copa.

Código de experimento	Sitio	Código árbol	Arbol (#)	Edad (años)	Dap (cm)	Altura total (m)
9005BPC	Samara	TCarrillo	3	8	21.0	15.2
9005BPC	Samara	TCarrillo	4	8	20.3	16.4
8805BPC	Samara	TCarrillo	1	10	18.6	19.8
8805BPC	Samara	TCarrillo	2	10	24.5	22.0
008FI	Jicaral	TFish	1	11	24.0	22.8
011FI	Jicaral	SPedro	1	12	30.0	24.7
032FI	Parrita	Bat	1	13	24.3	20.9
032FI	Parrita	Bat	2	13	24.3	23.1
024FI	Tempisque	QH	1	14	27.3	21.1
024FI	Tempisque	QH	2	14	23.3	20.3
022FI	Quepos	Milo	2	16	22.6	21.5
022FI	Quepos	Milo	1	16	28.3	21.2
042FI	Tempisque	CTrej	1	18	29.6	20.3
042FI	Tempisque	CTrej	2	18	24.8	20.1
019FI	Quepos	GuiR	1	19	30.8	24.8
019FI	Quepos	GuiR	2	19	33.1	24.8
R	Tempisque	JR	1	20	33.5	23.4
R	Tempisque	JR	2	20	40.7	23.3
034FI	Palmar Norte	T-PN	1	23	34.4	29.3
035FI	Buenos Aires	TBA	1	27	50.0	32.1
023FI	Parrita	GuiV	1	46	58.7	31.9
023FI	Parrita	GuiV	2	47	39.8	33.3
044FI	Guápiles	FB	1	12	20.1	19.4
044FI	Guápiles	FB	2	12	30.3	21.0
044FI	Guápiles	FB	3	12	27.0	21.1
014GTZ	Cahuita	GR	1	9.4	29.5	18.0
014GTZ	Cahuita	GR	2	9.4	33.6	20.7
014GTZ	Cahuita	GR	3	9.4	34.3	19.0
023GTZ	Cahuita	MG	1	9.4	36.9	23.0
023GTZ	Cahuita	MG	2	9.4	34.4	21.1
023GTZ	Cahuita	MG	3	9.4	32.5	21.3
045FI	Guácimo	LS	1	7.7	16.5	18.8
045FI	Guácimo	LS	2	7.7	21.6	18.9
045FI	Guácimo	LS	3	7.7	20.1	18.3
048FI	Guápiles	FyC	1	4.8	16.6	18.6
048FI	Guápiles	FyC	2	4.8	13.4	16.5
048FI	Guápiles	FyC	3	4.8	9.9	12.4

Cuadro 4. Lista de los árboles de *Bombacopsis quinata* aprovechados para la medición de variables de composición de biomasa de copa.

Código de experimento	Sitio	Código árbol	Arbol (#)	Edad (años)	Dap (cm)	Altura total (m)
043FI	Tempisque	JVill	2	10	14.5	12.2
043FI	Tempisque	JVill	1	10	14.4	11.9
008FI	Jicaral	PFish2	2	10	24.9	15.3
013FI	Jicaral	Tajo2	2	12	29.8	15.8
032FI	Parrita	Bat	2	13	21.1	16.6
032FI	Parrita	Bat	1	13	26.0	16.6
85B3	Samara	PCarrillo	3	13	20.4	11.9
85B3	Samara	PCarrillo	4	13	21.2	13.5
008FI	Jicaral	PFish1	1	13	35.9	19.5
024FI	Tempisque	QH	1	14	22.0	12.3
024FI	Tempisque	QH	2	14	20.0	11.7
83A2	Samara	PCarrillo	1	15	20.1	14.1
83A2	Samara	PCarrillo	2	15	22.8	14.2
013FI	Jicaral	Tajo1	1	18	37.9	23.0
014FI	Jicaral	Tranq	1	20	30.8	22.3
035FI	Buenos Aires	P-BA	1	23	46.0	25.7
034FI	Palmar Norte	P-PN	1	26	24.5	19.1

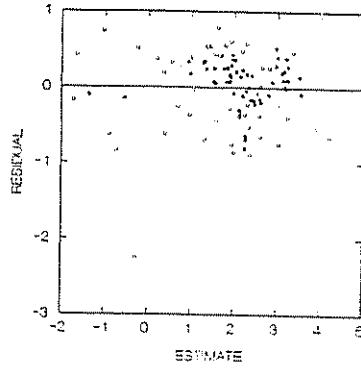


Figura 1. Distribución de los residuos de la Ecuación 1 (Pág. 48).

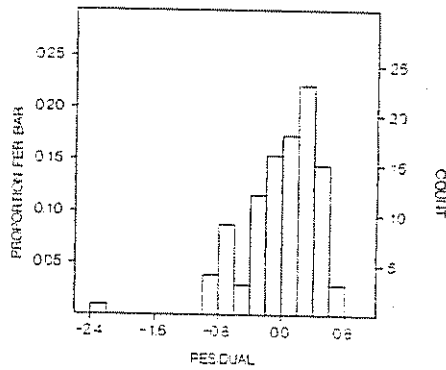


Figura 2. Histograma de los residuos de la Ecuación 1 (Pág. 48).

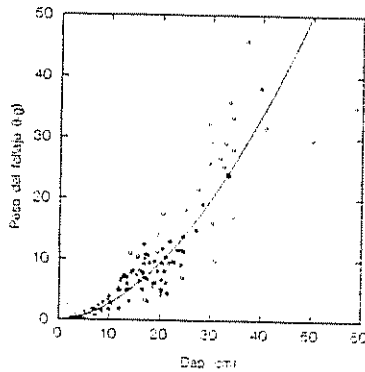


Figura 3. Ajuste de la Ecuación 1 (Pág. 48) con los datos de campo.

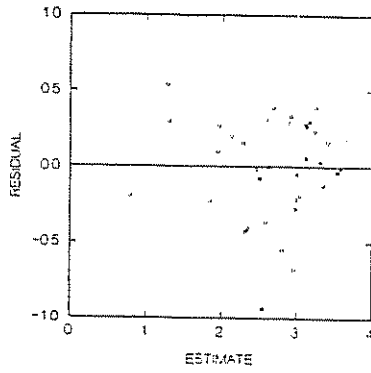


Figura 4. Distribución de los residuos de la Ecuación 2 (Pág. 50).

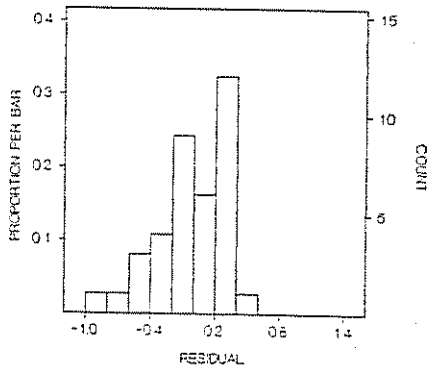


Figura 5. Histograma de los residuos de la Ecuación 2 (Pág. 50).

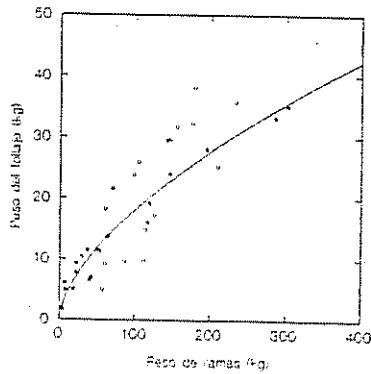


Figura 6. Ajuste de la Ecuación 2 (Pág. 50) con los datos de campo.

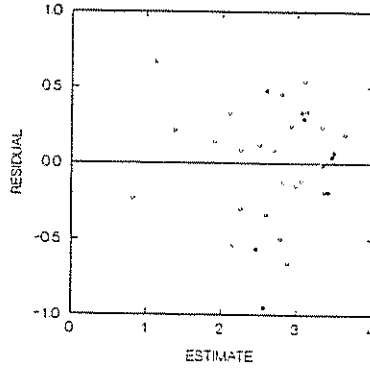


Figura 7. Distribución de los residuos de la Ecuación 3 (Pág. 53).

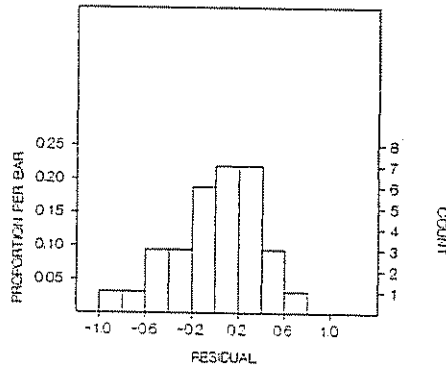


Figura 8. Histograma de los residuos de la Ecuación 3 (Pág. 53).

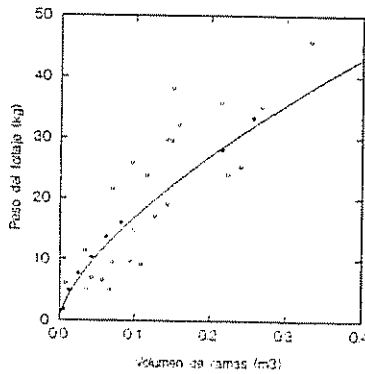


Figura 9. Ajuste de la Ecuación 3 (Pág. 53) con los datos de campo.

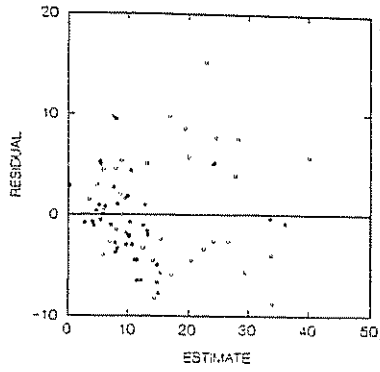


Figura 10. Distribución de los residuos de la Ecuación 4 (Pág. 54).

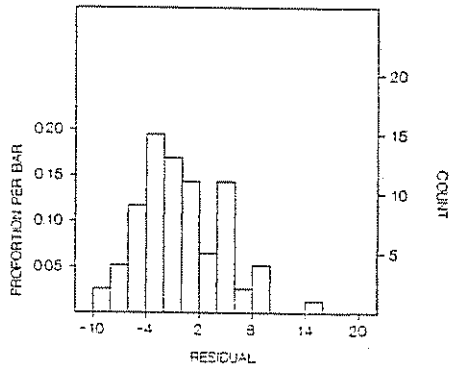


Figura 11. Histograma de los residuos de la Ecuación 4 (Pág. 54).

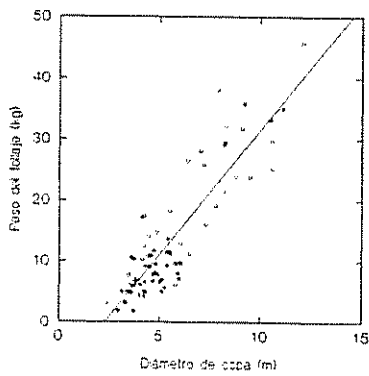


Figura 12. Ajuste de la Ecuación 4 (Pág. 54) con los datos de campo.

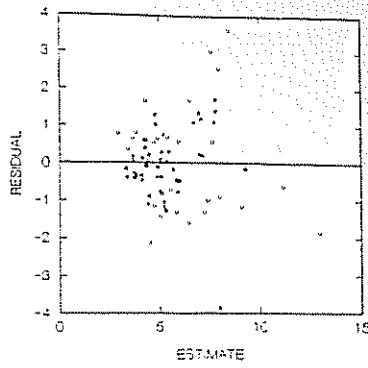


Figura 13. Distribución de los residuos de la Ecuación 8 (Pág. 61).

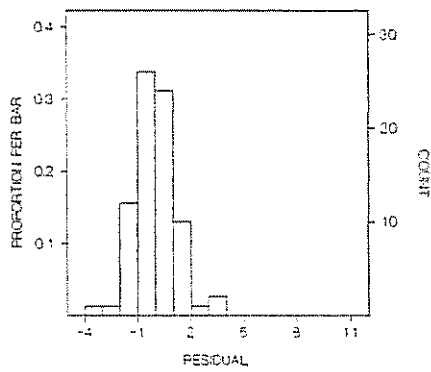


Figura 14. Histograma de los residuos de la Ecuación 8 (Pág. 61).

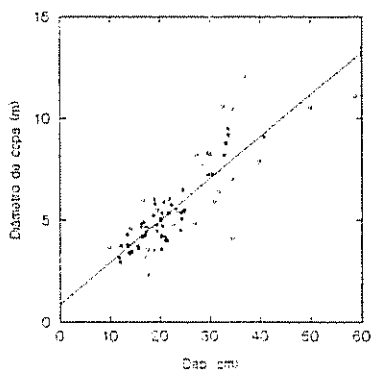


Figura 15. Ajuste de la Ecuación 8 (Pág. 61) con los datos de campo.

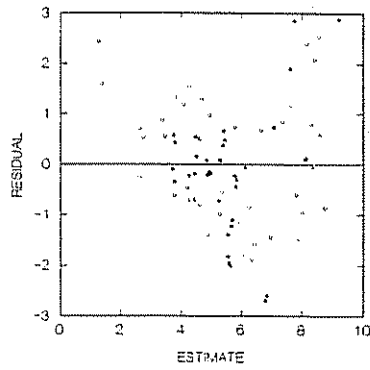


Figura 16. Distribución de los residuos de la Ecuación 11 (Pág. 61).

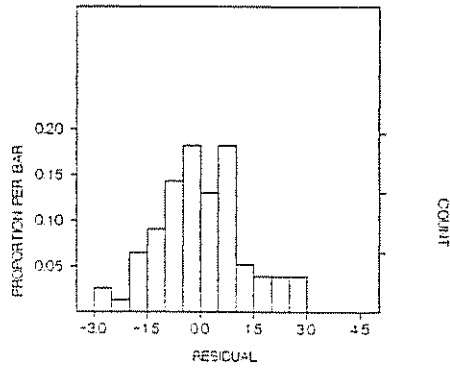


Figura 17. Histograma de los residuos de la Ecuación 11 (Pág. 61).

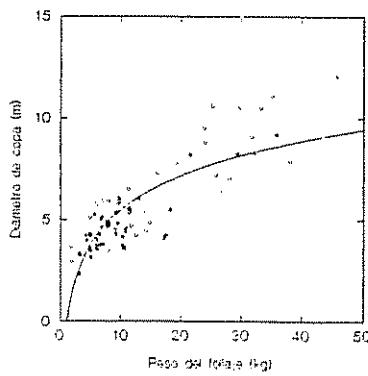


Figura 18. Ajuste de la Ecuación 11 (Pág. 61) con los datos de campo.

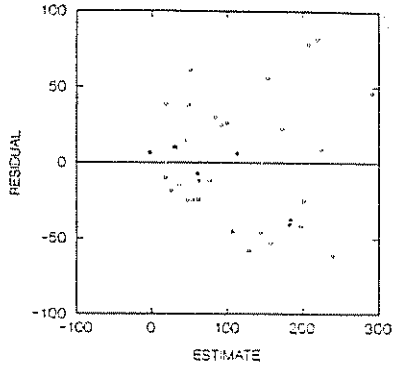


Figura 19. Distribución de los residuos de la Ecuación 16 (Pág. 61).

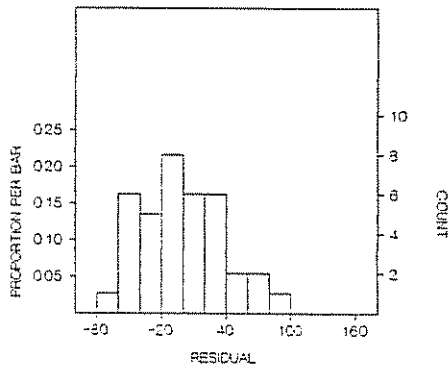


Figura 20. Histograma de los residuos de la Ecuación 16 (Pág. 61).

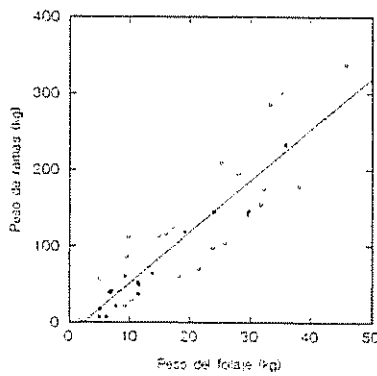


Figura 21. Ajuste de la Ecuación 16 (Pág. 61) con los datos de campo.

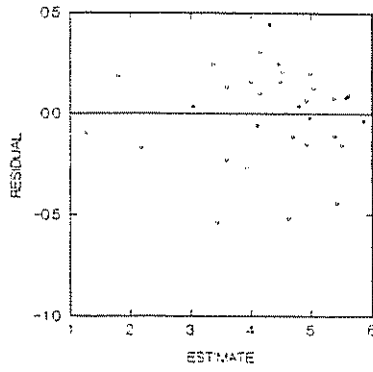


Figura 22. Distribución de los residuos de la Ecuación 17 (Pág. 61).

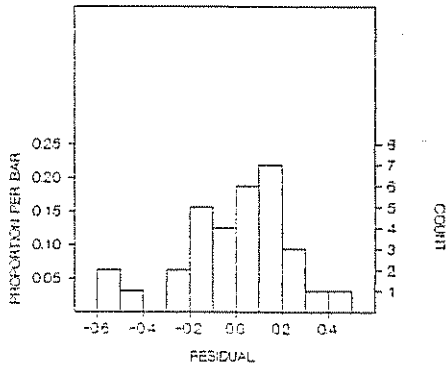


Figura 23. Histograma de los residuos de la Ecuación 17 (Pág. 61).

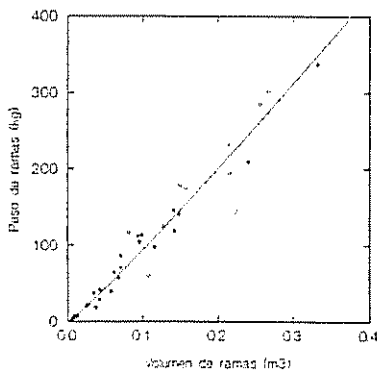


Figura 24. Ajuste de la Ecuación 17 (Pág. 61) con los datos de campo.

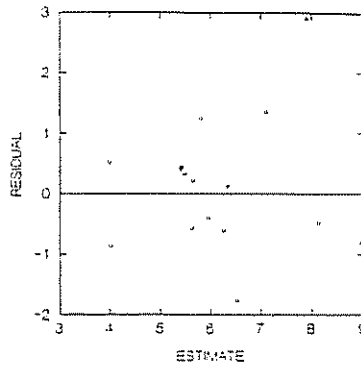


Figura 25. Distribución de los residuos de la Ecuación 25 (Pág. 62).

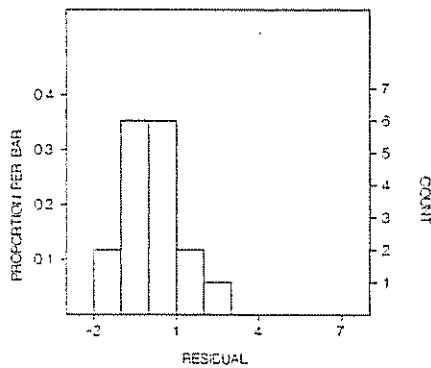


Figura 26. Histograma de los residuos de la Ecuación 25 (Pág. 62).

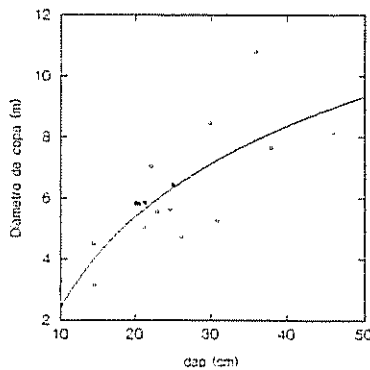


Figura 27. Curva de mejor ajuste de la Ecuación 25 (Pág. 62) con los datos de campo.

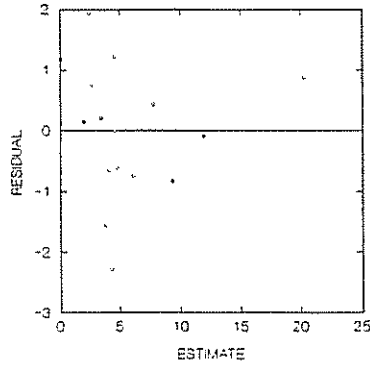


Figura 28. Distribución de los residuos de la Ecuación 26 (Pág. 62).

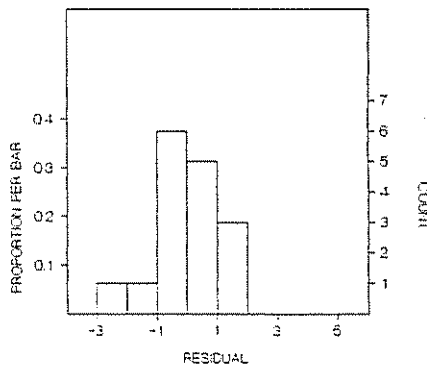


Figura 29. Histograma de los residuos de la Ecuación 26 (Pág. 62).

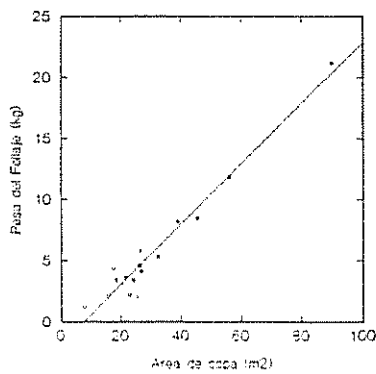


Figura 30. Ajuste de la Ecuación 26 (Pág. 62) con los datos de campo.

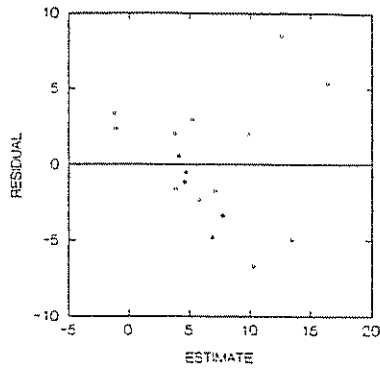


Figura 31. Distribución de los residuos de la Ecuación 30 (Pág. 62).

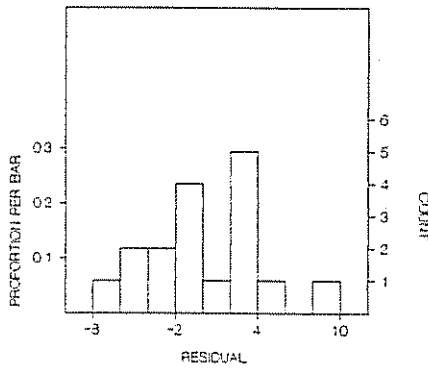


Figura 32. Histograma de los residuos de la Ecuación 30 (Pág. 62).

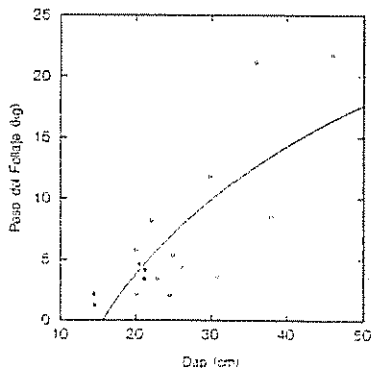


Figura 33. Ajuste de la Ecuación 30 (Pág. 62) con los datos de campo.

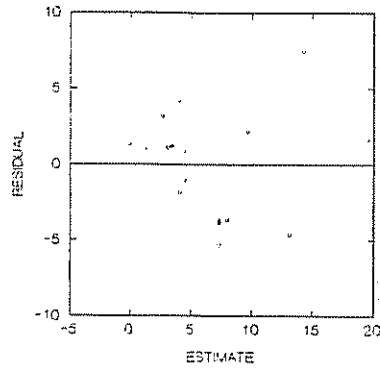


Figura 34. Distribución de los residuos de la Ecuación 31 (Pág. 62).

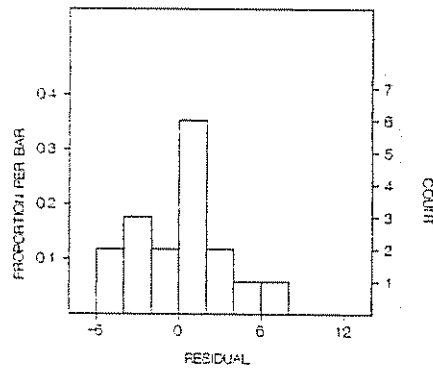


Figura 35. Histograma de los residuos de la Ecuación 31 (Pág. 62).

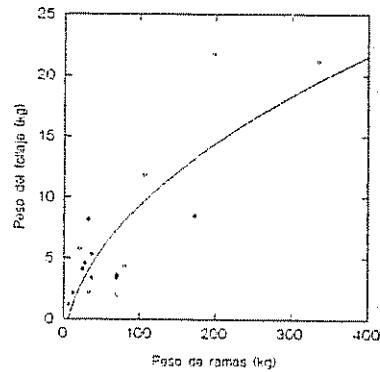


Figura 36. Ajuste de la Ecuación 31 (Pág. 62) con los datos de campo.

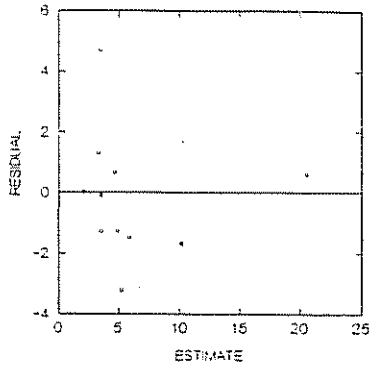


Figura 37. Distribución de los residuos de la Ecuación 32 (Pág. 62).

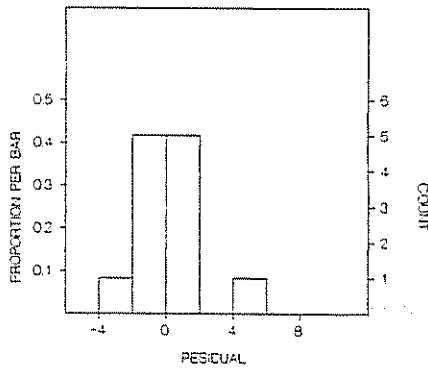


Figura 38. Histograma de los residuos de la Ecuación 32 (Pág. 62).

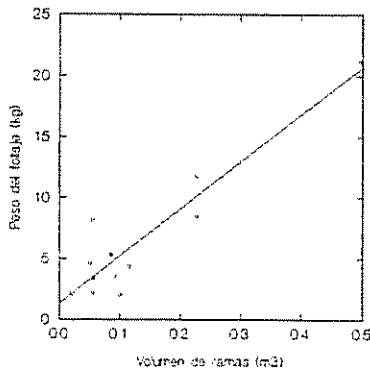


Figura 39. Ajuste de la Ecuación 32 (Pág. 62) con los datos de campo.

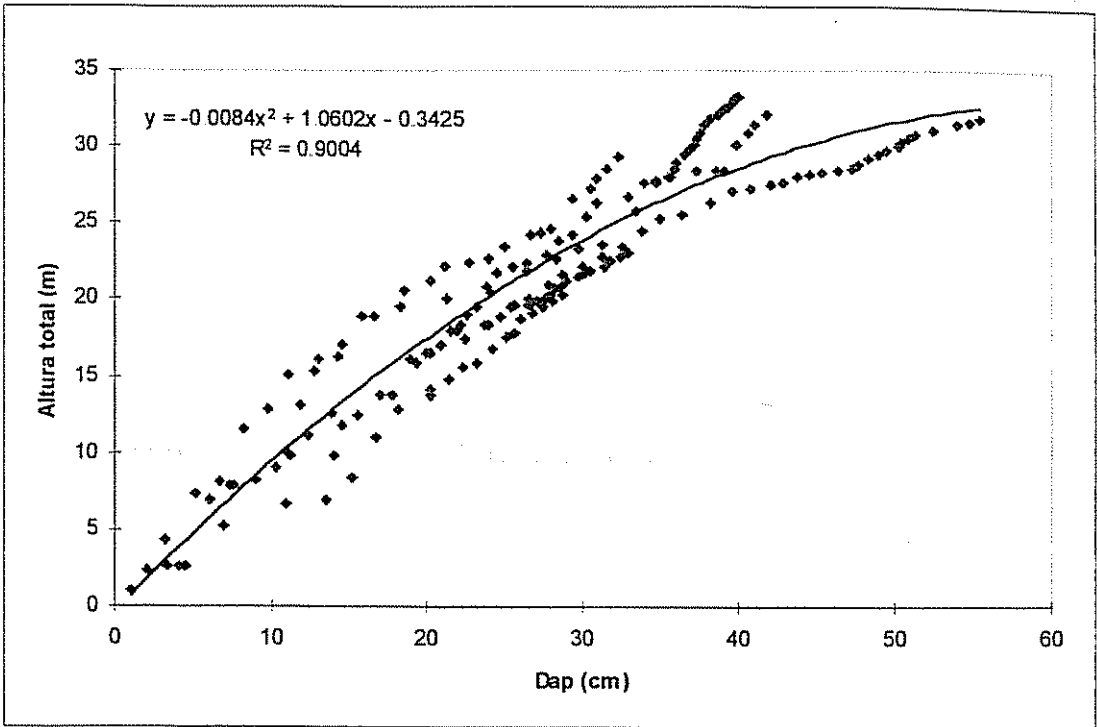


Figura 40. Ajuste de la Ecuación 40 (Pág. 72) con los datos provenientes del análisis fustal de 6 árboles de *Tectona grandis*.

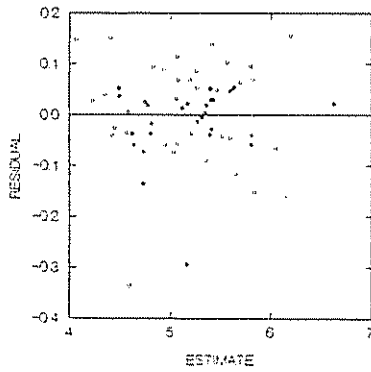


Figura 41. Distribución de los residuos de la Ecuación 39 (Pág. 63).

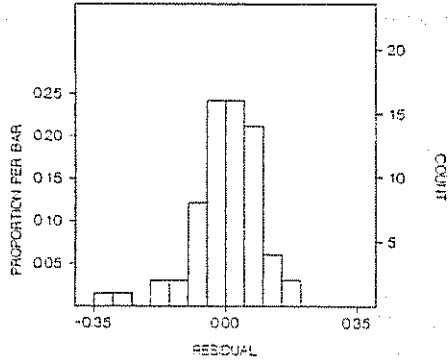


Figura 42. Histograma de los residuos de la Ecuación 39 (Pág. 63).

Cuadro 5. Escenario 1: desarrollo de una plantación de *Tectona grandis* manejada a un área basal máxima de 18 m²/ha y partiendo de 1111 árboles /ha (3 x 3 m).

Edad (años)	Espac. 1 (m)	Espac. 2 (m)	2-Opcion		1-Opcion		N (arb/ha)	Intens. raleo (%)	Dap (cm)	IMA-dap (cm/año)	Htotal (m)	IMA-Htotal (m/año)	AB (m ² /ha)	AB-extr. (m ² /ha)	AB-extr. (%)	VOL total remanente (m ³ /ha)	VOL total extralido (m ³ /ha)	IMA VOL total remanente (m ³ /ha/año)
			N-max (arb/ha)	N-max (arb/ha)														
1	3.0	3.0	---	---	1111				3.2	3.2	3.0	3.0	0.9			1.2		1.2
2	3.0	3.0	---	---	1111				6.3	3.1	6.0	3.0	3.4			9.2		4.6
3	3.0	3.0	---	---	1111				7.8	3.1	7.4	2.9	5.2			17.4		7.0
4	3.0	3.0	1331	---	1111				12.1	3.0	11.3	2.8	12.8			65.2		16.3
1raleo*	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo
5	4.2	4.2	998	948	556		50		13.6	3.0	13.0	2.9	8.0	4.9	38.0	46.6	18.6	10.4
6	4.2	4.2	588	651	556				17.2	2.9	15.1	2.5	12.9			87.7		14.6
7	4.2	4.2	471	534	556				19.4	2.8	16.4	2.3	16.5			121.3		17.3
8	4.2	4.2	431	490	556				20.5	2.7	17.0	2.3	18.3			139.6		18.6
2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo
9	5.7	5.7	399	453	308		45		21.5	2.7	17.5	2.2	11.2	7.1	39.0	88.0	51.6	11.0
8	5.7	5.7	351	394	308				23.3	2.6	18.6	2.1	13.2			110.3		12.3
10	5.7	5.7	317	350	308				25.0	2.5	19.6	2.0	15.1			133.3		13.3
11	5.7	5.7	282	303	308				27.2	2.5	20.8	1.9	17.9			167.8		15.3
3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo
12	7.2	7.2	270	286	193		37		28.1	2.4	21.3	1.9	12.0	5.9	33.0	115.2	52.5	10.0
13	7.2	7.2	242	245	193				30.7	2.4	22.8	1.8	14.3			146.9		11.3
14	7.2	7.2	227	224	193				32.3	2.3	23.7	1.7	15.8			168.8		12.1
15	7.2	7.2	216	207	193				33.8	2.3	24.5	1.6	17.3			191.1		12.7
16	7.2	7.2	211	200	193				34.4	2.2	24.9	1.6	18.0			202.3		13.1
4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo
16	8.3	8.3	206	193	145		25		35.1	2.2	25.3	1.6	14.1	4.0	22.0	160.2	42.1	10.0
17	8.3	8.3	198	182	145				36.4	2.1	26.0	1.5	15.1			176.6		10.4
18	8.3	8.3	191	172	145				37.5	2.1	26.7	1.5	16.0			192.5		10.7
19	8.3	8.3	186	164	145				38.5	2.0	27.3	1.4	16.9			207.7		10.9
20	8.3	8.3	178	153	145				40.0	2.0	28.1	1.4	18.2			230.8		11.5
5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo
20.5	9.6	9.6	176	149	109		25		40.5	2.0	28.4	1.4	14.0	4.2	23.0	179.7	51.1	8.8
21	9.6	9.6	174	146	109				41.1	2.0	29.7	1.4	14.4			186.2		8.9
22	9.6	9.6	169	140	109				42.0	1.9	29.3	1.3	15.1			199.0		9.0
23	9.6	9.6	166	135	109				42.9	1.9	29.8	1.3	15.8			211.1		9.2
24	9.6	9.6	163	130	109				43.7	1.8	30.2	1.3	16.3			222.4		9.3
25	9.6	9.6	160	126	109				44.4	1.8	30.6	1.2	16.9			232.8		9.3
26	9.6	9.6	152	115	109				46.8	1.8	32.0	1.2	18.7			269.4	215.9	10.4
turno fin	turno fin	turno fin	turno fin	turno fin	turno fin	turno fin	turno fin	turno fin	turno fin	turno fin	turno fin	turno fin	turno fin	turno fin	turno fin	turno fin	turno fin	turno fin
26.5	9.6	9.6	149	111	109				47.7	1.8	32.5	1.2	19.4			284.4		10.7
27	9.6	9.6	147	107	109				48.6	1.8	33.0	1.2	20.2			299.8		11.1
28	9.6	9.6	142	100	109				50.4	1.8	34.0	1.2	21.7			332.5		11.9

* A 3 x 3 m. de espaciamiento en condiciones excelentes de crecimiento, el primer raleo se podría ejecutar 1 o 2 años antes.

donde:

- Edad (años): edad de la plantación
- Espac. 1, Espac. 2 (m): espaciamientos o distancias entre los árboles de la plantación
- N-max (arb/ha): densidad de plantación máxima (óptima) según modelos desarrollados (ver pág. 71)
- N (arb/ha): densidades de plantación del escenario
- Intens. raleo (%): intensidad de los raleos con base en el número de árboles
- dap (cm): diámetro promedio de la plantación
- IMA-dap (cm/año): incremento medio anual en dap
- Htotal (m): altura total promedio de la plantación
- IMA-Htotal (m/año): incremento medio anual en altura total
- AB (m²/ha): área basal
- AB-extr. (m²/ha): área basal extraída
- AB-extr. (%): área basal extraída
- VOL total remanente (m³/ha): volumen total remanente
- VOL total extraído (m³/ha): volumen total extraído
- IMA VOL total remanente (m³/ha/año): incremento medio anual en volumen total remanente.

Cuadro 6. Escenario 2: desarrollo de una plantación de *Tectona grandis* manejada a un área basal máxima de 18 m²/ha y partiendo de 816 árboles /ha (3.5 x 3.5 m).

Edad (años)	Espac 1 (m)	Espac 2 (m)	2-opcion N-max (arb/ha)	1-Opcion N-max (arb/ha)	N (arb/ha)	Intens. raleo (%)	Dap (cm)	IMA-dap (cm/año)	Htotal (m)	IMA-Htotal (m/año)	AB (m ² /ha)	AB-extr. (m ² /ha)	AB-extr. (%)	VOL total remanente (m ³ /ha)	VOL total extraído (m ³ /ha)	IMA VOL total remanente (m ³ /ha/año)
1	3.5	3.5	---	---	816		3.2	3.2	3.0	3.0	0.7			0.9		0.9
2	3.5	3.5	---	---	816		4.8	3.2	4.5	3.0	1.4			2.9		2.0
3	3.5	3.5	---	---	816		7.8	3.1	7.4	2.9	3.8			12.8		5.1
4	3.5	3.5	2046	1350	816		10.6	3.0	10.0	2.6	7.2			32.4		9.3
5	3.5	3.5	805	826	816		14.8	3.0	13.7	2.7	14.0			86.4		17.3
1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo
6	4.8	4.8	678	729	431	47	16.0	2.9	14.4	2.6	8.7	5.3	38.0	56.3	30.1	10.2
7	4.8	4.8	471	534	431		19.4	2.8	16.4	2.3	12.8			94.0		13.4
8	4.8	4.8	399	453	431		21.5	2.7	17.5	2.2	15.6			123.1		15.4
9	4.8	4.8	351	394	431		23.3	2.6	18.6	2.1	18.4			154.2		17.1
2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo
10	6.3	6.3	332	370	249	42	24.2	2.5	19.1	2.0	11.4	7.0	38.0	98.1	56.1	10.3
11	6.3	6.3	282	303	249		27.2	2.5	20.8	1.9	14.4			135.2		12.3
12	6.3	6.3	260	271	249		29.0	2.4	21.8	1.8	16.4			161.4		13.5
13	6.3	6.3	242	245	249		30.7	2.4	22.8	1.8	18.4			188.8		14.5
3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo
14	8.0	8.0	234	234	158	36	31.5	2.3	23.3	1.7	12.3	6.1	33.0	129.1	59.8	9.6
15	8.0	8.0	216	207	158		33.8	2.3	24.5	1.6	14.2			156.3		10.4
16	8.0	8.0	206	193	158		35.1	2.2	25.3	1.6	15.3			174.5		10.9
17	8.0	8.0	198	182	158		36.4	2.1	26.0	1.5	16.4			192.4		11.3
18	8.0	8.0	191	172	158		37.5	2.1	26.7	1.5	17.5			209.8		11.7
18.5	8.0	8.0	188	168	158		38.0	2.1	27.0	1.5	18.0			218.2		11.8
4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo
19	9.2	9.2	186	164	119	25	38.5	2.0	27.3	1.4	13.8	4.1	23.0	169.8	48.4	8.9
20	9.2	9.2	178	153	119		40.0	2.0	28.1	1.4	14.9			188.6		9.4
21	9.2	9.2	174	146	119		41.1	2.0	28.7	1.4	15.7			203.1		9.7
22	9.2	9.2	169	140	119		42.0	1.9	29.3	1.3	16.5			217.0		9.9
23	9.2	9.2	166	135	119		42.9	1.9	29.8	1.3	17.2			230.2		10.0
24	9.2	9.2	163	130	119		43.7	1.8	30.2	1.3	17.8			242.5		10.1
25	9.2	9.2	160	126	119		44.4	1.8	30.6	1.2	18.4			253.8	194.3	10.2
turno fin	turno final	turno final	turno final	turno final	turno final	turno final	turno final	turno final	turno final	turno final	turno final	turno final	turno final	turno final	turno final	turno final
25.5	9.2	9.2	159	125	119		44.8	1.8	30.8	1.2	18.7			259.1		10.2
26	9.2	9.2	152	115	119		46.8	1.8	32.0	1.2	20.4			293.8		11.3
27	9.2	9.2	147	107	119		48.6	1.8	33.0	1.2	22.0			327.0		12.1

donde:

Edad (años): edad de la plantación

Espac. 1, Espac. 2 (m): espaciamientos o distancias entre los árboles de la plantación

N-max (arb/ha): densidad de plantación máxima (óptima) según modelos desarrollados (ver pág. 71)

N (arb/ha): densidades de plantación del escenario

Intens. raleo (%): intensidad de los raleos con base en el número de árboles

dap (cm): diámetro promedio de la plantación

IMA-dap (cm/año): incremento medio anual en dap

Htotal (m): altura total promedio de la plantación

IMA-Htotal (m/año): incremento medio anual en altura total

AB (m²/ha): área basal

AB-extr. (m²/ha): área basal extraída

AB-extr. (%): área basal extraída

VOL total remanente (m³/ha): volumen total remanente

VOL total extraído (m³/ha): volumen total extraído

IMA VOL total remanente (m³/ha/año): incremento medio anual en volumen total remanente.

Cuadro 7. Escenario 3: desarrollo de una plantación de *Tectona grandis* manejada a un área basal máxima de 20 m²/ha y partiendo de 1111 árboles /ha (3.0 x 3.0 m).

Edad (años)	2-opcion		1-Opcion		N (arb/ha)	Intens. raleo (%)	Dap (cm)	IMA-dap (cm/año)	Htotal (m)	IMA-Htotal (m/año)	AB (m ² /ha)	AB-extr (m ² /ha)	AB-extr. (%)	VOL total remanente (m ³ /ha)	VOL total extraído (m ³ /ha)	IMA VOL total remanente (m ³ /ha/año)
	Espac 1 (m)	Espac 2 (m)	N-max (arb/ha)	N-max (arb/ha)												
1	3.0	3.0	—	—	1111		3.2	3.2	3.0	3.0	0.9			1.2		1.2
2	3.0	3.0	—	—	1111		6.3	3.1	6.0	3.0	3.4			9.2		4.6
3	3.0	3.0	—	—	1111		9.2	3.1	8.7	2.9	7.4			28.9		9.6
4	3.0	3.0	1331	1112	1111		12.1	3.0	11.3	2.8	12.8			65.2		16.3
1raleo *	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo
5	4.2	4.2	998	948	556	50	13.5	3.0	13.0	2.9	8.0	4.9	38.0	46.6	18.6	10.4
6	4.2	4.2	588	651	556		17.2	2.9	15.1	2.5	12.9			87.7		14.6
7	4.2	4.2	471	534	556		19.4	2.8	16.4	2.3	16.5			121.3		17.3
8	4.2	4.2	399	453	556		21.5	2.7	17.5	2.2	20.1			158.7		19.8
2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo
9	5.7	5.7	372	421	306	45	22.4	2.6	18.1	2.1	12.1	8.0	40.0	98.2	60.5	11.6
10	5.7	5.7	317	350	306		25.0	2.5	19.6	2.0	15.0			132.2		13.2
11	5.7	5.7	282	303	306		27.2	2.5	20.8	1.9	17.8			166.4		15.1
12	5.7	5.7	260	271	306		29.0	2.4	21.8	1.8	20.2			198.6		16.6
3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo
13	7.4	7.4	250	257	185	40	29.9	2.4	22.3	1.8	12.9	7.3	36.0	130.0	88.6	10.4
14	7.4	7.4	227	224	185		32.3	2.3	23.7	1.7	15.1			161.2		11.5
15	7.4	7.4	216	207	185		33.8	2.3	24.5	1.6	16.5			182.5		12.2
16	7.4	7.4	206	193	185		35.1	2.2	25.3	1.6	17.9			203.8		12.7
17	7.4	7.4	198	182	185		36.4	2.1	26.0	1.5	19.2			224.7		13.2
18	7.4	7.4	191	172	185		37.5	2.1	26.7	1.5	20.4			244.9		13.6
4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo
18.5	8.5	8.5	188	168	138	25	38.0	2.1	27.0	1.5	15.7	4.7	23.0	190.7	54.2	10.3
19	8.5	8.5	186	164	138		38.5	2.0	27.3	1.4	16.1			197.8		10.4
20	8.5	8.5	178	153	138		40.0	2.0	28.1	1.4	17.4			219.8		11.0
21	8.5	8.5	174	146	138		41.1	2.0	28.7	1.4	18.3			236.7		11.3
22	8.5	8.5	169	140	138		42.0	1.9	29.3	1.3	19.2			252.9		11.5
23	8.5	8.5	166	135	138		42.9	1.9	29.8	1.3	20.0			268.3		11.7
5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo
23.5	9.8	9.8	164	132	103	25	43.3	1.8	30.0	1.3	15.2	4.8	24.0	205.5	62.8	8.7
24	9.8	9.8	163	130	103		43.7	1.8	30.2	1.3	15.5			210.8		8.8
25	9.8	9.8	160	126	103		44.4	1.8	30.6	1.2	16.0			220.6		8.8
26	9.8	9.8	152	115	103		46.8	1.8	32.0	1.2	17.7			255.3		9.8
27	9.8	9.8	147	107	103		48.6	1.8	33.0	1.2	19.1			284.2		10.5
28	9.8	9.8	142	100	103		50.4	1.8	34.0	1.2	20.6			315.1	264.8	11.3
turno fin	turno fin	turno fin	turno fin	turno fin	turno fin	turno fin	turno fin	turno fin	turno fin	turno fin	turno fin	turno fin	turno fin	turno fin	turno fin	turno fin
28.5	9.8	9.8	139	97	103		51.3	1.8	34.6	1.2	21.3			331.4		11.6
29	9.8	9.8	137	94	103		52.2	1.8	35.1	1.2	22.1			348.2		12.0
30	9.8	9.8	133	88	103		54.0	1.8	36.1	1.2	23.6			383.5		12.8

* A 3 x 3 m. de espaciamiento en condiciones excelentes de crecimiento, el primer raleo se podría ejecutar 1 o 2 años antes.

donde:

Edad (años): edad de la plantación

Espac. 1, Espac. 2 (m): espaciamientos o distancias entre los árboles de la plantación

N-max (arb/ha): densidad de plantación máxima (óptima) según modelos desarrollados (ver pag 71)

N (arb/ha): densidades de plantación del escenario

Intens. raleo (%): intensidad de los raleos con base en el número de árboles

dap (cm): diámetro promedio de la plantación

IMA-dap (cm/año): incremento medio anual en dap

Htotal (m): altura total promedio de la plantación

IMA-Htotal (m/año): incremento medio anual en altura total

AB (m²/ha): área basal

AB-extr. (m²/ha): área basal extraída

AB-extr. (%): área basal extraída

VOL total remanente (m³/ha): volumen total remanente

VOL total extraído (m³/ha): volumen total extraído

IMA VOL total remanente (m³/ha/año): incremento medio anual en volumen total remanente.

Cuadro 8. Escenario 4: desarrollo de una plantación de *Tectona grandis* manejada a un área basal máxima de 20 m²/ha y partiendo de 816 árboles /ha (3.5 x 3.5 m).

Edad (años)	Espac 1 (m)	Espac 2 (m)	2-opcion N-max (arb/ha)	1-Opcion N-max (arb/ha)	N (arb/ha)	Intens. raleo (%)	Dap (cm)	IMA-dap (cm/año)	Htotal (m)	IMA-Htotal (m/año)	AB (m ² /ha)	AB-extr. (m ² /ha)	AB-extr. (%)	VOL total remanente (m ³ /ha)	VOL total extraído (m ³ /ha)	IMA VOL total remanente (m ³ /ha/año)
1.0	3.5	3.5	---	---	816		3.2	3.2	3.0	3.0	0.7			0.9		0.9
2.0	3.5	3.5	---	---	816		6.3	3.1	6.0	3.0	2.5			6.8		3.4
3.0	3.5	3.5	---	---	816		9.2	3.1	8.7	2.9	5.4			21.2		7.1
4.0	3.5	3.5	1331	1112	816		12.1	3.0	11.3	2.8	9.4			47.9		12.0
5.0	3.5	3.5	805	826	816		14.8	3.0	13.7	2.7	14.0			86.4		17.3
1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo
5.5	4.7	4.7	678	729	445	45	16.0	2.9	14.4	2.6	9.0	5.0	36.0	58.1	28.3	10.6
6.0	4.7	4.7	588	651	445		17.2	2.9	15.1	2.5	10.3			70.2		11.7
7.0	4.7	4.7	471	534	445		19.4	2.8	16.4	2.3	13.2			97.1		13.9
8.0	4.7	4.7	399	453	445		21.5	2.7	17.5	2.2	16.1			127.0		15.9
9.0	4.7	4.7	351	394	445		23.3	2.6	18.6	2.1	19.0			159.1		17.7
9.5	4.7	4.7	332	370	445		24.2	2.5	19.1	2.0	20.4			175.7		18.5
2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo
10.0	6.2	6.2	317	350	258	42	25.0	2.5	19.6	2.0	12.7	7.8	38.0	111.6	64.1	11.2
11.0	6.2	6.2	282	303	258		27.2	2.5	20.8	1.9	15.0			140.5		12.8
12.0	6.2	6.2	260	271	258		29.0	2.4	21.8	1.8	17.1			167.6		14.0
13.0	6.2	6.2	242	245	258		30.7	2.4	22.8	1.8	19.1			196.1		15.1
13.5	6.2	6.2	234	234	258		31.5	2.3	23.3	1.7	20.1			210.7		15.6
3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo
14.0	7.6	7.6	227	224	172	33	32.3	2.3	23.7	1.7	14.1	6.0	30.0	150.3	60.4	10.7
15.0	7.6	7.6	216	207	172		33.8	2.3	24.5	1.6	15.4			170.1		11.3
16.0	7.6	7.6	206	193	172		35.1	2.2	25.3	1.6	16.7			190.0		11.9
17.0	7.6	7.6	198	182	172		36.4	2.1	26.0	1.5	17.9			209.5		12.3
18	7.6	7.6	191	172	172		37.5	2.1	26.7	1.5	19.0			228.3		12.7
19	7.6	7.6	186	164	172		38.5	2.0	27.3	1.4	20.1			246.3		13.0
4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo
19.5	8.8	8.8	183	160	129	25	39.0	2.0	27.5	1.4	15.5	4.6	23.0	191.5	54.8	9.8
20	8.8	8.8	178	153	129		40.0	2.0	28.1	1.4	16.3			205.7		10.3
21	8.8	8.8	174	146	129		41.1	2.0	28.7	1.4	17.1			221.5		10.5
22	8.8	8.8	169	140	129		42.0	1.9	29.3	1.3	18.0			236.6		10.8
23	8.8	8.8	166	135	129		42.9	1.9	29.8	1.3	18.7			251.0		10.9
24	8.8	8.8	163	130	129		43.7	1.8	30.2	1.3	19.4			264.5		11.0
25	8.8	8.8	160	126	129		44.4	1.8	30.6	1.2	20.1			276.8		11.1
5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo
25.5	10.2	10.2	159	125	97	25	44.8	1.8	30.8	1.2	15.3	4.8	24.0	211.6	65.2	8.3
26	10.2	10.2	152	115	97		46.8	1.8	32.0	1.2	16.7			240.0		9.2
27	10.2	10.2	147	107	97		48.6	1.8	33.0	1.2	18.0			267.1		9.9
28	10.2	10.2	142	100	97		50.4	1.8	34.0	1.2	19.3			296.2	TOTAL	10.6
28.5	10.2	10.2	139	97	97		51.3	1.8	34.6	1.2	20.0			311.5	272.7	10.9
turno fin	turno final	turno final	turno final	turno final	turno final	turno final	turno final	turno final	turno final	turno final	turno final	turno final	turno final	turno final	turno final	turno final
29	10.2	10.2	137	94	97		52.2	1.8	35.1	1.2	20.7			327.3		11.3
30	10.2	10.2	133	88	97		54.0	1.8	36.1	1.2	22.2			360.5		12.0

donde:

Edad (años): edad de la plantación

Espac. 1, Espac. 2 (m): espaciamientos o distancias entre los árboles de la plantación

N-max (arb/ha): densidad de plantación máxima (óptima) según modelos desarrollados (ver pág. 71)

N (arb/ha): densidades de plantación del escenario

Intens. raleo (%): intensidad de los raleos con base en el número de árboles

dap (cm): diámetro promedio de la plantación

IMA-dap (cm/año): incremento medio anual en dap

Htotal (m): altura total promedio de la plantación

IMA-Htotal (m/año): incremento medio anual en altura total

AB (m²/ha): área basal

AB-extr. (m²/ha): área basal extraída

AB-extr. (%): área basal extraída

VOL total remanente (m³/ha): volumen total remanente

VOL total extraído (m³/ha): volumen total extraído

IMA VOL total remanente (m³/ha/año): incremento medio anual en volumen total remanente.

Cuadro 9. Escenario 5: desarrollo de una plantación de *Tectona grandis* manejada a un área basal máxima de 22 m²/ha y partiendo de 1111 árboles /ha (3.0 x 3.0 m).

Edad (años)	Espac 1 (m)	Espac 2 (m)	2-Opcion N-max (arb/ha)	1-Opcion N-max (arb/ha)	N (arb/ha)	Intens. raleo (%)	Dap (cm)	IMA-dap (cm/año)	Htotal (m)	IMA-Htotal (m/año)	AB (m ² /ha)	AB-extr. (m ² /ha)	AB-extr. (%)	VOL total remanente (m ³ /ha)	VOL total extraído (m ³ /ha)	IMA VOL total remanente (m ³ /ha/año)
1	3.0	3.0	---	---	1111		3.2	3.2	3.0	3.0	0.9			1.2		1.2
2	3.0	3.0	---	---	1111		6.3	3.1	6.0	3.0	3.4			9.2		4.6
3	3.0	3.0	---	---	1111		9.2	3.1	8.7	2.9	7.4			28.9		9.6
4	3.0	3.0	1331	1112	1111		12.1	3.0	11.3	2.8	12.8			65.2		16.3
1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo
5	4.2	4.2	998	948	556	50	13.5	3.0	13.0	2.9	8.0	4.9	38.0	46.6	18.6	10.4
6	4.2	4.2	588	651	556		17.2	2.9	15.1	2.5	12.9			87.7		14.6
7	4.2	4.2	471	534	556		19.4	2.8	16.4	2.3	18.5			121.3		17.3
8	4.2	4.2	399	453	556		21.5	2.7	17.5	2.2	20.1			158.7		19.8
9	4.2	4.2	372	421	556		22.4	2.6	18.1	2.1	21.9			178.5		21.0
2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo
9	5.7	5.7	351	394	308	45	23.3	2.6	18.6	2.1	13.2	8.8	40.0	110.2	68.3	12.2
10	5.7	5.7	317	350	308		25.0	2.5	19.6	2.0	15.1			133.2		13.3
11	5.7	5.7	282	303	308		27.2	2.5	20.8	1.9	17.9			167.7		15.2
12	5.7	5.7	260	271	308		29.0	2.4	21.8	1.8	20.4			200.1		16.7
13	5.7	5.7	242	245	308		30.7	2.4	22.8	1.8	22.8			234.1		18.0
3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo
14	7.1	7.1	234	234	196	36	31.5	2.3	23.3	1.7	15.3	7.5	33.0	160.0	74.1	11.9
15	7.1	7.1	216	207	196		33.8	2.3	24.5	1.6	17.5			193.8		12.9
16	7.1	7.1	206	193	196		35.1	2.2	25.3	1.6	19.0			216.4		13.5
17	7.1	7.1	198	182	196		36.4	2.1	26.0	1.5	20.4			238.6		14.0
18	7.1	7.1	191	172	196		37.5	2.1	26.7	1.5	21.7			260.1		14.4
19	7.1	7.1	188	168	196		38.0	2.1	27.0	1.5	22.3			270.5		14.6
4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo
19	8.2	8.2	186	164	147	25	38.5	2.0	27.3	1.4	17.2	5.1	23.0	210.5	60.0	11.1
20	8.2	8.2	178	153	147		40.0	2.0	28.1	1.4	18.5			233.8		11.7
21	8.2	8.2	174	146	147		41.1	2.0	28.7	1.4	19.5			251.8		12.0
22	8.2	8.2	169	140	147		42.0	1.9	29.3	1.3	20.4			269.1		12.2
23	8.2	8.2	166	135	147		42.9	1.9	29.8	1.3	21.3			285.4		12.4
24	8.2	8.2	163	130	147		43.7	1.8	30.2	1.3	22.1			300.7		12.5
5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo
25	9.5	9.5	161	128	110	25	44.1	1.8	30.4	1.2	16.8	5.3	24.0	230.1	70.6	9.4
26	9.5	9.5	152	115	110		46.8	1.8	32.0	1.2	18.9			272.2		10.5
27	9.5	9.5	147	107	110		48.6	1.8	33.0	1.2	20.4			303.0		11.2
28	9.5	9.5	142	100	110		50.4	1.8	34.0	1.2	21.9			336.0	291.6	12.0
turno fin turno final	turno fin turno final	turno fin turno final	turno fin turno final	turno fin turno final	turno fin turno final	turno fin turno final	turno fin turno final	turno fin turno final	turno fin turno final	turno fin turno final	turno fin turno final	turno fin turno final	turno fin turno final	turno fin turno final	turno fin turno final	turno final
28.5	9.5	9.5	139	97	110		51.3	1.8	34.6	1.2	22.7			353.3		12.4
29	9.5	9.5	137	94	110		52.2	1.8	35.1	1.2	23.5			371.3		12.8
30	9.5	9.5	133	88	110		54.0	1.8	36.1	1.2	25.2			409.0		13.6

* A 3 x 3 m. de espaciamiento en condiciones excelentes de crecimiento, el primer raleo se podría ejecutar 1 o 2 años antes.

donde:

Edad (años): edad de la plantación

Espac. 1, Espac. 2 (m): espaciamientos o distancias entre los árboles de la plantación

N-max (arb/ha): densidad de plantación máxima (óptima) según modelos desarrollados (ver pág. 71)

N (arb/ha): densidades de plantación del escenario

Intens. raleo (%): intensidad de los raleos con base en el número de árboles

dap (cm): diámetro promedio de la plantación

IMA-dap (cm/año): incremento medio anual en dap

Htotal (m): altura total promedio de la plantación

IMA-Htotal (m/año): incremento medio anual en altura total

AB (m²/ha): área basal

AB-extr. (m²/ha): área basal extraída

AB-extr. (%): área basal extraída

VOL total remanente (m³/ha): volumen total remanente

VOL total extraído (m³/ha): volumen total extraído

IMA VOL total remanente (m³/ha/año): incremento medio anual en volumen total remanente.

Cuadro 10. Escenario 6: desarrollo de una plantación de *Tectona grandis* manejada a un área basal máxima de 22 m²/ha y partiendo de 816 árboles /ha (3.5 x 3.5 m).

Edad (años)	Espac 1 (m)	Espac 2 (m)	2-opcion N-max (arb/ha)	1-Opcion N-max (arb/ha)	N (arb/ha)	Intens. raleo (%)	Dap (cm)	IMA-dap (cm/año)	Htotal (m)	IMA-Htotal (m/año)	AB (m ² /ha)	AB-extr (m ² /ha)	AB-extr (%)	VOL total remanente (m ³ /ha)	VOL total extraído (m ³ /ha)	IMA VOL total remanente (m ³ /ha/año)
1	3.5	3.5	---	---	816		3.2	3.2	3.0	3.0	0.7			0.9		0.9
2	3.5	3.5	---	---	816		6.3	3.1	6.0	3.0	2.5			6.8		3.4
3	3.5	3.5	---	---	816		9.2	3.1	8.7	2.9	5.4			21.2		7.1
4	3.5	3.5	1331	1112	816		12.1	3.0	11.3	2.8	9.4			47.9		12.0
5	3.5	3.5	805	826	816		14.8	3.0	13.7	2.7	14.0			86.4		17.3
1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo
6	4.7	4.7	678	729	445	45	16.0	2.9	14.4	2.6	9.0	5.0	36.0	58.1	28.3	10.6
7	4.7	4.7	471	534	445		19.4	2.8	16.4	2.3	13.2			97.1		13.9
8	4.7	4.7	399	453	445		21.5	2.7	17.5	2.2	16.1			127.0		15.9
9	4.7	4.7	351	394	445		23.3	2.6	18.6	2.1	19.0			159.1		17.7
10	4.7	4.7	317	350	445		25.0	2.5	19.6	2.0	21.9			192.4		19.2
2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo
11	6.4	6.4	296	322	246	45	26.3	2.5	20.3	1.9	13.3	8.5	39.0	121.6	70.7	11.6
12	6.4	6.4	260	271	246		29.0	2.4	21.8	1.8	16.3			159.9		13.3
13	6.4	6.4	242	245	246		30.7	2.4	22.8	1.8	18.2			187.1		14.4
14	6.4	6.4	227	224	246		32.3	2.3	23.7	1.7	20.2			215.0		15.4
15	6.4	6.4	216	207	246		33.8	2.3	24.5	1.6	22.0			243.4		16.2
3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo
16	7.8	7.8	211	200	166	33	34.4	2.2	24.9	1.6	15.4	6.6	30.0	173.1	70.3	11.2
17	7.8	7.8	158	182	166		36.4	2.1	26.0	1.5	17.2			201.4		11.8
18	7.8	7.8	195	176	166		38.9	2.1	26.4	1.5	17.7			210.6		12.0
19	7.8	7.8	186	164	166		38.5	2.0	27.3	1.4	19.3			236.8		12.5
20	7.8	7.8	178	153	166		40.0	2.0	28.1	1.4	20.8			263.1		13.2
21	7.8	7.8	174	146	166		41.1	2.0	28.7	1.4	21.9			283.4		13.5
4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo
22	9.5	9.5	171	143	111	33	41.6	1.9	29.0	1.3	15.1	6.8	31.0	197.5	85.9	9.2
23	9.5	9.5	166	135	111		42.9	1.9	29.8	1.3	16.1			216.3		9.4
24	9.5	9.5	163	130	111		43.7	1.8	30.2	1.3	16.7			227.9		9.5
25	9.5	9.5	160	126	111		44.4	1.8	30.6	1.2	17.3			238.5		9.5
26	9.5	9.5	152	115	111		46.8	1.8	32.0	1.2	19.2			276.1		10.6
27	9.5	9.5	147	107	111		48.6	1.8	33.0	1.2	20.7			307.3		11.4
28	9.5	9.5	142	100	111		50.4	1.8	34.0	1.2	22.2			340.7	255.2	12.2
turno final	turno final	turno final	turno final	turno final	turno final	turno final	turno final	turno final	turno final	turno final	turno final	turno final	turno final	turno final	turno final	turno final
29	9.5	9.5	139	97	111		51.3	1.8	34.6	1.2	23.0			358.3		12.6
30	9.5	9.5	133	88	111		54.0	1.8	36.1	1.2	25.5			414.7		13.8

donde:

Edad (años): edad de la plantación

Espac. 1, Espac. 2 (m): espaciamientos o distancias entre los árboles de la plantación

N-max (arb/ha): densidad de plantación máxima (óptima) según modelos desarrollados (ver pág. 71)

N (arb/ha): densidades de plantación del escenario

Intens. raleo (%): intensidad de los raleos con base en el número de árboles

dap (cm): diámetro promedio de la plantación

IMA-dap (cm/año): incremento medio anual en dap

Htotal (m): altura total promedio de la plantación

IMA-Htotal (m/año): incremento medio anual en altura total

AB (m²/ha): área basal

AB-extr. (m²/ha): área basal extraída

AB-extr. (%): área basal extraída

VOL total remanente (m³/ha): volumen total remanente

VOL total extraído (m³/ha): volumen total extraído

IMA VOL total remanente (m³/ha/año): incremento medio anual en volumen total remanente.

Cuadro 11. Escenario 7: desarrollo de una plantación de *Tectona grandis* manejada a un área basal máxima de 24 m²/ha y partiendo de 1111 árboles/ha (3.0 x 3.0 m).

Edad (años)	Espac 1 (m)	Espac 2 (m)	2-Opcion N-max (arb/ha)	1-Opcion N-max (arb/ha)	N (arb/ha)	Intens. raleo (%)	Dap (cm)	IMA-dap (cm/año)	Htotal (m)	IMA-Htotal (m/año)	AB (m ² /ha)	AB-extr (m ² /ha)	AB-extr (%)	VOL total remanente (m ³ /ha)	VOL total extraído (m ³ /ha)	IMA VOL total remanente (m ³ /ha/año)
1	3.0	3.0	---	---	1111		3.2	3.2	3.0	3.0	0.9			1.2		1.2
2	3.0	3.0	---	---	1111		6.3	3.1	6.0	3.0	3.4			9.2		4.6
3	3.0	3.0	---	---	1111		9.2	3.1	8.7	2.9	7.4			28.9		9.6
4	3.0	3.0	1331	1112	1111		12.1	3.0	11.3	2.8	12.6			65.2		18.3
5	3.0	3.0	805	826	1111		14.8	3.0	13.7	2.7	19.0			117.7		23.5
1raleo *	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo
6	4.2	4.2	678	729	559	50	16.0	2.9	14.4	2.6	11.2	7.8	41.0	73.0	44.7	13.3
7	4.2	4.2	471	534	559		19.4	2.8	16.4	2.3	16.5			121.8		17.4
8	4.2	4.2	399	453	559		21.5	2.7	17.5	2.2	20.2			159.4		19.9
9	4.2	4.2	351	394	559		23.3	2.6	18.6	2.1	23.9			199.7		22.2
2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo
10	5.5	5.5	332	370	333	40	24.2	2.5	19.1	2.0	15.3	8.6	36.0	131.2	68.5	13.8
11	5.5	5.5	282	303	333		27.2	2.5	20.8	1.9	19.3			180.9		16.4
12	5.5	5.5	260	271	333		29.0	2.4	21.8	1.8	22.0			215.9		18.0
13	5.5	5.5	242	245	333		30.7	2.4	22.8	1.8	24.6			252.5		19.4
3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo
14	6.7	6.7	234	234	224	33	31.5	2.3	23.3	1.7	17.5	7.1	29.0	182.9	69.6	13.5
15	6.7	6.7	216	207	224		33.8	2.3	24.5	1.6	20.1			221.5		14.8
16	6.7	6.7	206	193	224		35.1	2.2	25.3	1.6	21.7			247.4		15.5
17	6.7	6.7	198	182	224		36.4	2.1	26.0	1.5	23.3			272.7		16.0
18	6.7	6.7	195	176	224		36.9	2.1	26.4	1.5	24.0			285.2		16.3
4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo
18	7.7	7.7	191	172	168	25	37.5	2.1	26.7	1.5	18.5	5.5	23.0	222.2	62.9	12.3
19	7.7	7.7	186	164	168		38.5	2.0	27.3	1.4	19.5			239.7		12.6
20	7.7	7.7	178	153	168		40.0	2.0	28.1	1.4	21.1			266.3		13.3
21	7.7	7.7	174	146	168		41.1	2.0	28.7	1.4	22.2			286.8		13.7
22	7.7	7.7	169	140	168		42.0	1.9	29.3	1.3	23.3			306.4		13.9
23	7.7	7.7	166	135	168		42.9	1.9	29.8	1.3	24.3			325.1		14.1
5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo
24	8.9	8.9	164	132	125	25	43.3	1.8	30.0	1.3	18.4	5.8	24.0	249.0	76.1	10.6
25	8.9	8.9	160	126	125		44.4	1.8	30.6	1.2	19.4			267.3		10.7
26	8.9	8.9	152	115	125		46.8	1.8	32.0	1.2	21.5			309.3		11.9
27	8.9	8.9	147	107	125		48.6	1.8	33.0	1.2	23.2			344.3	TOTAL	12.8
28	8.9	8.9	142	100	125		50.4	1.8	34.0	1.2	24.9			381.8	321.9	13.6
turno final	turno final	turno final	turno final	turno final	turno final	turno final	turno final	turno final	turno final	turno final	turno final	turno final	turno final	turno final	turno final	turno final
29	8.9	8.9	139	97	125		51.3	1.8	34.6	1.2	25.8			401.5		14.1
30	8.9	8.9	133	88	125		54.0	1.8	36.1	1.2	28.6			464.7		15.5

* A 3 x 3 m. de espaciamiento en condiciones excelentes de crecimiento, el primer raleo se podría ejecutar 1 o 2 años antes.

donde:

- Edad (años): edad de la plantación
- Espac. 1, Espac. 2 (m): espaciamientos o distancias entre los árboles de la plantación
- N-max (arb/ha): densidad de plantación máxima (óptima) según modelos desarrollados (ver pág. 71)
- N (arb/ha): densidades de plantación del escenario
- Intens. raleo (%): intensidad de los raleos con base en el número de árboles
- dap (cm): diámetro promedio de la plantación
- IMA-dap (cm/año): incremento medio anual en dap
- Htotal (m): altura total promedio de la plantación
- IMA-Htotal (m/año): incremento medio anual en altura total
- AB (m²/ha): área basal
- AB-extr. (m²/ha): área basal extraída
- AB-extr. (%): área basal extraída
- VOL total remanente (m³/ha): volumen total remanente
- VOL total extraído (m³/ha): volumen total extraído
- IMA VOL total remanente (m³/ha/año): incremento medio anual en volumen total remanente.

Cuadro 12. Escenario 8: desarrollo de una plantación de *Tectona grandis* manejada a un área basal máxima de 24 m²/ha y partiendo de 816 árboles /ha (3.5 x 3.5 m)

Edad (años)	Espac 1 (m)	Espac 2 (m)	2-opcion N-max (arb/ha)	1-Opcion N-max (arb/ha)	N (arb/ha)	Intens. raleo (%)	Dap (cm)	IMA-dap (cm/año)	Htotal (m)	IMA-Htotal (m/año)	AB (m ² /ha)	AB-extr (m ² /ha)	AB-extr (%)	VOL total remanente (m ³ /ha)	VOL total extraído (m ³ /ha)	IMA VOL total remanente (m ³ /ha/año)
1	3.5	3.5	---	---	816		3.2	3.2	3.0	3.0	0.7			0.9		0.9
2	3.5	3.5	---	---	816		6.3	3.1	6.0	3.0	2.5			6.8		3.4
3	3.5	3.5	---	---	816		9.2	3.1	8.7	2.9	5.4			21.2		7.1
4	3.5	3.5	1331	1112	816		12.1	3.0	11.3	2.8	9.4			47.9		12.0
5	3.5	3.5	805	826	816		14.8	3.0	13.7	2.7	14.0			86.4		17.3
1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo
6	4.9	4.9	678	729	410	50	16.0	2.9	14.4	2.6	8.3	5.7	41.0	53.6	32.8	9.7
7	4.9	4.9	471	534	410		19.4	2.8	16.4	2.3	12.1			89.5		12.8
8	4.9	4.9	399	453	410		21.5	2.7	17.5	2.2	14.8			117.1		14.6
9	4.9	4.9	351	394	410		23.3	2.6	18.6	2.1	17.5			146.7		16.3
10	4.9	4.9	317	350	410		25.0	2.5	19.6	2.0	20.1			177.3		17.7
11	4.9	4.9	282	303	410		27.2	2.5	20.8	1.9	23.8			223.2		20.3
2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo
12	6.4	6.4	270	286	246	40	28.1	2.4	21.3	1.9	15.3	8.6	36.0	146.5	76.8	12.7
13	6.4	6.4	242	245	246		30.7	2.4	22.8	1.8	18.2			186.7		14.4
14	6.4	6.4	227	224	246		32.3	2.3	23.7	1.7	20.1			214.6		15.3
15	6.4	6.4	216	207	246		33.8	2.3	24.5	1.6	22.0			242.9		16.2
16	6.4	6.4	205	193	246		35.1	2.2	25.3	1.6	23.8			271.2		17.0
3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo
17	7.6	7.6	202	187	173	30	35.8	2.2	25.7	1.6	17.4	6.4	27.0	200.8	70.4	12.2
18	7.6	7.6	191	172	173		37.5	2.1	26.7	1.5	19.1			229.6		12.8
19	7.6	7.6	186	164	173		38.5	2.0	27.3	1.4	20.2			247.6		13.0
20	7.6	7.6	178	153	173		40.0	2.0	28.1	1.4	21.8			275.1		13.6
21	7.6	7.6	174	146	173		41.1	2.0	28.7	1.4	22.9			296.3		14.1
22	7.6	7.6	169	140	173		42.0	1.9	29.3	1.3	24.0			316.6		14.4
4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo
22.5	9.1	9.1	168	137	122	30	42.5	1.9	29.5	1.3	17.3	6.7	28.0	230.0	86.6	10.2
23	9.1	9.1	166	135	122		42.9	1.9	29.8	1.3	17.7			236.6		10.3
24	9.1	9.1	163	130	122		43.7	1.8	30.2	1.3	18.3			249.3		10.4
25	9.1	9.1	160	126	122		44.4	1.8	30.6	1.2	18.9			260.9		10.4
26	9.1	9.1	152	115	122		46.8	1.8	32.0	1.2	21.0			302.0		11.6
27	9.1	9.1	147	107	122		48.6	1.8	33.0	1.2	22.6			336.1		12.4
28	9.1	9.1	142	100	122		50.4	1.8	34.0	1.2	24.3			372.7	266.6	13.3
turno final	turno final	turno final	turno final	turno final	turno final	turno final	turno final	turno final	turno final	turno final	turno final	turno final	turno final	turno final	turno final	turno final
28.5	9.1	9.1	139	97	122		51.3	1.8	34.6	1.2	25.2			392.0		13.8
29	9.1	9.1	137	94	122		52.2	1.8	35.1	1.2	26.1			411.9		14.2
30	9.1	9.1	133	88	122		54.0	1.8	36.1	1.2	27.9			453.7		15.1

donde:

Edad (años): edad de la plantación

Espac. 1, Espac. 2 (m): espaciamientos o distancias entre los árboles de la plantación

N-max (arb/ha): densidad de plantación máxima (óptima) según modelos desarrollados (ver pág. 71)

N (arb/ha): densidades de plantación del escenario

Intens. raleo (%): intensidad de los raleos con base en el número de árboles

dap (cm): diámetro promedio de la plantación

IMA-dap (cm/año): incremento medio anual en dap

Htotal (m): altura total promedio de la plantación

IMA-Htotal (m/año): incremento medio anual en altura total

AB (m²/ha): área basal

AB-extr. (m²/ha): área basal extraída

AB-extr. (%): área basal extraída

VOL total remanente (m³/ha): volumen total remanente

VOL total extraído (m³/ha): volumen total extraído

IMA VOL total remanente (m³/ha/año): incremento medio anual en volumen total remanente.

Cuadro 13. Escenario 9: desarrollo de una plantación de *Tectona grandis* manejada a un área basal máxima de 24 m²/ha y partiendo de 1111 árboles /ha (3.0 x 3.0 m). Reducción del IMA dap en 20% y del IMA Htotal en 10%.

Edad (años)	Espac 1 (m)	Espac 2 (m)	2-Opcion		1-Opcion		N	Intens raleo (%)	Dap (cm)	-20%		-10%		AB (m ² /ha)	AB-extr. (m ² /ha)	AB-extr. (%)	VOL total remanente (m ³ /ha)	VOL total extraído (m ³ /ha)	IMA VOL total remanente (m ³ /ha/año)
			N-max (arb/ha)	N-max (arb/ha)	N (arb/ha)					IMA-dap (cm/año)	Htotal (m)	IMA-Htotal (m/año)							
1	3.0	3.0	---	---	1111				2.6	2.6	2.3	1.9	0.6				0.5		0.6
2	3.0	3.0	---	---	1111				5.0	2.5	4.8	1.9	2.2				4.7		2.3
3	3.0	3.0	---	---	1111				7.4	2.5	7.0	1.9	4.7				14.9		5.0
4	3.0	3.0	---	---	1111				9.7	2.4	9.2	1.8	8.2				33.9		8.5
5	3.0	3.0	1438	1156	1111				11.8	2.4	12.0	1.9	12.2				66.1		13.2
1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo		1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo
5.5	3.9	3.9	1146	1027	663		40		12.8	2.3	12.6	1.8	8.5	3.7	30.0		48.4	17.7	8.8
6	3.9	3.9	954	922	663				13.7	2.3	13.1	1.8	9.8				58.2		9.7
7	3.9	3.9	722	764	663				15.5	2.2	14.2	1.6	12.6				60.0		11.4
8	3.9	3.9	589	652	663				17.2	2.1	15.1	1.5	15.3				104.2		13.0
9	3.9	3.9	504	570	663				18.7	2.1	15.9	1.4	18.1				130.0		14.4
10	3.9	3.9	447	508	663				20.0	2.0	16.7	1.3	20.8				156.6		15.7
11	3.9	3.9	390	442	663				21.8	2.0	17.7	1.3	24.6				196.4		17.9
2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo		2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo
11.5	5.0	5.0	370	418	397		40		22.5	2.0	18.1	1.3	15.8	8.9	36.0		128.7	67.7	11.2
12	5.0	5.0	353	397	397				23.2	1.9	18.5	1.2	16.8				140.0		11.7
13	5.0	5.0	325	361	397				24.6	1.9	19.3	1.2	18.8				163.4		12.6
14	5.0	5.0	303	331	397				25.8	1.8	20.0	1.1	20.8				187.4		13.4
15	5.0	5.0	285	306	397				27.0	1.8	20.7	1.1	22.7				211.8		14.1
16	5.0	5.0	271	286	397				28.1	1.8	21.3	1.1	24.6				236.1		14.8
3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo		3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo
16.5	6.2	6.2	264	277	264		33		28.6	1.7	21.6	1.0	17.0	7.6	31.0		165.1	71.0	10.0
17	6.2	6.2	259	269	264				29.1	1.7	21.9	1.0	17.6				173.0		10.2
18	6.2	6.2	249	255	264				30.0	1.7	22.4	1.0	18.7				188.4		10.5
19	6.2	6.2	240	243	264				30.8	1.6	22.9	1.0	19.7				203.0		10.7
20	6.2	6.2	230	228	264				32.0	1.6	23.6	0.9	21.3				225.2		11.3
21	6.2	6.2	223	217	264				32.9	1.6	24.0	0.9	22.4				242.3		11.5
22	6.2	6.2	216	209	264				33.6	1.5	24.5	0.9	23.5				259.7		11.8
22.5	6.2	6.2	214	205	264				34.0	1.5	24.7	0.9	24.0				266.6		11.8
4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo		4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo
23	7.5	7.5	211	201	176		33		34.3	1.5	24.9	0.9	16.3	7.7	32.0		182.7	83.9	7.9
24	7.5	7.5	207	194	176				35.0	1.5	25.3	0.8	16.9				192.4		8.0
25	7.5	7.5	203	189	176				35.6	1.4	25.6	0.8	17.5				201.2		8.0
26	7.5	7.5	192	172	176				37.4	1.4	26.7	0.8	19.4				232.5		8.9
27	7.5	7.5	184	161	176				38.9	1.4	27.5	0.8	20.9				258.5		9.6
28	7.5	7.5	177	151	176				40.3	1.4	28.3	0.8	22.5				286.3		10.2
29	7.5	7.5	171	141	176				41.8	1.4	29.1	0.8	24.1				316.0		10.9
5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo		5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo
29.5	9.2	9.2	168	137	117		33		42.5	1.4	29.5	0.8	16.6	7.5	31.0		221.1	94.9	7.5
30	9.2	9.2	165	133	117				43.2	1.4	29.9	0.8	17.2				231.8		7.7
31	9.2	9.2	159	125	117				44.6	1.4	30.8	0.8	18.4				254.4		8.2
32	9.2	9.2	154	118	117				46.1	1.4	31.6	0.8	19.6				278.3		8.7
33	9.2	9.2	150	112	117				47.5	1.4	32.4	0.8	20.8				303.6		9.2
34	9.2	9.2	146	106	117				49.0	1.4	33.2	0.8	22.1				330.5		9.7
35	9.2	9.2	142	100	117				50.4	1.4	34.0	0.8	23.4				358.8	TOTAL	10.3
35.5	9.2	9.2	140	98	117				51.1	1.4	34.4	0.8	24.1				373.6	335.1	10.5
turno final	turno final	turno final	turno final	turno final	turno final	turno final		turno final	turno final	turno final	turno final	turno final	turno final	turno final	turno final	turno final	turno final	turno final	turno final

donde:

Edad (años): edad de la plantación

Espac. 1, Espac. 2 (m): espaciamientos o distancias entre los árboles de la plantación

N-max (arb/ha): densidad de plantación máxima (óptima) según modelos desarrollados (ver pág. 71)

N (arb/ha): densidades de plantación del escenario

Intens. raleo (%): intensidad de los raleos con base en el número de árboles

dap (cm): diámetro promedio de la plantación

IMA-dap (cm/año): incremento medio anual en dap

Htotal (m): altura total promedio de la plantación

IMA-Htotal (m/año): incremento medio anual en altura total

AB (m²/ha): área basal

AB-extr. (m²/ha): área basal extraída

AB-extr. (%): área basal extraída

VOL total remanente (m³/ha): volumen total remanente

VOL total extraído (m³/ha): volumen total extraído

IMA VOL total remanente (m³/ha/año): incremento medio anual en volumen total remanente.

Cuadro 14. Escenario 10: desarrollo de una plantación de *Tectona grandis* manejada a un área basal máxima de 24 m²/ha y partiendo de 1111 árboles /ha (3.0 x 3.0 m). Aumento del IMA dap en 20% y del IMA Htotal en 10%.

Edad (años)	Espac 1 (m)	Espac 2 (m)	2-Opcion		1-Opcion		N	Intens raleo (%)	Dap (cm)	+20% IMA-dap (cm/año)	Htotal (m)	+10% IMA-Htotal (m/año)	AB (m ² /ha)	AB-extr (m ² /ha)	AB-extr (%)	VOL total remanente (m ³ /ha)	VOL total extraído (m ³ /ha)	IMA VOL total remanente (m ³ /ha/año)	
1	3.0	3.0	---	---	---	---	1111		3.8	3.8	3.6	4.0	1.3			2.1		2.1	
2	3.0	3.0	---	---	---	---	1111		7.5	3.8	7.2	3.9	4.9			15.9		7.9	
3	3.0	3.0	1786	1276	1111	1111			11.0	3.7	10.3	3.8	10.6			49.5		16.5	
1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo
3.5	4.2	4.2	1160	1034	559	559	50	50	12.7	3.6	11.8	3.7	7.1	3.5	33.0	143.3	11.6	10.8	
4	4.2	4.2	832	844	559	559			14.6	3.6	13.3	3.7	9.3			55.7		13.9	
5	4.2	4.2	554	619	559	559			17.7	3.5	15.4	3.4	13.8			95.7		15.1	
6	4.2	4.2	425	484	559	559			20.6	3.4	17.1	3.1	18.7			143.3		23.9	
7	4.2	4.2	351	394	559	559			23.3	3.3	18.6	2.9	23.8			159.2		28.5	
2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo
7.5	5.7	5.7	325	361	307	307	45	45	24.5	3.3	19.3	2.8	14.5	9.3	39.0	126.2	73.0	2raleo	
8	5.7	5.7	304	333	307	307			25.7	3.2	20.0	2.7	16.0			143.7		16.8	
9	5.7	5.7	272	288	307	307			28.0	3.1	21.3	2.6	18.9			180.6		18.0	
10	5.7	5.7	249	255	307	307			30.0	3.0	22.4	2.5	21.7			218.8		20.1	
10.5	5.7	5.7	234	234	307	307			31.5	3.0	23.3	2.4	23.9			250.5		21.9	
3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo
11	7.7	7.7	224	220	169	169	45	45	32.6	3.0	23.9	2.4	14.1	9.8	41.0	151.9	98.6	23.9	
12	7.7	7.7	208	196	169	169			34.8	2.9	25.1	2.3	16.1			181.6		13.6	
13	7.7	7.7	195	177	169	169			36.8	2.8	26.3	2.2	18.0			212.9		15.1	
14	7.7	7.7	185	162	169	169			38.7	2.8	27.4	2.2	19.9			245.1		16.4	
15	7.7	7.7	176	150	169	169			40.5	2.7	28.4	2.1	21.7			277.8		17.5	
16	7.7	7.7	169	139	169	169			42.1	2.6	29.3	2.0	23.5			310.5		18.5	
16.5	7.7	7.7	166	135	169	169			42.9	2.6	29.8	2.0	24.4			326.7		19.4	
4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo
17	8.9	8.9	163	131	127	127	25	25	43.6	2.6	30.2	2.0	19.0	5.4	22.0	258.4	68.3	19.8	
18	8.9	8.9	158	123	127	127			45.0	2.5	31.0	1.9	20.2			282.0		15.2	
19	8.9	8.9	154	118	127	127			46.2	2.4	31.7	1.8	21.4			304.4		15.7	
20	8.9	8.9	148	110	127	127			48.0	2.4	32.7	1.8	23.0			338.5		16.0	
21	8.9	8.9	145	105	127	127			49.3	2.3	33.4	1.7	24.3			364.8		16.9	
5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo	5raleo
21.5	10.2	10.2	143	102	96	96	25	25	49.9	2.3	33.7	1.7	18.7	5.6	23.0	283.8	81.0	17.4	
22	10.2	10.2	141	100	96	96			50.5	2.3	34.1	1.7	19.1			293.2		13.2	
23	10.2	10.2	139	96	96	96			51.5	2.2	34.7	1.7	19.9			311.1		13.3	
24	10.2	10.2	136	93	96	96			52.5	2.2	35.2	1.6	20.7			327.9		13.5	
25	10.2	10.2	134	90	96	96			53.3	2.1	35.7	1.6	21.4			343.4		13.7	
26	10.2	10.2	128	82	96	96			56.2	2.2	37.3	1.6	23.7			397.9		13.7	
26.5	10.2	10.2	125	79	96	96			57.2	2.2	37.9	1.6	24.6			420.2	TOTAL	15.3	
turno fin	turno fin	turno fin	turno fin	turno fin	turno fin	turno fin	turno fin	turno fin	turno fin	turno fin	turno fin	turno fin	turno fin	turno fin	turno fin	turno fin	turno fin	turno fin	turno fin
27	10.2	10.2	124	77	96	96			58.3	2.2	38.6	1.6	25.5			443.2		15.9	
28	10.2	10.2	120	72	96	96			60.5	2.2	39.8	1.6	27.5			491.9		16.4	
																			17.6

donde:

Edad (años): edad de la plantación

Espac. 1, Espac. 2 (m): espaciamientos o distancias entre los árboles de la plantación

N-max (árb/ha): densidad de plantación máxima (óptima) según modelos desarrollados (ver pág. 71)

N (árb/ha): densidades de plantación del escenario

Intens. raleo (%): intensidad de los raleos con base en el número de árboles

dap (cm): diámetro promedio de la plantación

IMA-dap (cm/año): incremento medio anual en dap

Htotal (m): altura total promedio de la plantación

IMA-Htotal (m/año): incremento medio anual en altura total

AB (m²/ha): área basal

AB-extr. (m²/ha): área basal extraída

AB-extr. (%): área basal extraída

VOL total remanente (m³/ha): volumen total remanente

VOL total extraído (m³/ha): volumen total extraído

IMA VOL total remanente (m³/ha/año): incremento medio anual en volumen total remanente.

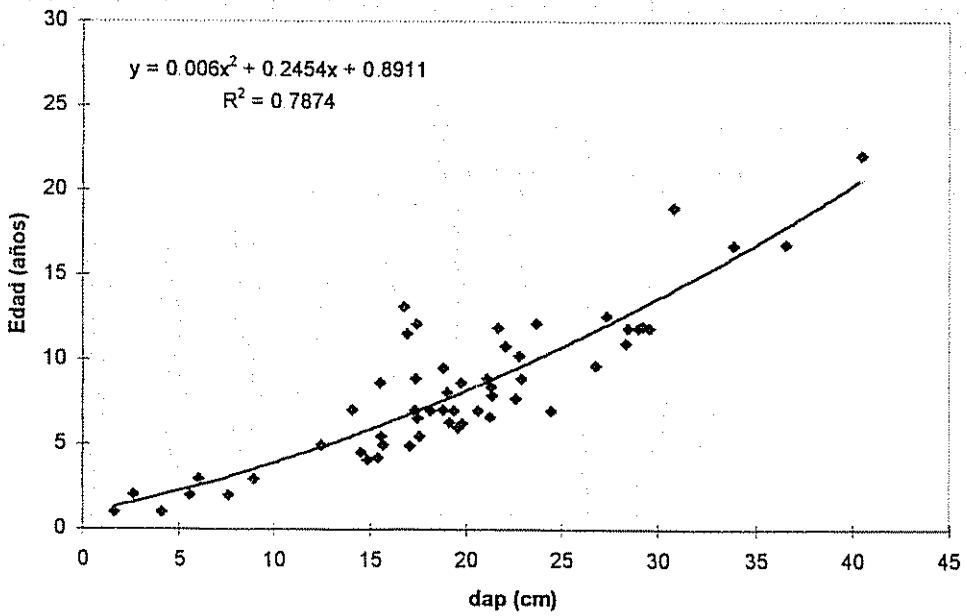


Figura 43. Curva de mejor ajuste de la Ecuación 41 (Pág. 88) sobre los datos de campo.

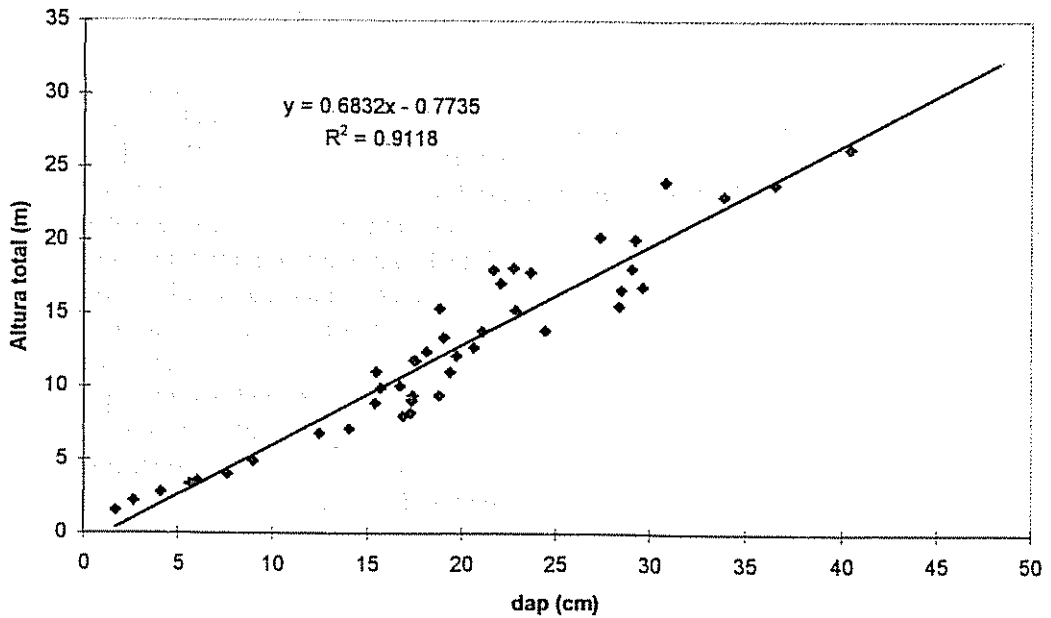


Figura 44. Curva de mejor ajuste de la Ecuación 42 (Pág. 88) sobre los datos de campo.

Cuadro 15. Escenario 1: simulación del crecimiento de una plantación de *Bombacopsis quinata* manejada a un área basal máxima de 18 m²/ha y partiendo de 1111 árboles /ha (3.0 x 3.0 m).

Edad (años)	Espac 1 (m)	Espac 2 (m)	2-Opcion N-max (arb/ha)	1-Opcion N-max (arb/ha)	N (arb/ha)	Intens. raleo (%)	Dap (cm)	IMA-dap (cm/año)	Htotal (m)	IMA-Htotal (m/año)	AB (m ² /ha)	AB-extr. (m ² /ha)	AB-extr. (%)	VOL total remanente (m ³ /ha)	VOL total extraído (m ³ /ha)	IMA VOL total remanente (m ³ /ha/año)
2	3.0	3.0	—	—	1111	—	5.0	2.2	2.6	1.2	2.2	—	—	2.3	—	1.0
3	3.0	3.0	—	—	1111	—	8.0	2.5	4.7	1.4	5.6	—	—	10.5	—	3.2
1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo
4	4.0	4.0	—	—	614	45	9.0	2.5	5.4	1.5	3.9	1.7	30.0	8.4	2.1	2.3
5	4.0	4.0	—	—	614	—	13.0	2.6	8.1	1.6	8.2	—	—	26.5	—	5.2
6	4.0	4.0	981	646	614	—	16.0	2.5	10.2	1.6	12.4	—	—	50.2	—	7.9
7	4.0	4.0	585	521	614	—	18.0	2.5	11.5	1.6	15.6	—	—	72.1	—	9.9
8	4.0	4.0	459	456	614	—	19.5	2.5	12.5	1.6	18.4	—	—	92.1	—	11.6
2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo
8	5.7	5.7	430	438	310	50	20.0	2.4	12.9	1.6	9.7	8.6	47.0	50.2	42.0	6.1
9	5.7	5.7	347	378	310	—	22.0	2.4	14.3	1.6	11.8	—	—	67.1	—	7.3
10	5.7	5.7	295	334	310	—	24.0	2.3	15.6	1.5	14.0	—	—	87.5	—	8.6
11	5.7	5.7	259	300	310	—	26.0	2.3	17.0	1.5	16.4	—	—	111.7	—	9.9
12	5.7	5.7	239	279	310	—	27.5	2.3	18.0	1.5	18.4	—	—	132.5	—	10.9
3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo
12	7.3	7.3	233	273	185	40	28.0	2.2	18.4	1.5	11.4	7.0	38.0	83.7	46.8	6.7
13	7.3	7.3	222	261	185	—	29.0	2.2	19.0	1.5	12.2	—	—	93.1	—	7.1
14	7.3	7.3	205	241	185	—	31.0	2.2	20.4	1.4	14.0	—	—	114.1	—	8.0
15	7.3	7.3	197	232	185	—	32.0	2.1	21.1	1.4	14.9	—	—	125.6	—	8.4
16	7.3	7.3	184	217	185	—	34.0	2.1	22.5	1.4	16.8	—	—	151.0	—	9.3
17	7.3	7.3	179	210	185	—	35.0	2.1	23.1	1.4	17.8	—	—	164.9	—	9.8
4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo
17	9.5	9.5	176	207	112	40	35.5	2.1	23.5	1.4	11.0	6.8	38.0	103.7	61.1	6.0
18	9.5	9.5	169	198	112	—	37.0	2.0	24.5	1.3	12.0	—	—	117.6	—	6.5
19	9.5	9.5	164	192	112	—	38.0	2.0	25.2	1.3	12.7	—	—	127.5	—	6.8
20	9.5	9.5	157	182	112	—	40.0	2.0	26.6	1.3	14.0	—	—	148.9	—	7.3
21	9.5	9.5	153	178	112	—	41.0	1.9	27.2	1.3	14.7	—	—	160.5	—	7.6
22	9.5	9.5	150	173	112	—	42.0	1.9	27.9	1.3	15.5	—	—	172.7	—	7.9
23	9.5	9.5	144	166	112	—	44.0	1.9	29.3	1.3	17.0	—	—	198.8	—	8.5
24	9.5	9.5	140	160	112	—	45.5	1.9	30.3	1.2	18.1	—	—	220.0	151.9	9.0
Turno final	Turno final	Turno final	Turno final	Turno final	Turno final	Turno final	Turno final	Turno final	Turno final	Turno final	Turno final	Turno final	Turno final	Turno final	Turno final	Turno final
25	9.5	9.5	139	159	112	—	46.0	1.8	30.7	1.2	18.5	—	—	227.4	—	9.1
26	9.5	9.5	134	152	112	—	48.0	1.8	32.0	1.2	20.2	—	—	258.6	—	9.8

donde:

Edad (años): edad de la plantación

Espac. 1, Espac. 2 (m): espaciamientos o distancias entre los árboles de la plantación

N-max (arb/ha): densidad de plantación máxima (óptima) según modelos desarrollados (ver pág. 71)

N (arb/ha): densidades de plantación del escenario

Intens. raleo (%): intensidad de los raleos con base en el número de árboles

dap (cm): diámetro promedio de la plantación

IMA-dap (cm/año): incremento medio anual en dap

Htotal (m): altura total promedio de la plantación

IMA-Htotal (m/año): incremento medio anual en altura total

AB (m²/ha): área basal

AB-extr. (m²/ha): área basal extraída

AB-extr. (%): área basal extraída

VOL total remanente (m³/ha): volumen total remanente

VOL total extraído (m³/ha): volumen total extraído

IMA VOL total remanente (m³/ha/año): incremento medio anual en volumen total remanente.

Cuadro 16. Escenario 2: simulación del crecimiento de una plantación de *Bombacopsis quinata* manejada a un área basal máxima de 18 m²/ha y partiendo de 816 árboles /ha (3.5 x 3.5 m).

Edad (años)	Espac 1 (m)	Espac 2 (m)	2-Opcion		1-Opcion		N	Intens. raleo (%)	Dap (cm)	IMA-dap (cm/año)	Htotal (m)	IMA-Htotal (m/año)	AB (m ² /ha)	AB-extr (m ² /ha)	AB-extr (%)	VOL total remanente (m ³ /ha)	VOL total extraído (m ³ /ha)	IMA VOL total remanente (m ³ /ha/año)
			N-max (arb/ha)	N-max (arb/ha)	N (arb/ha)													
2	3.5	3.5	--	--	816				5.0	2.2	2.6	1.2	1.6			1.7		0.7
3	3.5	3.5	--	--	816				8.0	2.5	4.7	1.4	4.1			7.7		2.4
4	3.5	3.5	--	--	816				11.0	2.5	6.7	1.6	7.8			20.9		4.8
1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo													
5	4.5	4.5	--	--	1238	487	40		12.0	2.6	7.4	1.6	5.5	2.2	29.0	16.4	4.6	1raleo
6	4.5	4.5	981	646	487				16.0	2.5	10.2	1.6	9.8			39.8		6.3
7	4.5	4.5	585	521	487				18.0	2.5	11.5	1.6	12.4			57.1		7.9
8	4.5	4.5	430	438	487				20.0	2.4	12.9	1.6	15.3			78.9		9.6
9	4.5	4.5	364	391	487				21.5	2.4	13.9	1.6	17.7			98.4		11.0
2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo													
9	6	6	347	378	270		45		22	2	14	2	10	7	42	58	39.9	6.4
10	6.1	6.1	295	334	270				24.0	2.3	15.6	1.5	12.2			76.2		7.4
11	6.1	6.1	259	300	270				26.0	2.3	17.0	1.5	14.3			97.3		8.6
12	6.1	6.1	233	273	270				28.0	2.2	18.4	1.5	16.6			121.9		9.8
13	6.1	6.1	222	261	270				29.0	2.2	19.0	1.5	17.8			135.7		10.4
3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo													
13	7.9	7.9	217	256	162		40		29.5	2.2	19.4	1.5	11.0	6.8	38.0	85.6	50.0	6.4
14	7.9	7.9	205	241	162				31.0	2.2	20.4	1.4	12.2			99.5		7.0
15	7.9	7.9	197	232	162				32.0	2.1	21.1	1.4	13.0			109.6		7.4
16	7.9	7.9	184	217	162				34.0	2.1	22.5	1.4	14.7			131.8		8.1
17	7.9	7.9	179	210	162				35.0	2.1	23.1	1.4	15.5			143.9		8.5
18	7.9	7.9	169	198	162				37.0	2.0	24.5	1.3	17.4			170.3		9.4
19	7.9	7.9	167	195	162				37.5	2.0	24.8	1.3	17.8			177.4		9.6
4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo													
19	9.7	9.7	164	192	105		35		38.0	2.0	25.2	1.3	12.0	5.9	33.0	120.5	56.9	6.4
20	9.7	9.7	157	182	105				40.0	2.0	26.6	1.3	13.2			140.7		6.9
21	9.7	9.7	153	178	105				41.0	1.9	27.2	1.3	13.9			151.6		7.2
22	9.7	9.7	150	173	105				42.0	1.9	27.9	1.3	14.6			163.1		7.5
23	9.7	9.7	144	166	105				44.0	1.9	29.3	1.3	16.0			187.8		8.1
24	9.7	9.7	141	162	105				45.0	1.9	30.0	1.2	16.8			201.0		8.3
25	9.7	9.7	138	157	105				46.5	1.8	31.0	1.2	17.9			222.0	151.4	8.8
Tumo final	Tumo final	Tumo final	Tumo final	Tumo final	Tumo final													
26	9.7	9.7	137	155	105			Tumo final	47.0	1.8	31.3	1.2	18.3			229.3		8.9
27	9.7	9.7	132	149	105				49.0	1.8	32.7	1.2	19.9			260.1		9.5

donde:

Edad (años): edad de la plantación

Espac. 1, Espac. 2 (m): espaciamientos o distancias entre los árboles de la plantación

N-max (arb/ha): densidad de plantación máxima (óptima) según modelos desarrollados (ver pág. 71)

N (arb/ha): densidades de plantación del escenario

Intens. raleo (%): intensidad de los raleos con base en el número de árboles

dap (cm): diámetro promedio de la plantación

IMA-dap (cm/año): incremento medio anual en dap

Htotal (m): altura total promedio de la plantación

IMA-Htotal (m/año): incremento medio anual en altura total

AB (m²/ha): área basal

AB-extr. (m²/ha): área basal extraída

AB-extr. (%): área basal extraída

VOL total remanente (m³/ha): volumen total remanente

VOL total extraído (m³/ha): volumen total extraído

IMA VOL total remanente (m³/ha/año): incremento medio anual en volumen total remanente.

Cuadro17. Escenario 3: simulación del crecimiento de una plantación de *Bombacopsis quinata* manejada a un área basal máxima de 20 m²/ha y partiendo de 1111 árboles /ha (3.0 x 3.0 m).

Edad (años)	Espac 1 (m)	Espac 2 (m)	2-Opcion N-max (arb/ha)	1-Opcion N-max (arb/ha)	N (arb/ha)	Intens. raleo (%)	Dap (cm)	IMA-dap (cm/año)	Htotal (m)	IMA-Htotal (m/año)	AB (m ² /ha)	AB-extr. (m ² /ha)	AB-extr. (%)	VOL total remanente (m ³ /ha)	VOL total extraído (m ³ /ha)	IMA VOL total remanente (m ³ /ha/año)
2	3.0	3.0	—	—	1111	—	5.0	2.2	2.6	1.2	2.2	—	—	2.3	—	1.0
3	3.0	3.0	—	—	1111	—	8.0	2.5	4.7	1.4	5.6	—	—	10.5	—	3.2
1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo
4	4.0	4.0	—	—	614	45	9.0	2.5	5.4	1.5	3.9	1.7	30.0	8.4	2.1	2.3
5	4.0	4.0	—	1011	614	—	13.0	2.6	8.1	1.6	8.2	—	—	26.5	—	5.2
6	4.0	4.0	981	646	614	—	16.0	2.5	10.2	1.6	12.4	—	—	50.2	—	7.9
7	4.0	4.0	585	521	614	—	18.0	2.5	11.5	1.6	15.6	—	—	72.1	—	9.9
8	4.0	4.0	405	421	614	—	20.5	2.4	13.2	1.6	20.3	—	—	107.3	—	12.7
2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo
9	5	5	383	406	340	45	21	2	14	2	12	9	42	64	43.5	7.3
10	5.4	5.4	295	334	340	—	24.0	2.3	15.6	1.5	15.4	—	—	96.0	—	9.4
11	5.4	5.4	259	300	340	—	26.0	2.3	17.0	1.5	18.0	—	—	122.5	—	10.8
12	5.4	5.4	239	279	340	—	27.5	2.3	18.0	1.5	20.2	—	—	145.4	—	11.9
3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo
12	7.0	7.0	233	273	203	40	28.0	2.2	18.4	1.5	12.5	7.7	38.0	91.2	53.5	7.4
13	7.0	7.0	222	261	203	—	29.0	2.2	19.0	1.5	13.4	—	—	102.8	—	7.8
14	7.0	7.0	205	241	203	—	31.0	2.2	20.4	1.4	15.3	—	—	125.1	—	8.8
15	7.0	7.0	197	232	203	—	32.0	2.1	21.1	1.4	16.3	—	—	137.8	—	9.3
16	7.0	7.0	184	217	203	—	34.0	2.1	22.5	1.4	18.4	—	—	165.6	—	10.2
17	7.0	7.0	176	207	203	—	35.5	2.1	23.5	1.4	20.1	—	—	188.8	—	11.0
4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo
18	9.0	9.0	174	203	122	40	36.0	2.1	23.8	1.4	12.5	7.6	38.0	118.8	70.0	6.8
19	9.0	9.0	164	192	122	—	38.0	2.0	25.2	1.3	13.9	—	—	139.9	—	7.4
20	9.0	9.0	157	182	122	—	40.0	2.0	26.6	1.3	15.4	—	—	163.5	—	8.0
21	9.0	9.0	153	178	122	—	41.0	1.9	27.2	1.3	16.2	—	—	176.1	—	8.4
22	9.0	9.0	150	173	122	—	42.0	1.9	27.9	1.3	17.0	—	—	189.5	—	8.7
23	9.0	9.0	144	166	122	—	44.0	1.9	29.3	1.3	18.6	—	—	218.1	—	9.4
24	9.0	9.0	141	162	122	—	45.0	1.9	30.0	1.2	19.5	—	—	233.5	—	9.7
25	9.0	9.0	139	159	122	—	46.0	1.8	30.7	1.2	20.4	—	—	249.5	169.1	10.0
Turno final	Turno final	Turno final	Turno final	Turno final	Turno final	Turno final	Turno final	Turno final	Turno final	Turno final	Turno final	Turno final	Turno final	Turno final	Turno final	Turno final
25	9.0	9.0	138	157	122	—	46.5	1.8	31.0	1.2	20.8	—	—	257.8	—	10.2
26	9.0	9.0	134	152	122	—	48.0	1.8	32.0	1.2	22.2	—	—	283.6	—	10.7
27	9.0	9.0	132	149	122	—	49.0	1.8	32.7	1.2	23.1	—	—	302.1	—	11.1
28	9.0	9.0	130	147	122	—	50.0	1.8	33.4	1.2	24.0	—	—	321.1	—	11.4

donde:

Edad (años): edad de la plantación

Espac. 1, Espac. 2 (m): espaciamientos o distancias entre los árboles de la plantación

N-max (arb/ha): densidad de plantación máxima (óptima) según modelos desarrollados (ver pág. 71)

N (arb/ha): densidades de plantación del escenario

Intens. raleo (%): intensidad de los raleos con base en el número de árboles

dap (cm): diámetro promedio de la plantación

IMA-dap (cm/año): incremento medio anual en dap

Htotal (m): altura total promedio de la plantación

IMA-Htotal (m/año): incremento medio anual en altura total

AB (m²/ha): área basal

AB-extr. (m²/ha): área basal extraída

AB-extr. (%): área basal extraída

VOL total remanente (m³/ha): volumen total remanente

VOL total extraído (m³/ha): volumen total extraído

IMA VOL total remanente (m³/ha/año): incremento medio anual en volumen total remanente.

Cuadro 18. Escenario 4: simulación del crecimiento de una plantación de *Bombacopsis quinata* manejada a un área basal máxima de 20 m²/ha y partiendo de 816 árboles /ha (3.5x3.5 m).

Edad (años)	Espac 1 (m)	Espac 2 (m)	2-Opcion N-max (arb/ha)	1-Opcion N-max (arb/ha)	N (arb/ha)	Intens. raleo (%)	Dap (cm)	IMA-dap (cm/año)	Htotal (m)	IMA-Htotal (m/año)	AB (m ² /ha)	AB-extr. (m ² /ha)	AB-extr. (%)	VOL total remanente (m ³ /ha)	VOL total extraído (m ³ /ha)	IMA VOL total remanente (m ³ /ha/año)
2	3.5	3.5	---	---	816		5.0	2.2	2.6	1.2	1.6			1.7		0.7
3	3.5	3.5	---	---	816		8.0	2.5	4.7	1.4	4.1			7.7		2.4
4	3.5	3.5	---	---	816		11.0	2.5	6.7	1.6	7.8			20.9		4.8
1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo
5	4.5	4.5	---	1238	487	40	12.0	2.6	7.4	1.6	5.5	2.2	29.0	16.4	4.6	3.5
6	4.5	4.5	981	646	487		16.0	2.5	10.2	1.6	9.8			39.8		6.3
7	4.5	4.5	585	521	487		18.0	2.5	11.5	1.6	12.4			57.1		7.9
8	4.5	4.5	430	438	487		20.0	2.4	12.9	1.6	15.3			78.9		9.6
9	5	5	347	378	487		22	2	14	2	19			106		11.5
10	4.5	4.5	318	355	487		23.0	2.4	14.9	1.5	20.2			120.9		12.4
2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo
10	6.1	6.1	306	344	266	45	23.5	2.4	15.3	1.5	11.5	8.7	43.0	70.5	50.4	2raleo
11	6.1	6.1	259	300	266		26.0	2.3	17.0	1.5	14.1			95.9		7.1
12	6.1	6.1	233	273	266		28.0	2.2	18.4	1.5	16.4			120.2		8.5
13	6.1	6.1	222	261	266		29.0	2.2	19.0	1.5	17.6			133.7		9.6
14	6.1	6.1	205	241	266		31.0	2.2	20.4	1.4	20.1			163.8		10.2
3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo
15	7.6	7.6	201	236	172	35	31.5	2.2	20.7	1.4	13.4	6.6	33.0	111.6	52.2	11.5
16	7.6	7.6	184	217	172		34.0	2.1	22.5	1.4	15.7			140.7		7.7
17	7.6	7.6	179	210	172		35.0	2.1	23.1	1.4	16.6			153.6		8.7
18	7.6	7.6	169	198	172		37.0	2.0	24.5	1.3	18.5			181.8		9.1
19	7.6	7.6	162	189	172		38.5	2.0	25.5	1.3	20.1			205.1		10.0
4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo
20	9.4	9.4	160	187	113	35	39.0	2.0	25.9	1.3	13.5	6.6	33.0	139.2	65.8	10.7
21	9.4	9.4	153	178	113		41.0	1.9	27.2	1.3	14.9			162.0		7.1
22	9.4	9.4	150	173	113		42.0	1.9	27.9	1.3	15.6			174.3		7.7
23	9.4	9.4	144	166	113		44.0	1.9	29.3	1.3	17.1			200.6		8.0
24	9.4	9.4	141	162	113		45.0	1.9	30.0	1.2	17.9			214.7		8.6
25	9.4	9.4	139	159	113		46.0	1.8	30.7	1.2	18.7			229.5		8.9
26	9.4	9.4	135	154	113		47.5	1.8	31.7	1.2	20.0			252.9	173.0	9.2
Turno final																
26	9.4	9.4	134	152	113		48.0	1.8	32.0	1.2	20.4			261.0		9.7
27	9.4	9.4	132	149	113		49.0	1.8	32.7	1.2	21.2			277.8		9.9
28	9.4	9.4	130	147	113		50.0	1.8	33.4	1.2	22.1			295.3		10.2
																10.5

donde:

Edad (años): edad de la plantación

Espac. 1, Espac. 2 (m): espaciamientos o distancias entre los árboles de la plantación

N-max (arb/ha): densidad de plantación máxima (óptima) según modelos desarrollados (ver pág. 71)

N (arb/ha): densidades de plantación del escenario

Intens. raleo (%): intensidad de los raleos con base en el número de árboles

dap (cm): diámetro promedio de la plantación

IMA-dap (cm/año): incremento medio anual en dap

Htotal (m): altura total promedio de la plantación

IMA-Htotal (m/año): incremento medio anual en altura total

AB (m²/ha): área basal

AB-extr. (m²/ha): área basal extraída

AB-extr. (%): área basal extraída

VOL total remanente (m³/ha): volumen total remanente

VOL total extraído (m³/ha): volumen total extraído

IMA VOL total remanente (m³/ha/año): incremento medio anual en volumen total remanente.

Cuadro 19. Escenario 5: simulación del crecimiento de una plantación de *Bombacopsis quinata* manejada a un área basal máxima de 22 m²/ha y partiendo de 1111 árboles /ha (3.0 x 3.0 m).

Edad (años)	Espac 1 (m)	2-Opcion		1-Opcion		Intens. raleo (%)	Dap (cm)	IMA-dap (cm/año)	Htotal (m)	IMA-Htotal (m/año)	AB (m ² /ha)	AB-extr (m ² /ha)	AB-extr (%)	VOL total remanente (m ³ /ha)	VOL total extraído (m ³ /ha)	IMA VOL total remanente (m ³ /ha/año)
		Espac 2 (m)	N-max (arb/ha)	N-max (arb/ha)	N (arb/ha)											
2	3.0	3.0	—	—	1111	—	5.0	2.2	2.6	1.2	2.2	—	—	2.3	—	1.0
3	3.0	3.0	—	—	1111	—	8.0	2.5	4.7	1.4	5.6	—	—	10.5	—	3.2
4	3.0	3.0	—	—	1111	—	11.0	2.5	6.7	1.6	10.6	—	—	28.5	—	6.6
1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo
5	3.9	3.9	—	—	1238	663	40	12.0	2.6	7.4	1.6	7.5	3.1	29.0	6.2	4.7
6	3.9	3.9	981	646	663	663	—	16.0	2.5	10.2	1.6	13.3	—	—	54.1	8.5
7	3.9	3.9	585	521	663	663	—	18.0	2.5	11.5	1.6	16.9	—	—	77.7	10.7
8	3.9	3.9	405	421	663	663	—	20.5	2.4	13.2	1.6	21.9	—	—	115.8	13.7
2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo
9	5.2	5.2	383	406	366	366	45	21.0	2.4	13.6	1.6	22.7	9.2	42.0	68.9	7.9
10	5.2	5.2	295	334	366	366	—	24.0	2.3	15.6	1.5	16.6	—	—	103.6	10.1
11	5.2	5.2	259	300	366	366	—	26.0	2.3	17.0	1.5	19.5	—	—	132.2	11.7
12	5.2	5.2	239	279	366	366	—	27.5	2.3	18.0	1.5	21.8	—	—	156.8	12.9
3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo
12	6.8	6.8	233	273	219	219	40	28.0	2.2	18.4	1.5	13.5	8.3	38.0	99.1	7.9
13	6.8	6.8	222	261	219	219	—	29.0	2.2	19.0	1.5	14.5	—	—	110.2	8.4
14	6.8	6.8	205	241	219	219	—	31.0	2.2	20.4	1.4	16.5	—	—	135.0	9.5
15	6.8	6.8	197	232	219	219	—	32.0	2.1	21.1	1.4	17.6	—	—	148.6	10.0
16	6.8	6.8	184	217	219	219	—	34.0	2.1	22.5	1.4	19.9	—	—	178.7	11.0
17	6.8	6.8	179	210	219	219	—	35.0	2.1	23.1	1.4	21.1	—	—	195.1	11.6
18	6.8	6.8	174	203	219	219	—	36.0	2.1	23.8	1.4	22.3	—	—	212.5	12.1
4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo
18	8.7	8.7	171	200	132	132	40	36.5	2.0	24.2	1.4	13.8	8.5	38.0	133.6	7.5
19	8.7	8.7	164	192	132	132	—	38.0	2.0	25.2	1.3	15.0	—	—	151.0	8.0
20	8.7	8.7	157	182	132	132	—	40.0	2.0	26.6	1.3	16.6	—	—	176.4	8.7
21	8.7	8.7	153	178	132	132	—	41.0	1.9	27.2	1.3	17.4	—	—	190.1	9.0
22	8.7	8.7	150	173	132	132	—	42.0	1.9	27.9	1.3	18.3	—	—	204.5	9.4
23	8.7	8.7	144	166	132	132	—	44.0	1.9	29.3	1.3	20.1	—	—	235.4	10.1
24	8.7	8.7	141	162	132	132	—	45.0	1.9	30.0	1.2	21.0	—	—	252.0	10.5
25	8.7	8.7	139	159	132	132	—	46.0	1.8	30.7	1.2	22.0	—	—	269.3	10.8
Turno final	Turno final	Turno final	Turno final	Turno final	Turno final	Turno final	Turno final	Turno final	Turno final	Turno final	Turno final	Turno final	Turno final	Turno final	Turno final	Turno final
25	8.7	8.7	138	157	132	132	—	46.5	1.8	31.0	1.2	22.4	—	—	278.2	11.0
26	8.7	8.7	134	152	132	132	—	48.0	1.8	32.0	1.2	23.9	—	—	306.3	11.6
27	8.7	8.7	132	149	132	132	—	49.0	1.8	32.7	1.2	24.9	—	—	326.0	11.9
28	8.7	8.7	130	147	132	132	—	50.0	1.8	33.4	1.2	25.9	—	—	346.5	12.3
29	8.7	8.7	129	145	132	132	—	50.5	1.8	33.7	1.2	26.5	—	—	357.1	12.5

donde:

Edad (años): edad de la plantación

Espac. 1, Espac. 2 (m): espaciamientos o distancias entre los árboles de la plantación

N-max (arb/ha): densidad de plantación máxima (óptima) según modelos desarrollados (ver pág. 71)

N (arb/ha): densidades de plantación del escenario

Intens. raleo (%): intensidad de los raleos con base en el número de árboles

dap (cm): diámetro promedio de la plantación

IMA-dap (cm/año): incremento medio anual en dap

Htotal (m): altura total promedio de la plantación

IMA-Htotal (m/año): incremento medio anual en altura total

AB (m²/ha): área basal

AB-extr. (m²/ha): área basal extraída

AB-extr. (%): área basal extraída

VOL total remanente (m³/ha): volumen total remanente

VOL total extraído (m³/ha): volumen total extraído

IMA VOL total remanente (m³/ha/año): incremento medio anual en volumen total remanente.

Cuadro 20. Escenario 6: simulación del crecimiento de una plantación de *Bombacopsis quinata* manejada a un área basal máxima de 22 m²/ha y partiendo de 816 árboles /ha (3.5x 3.5 m).

Edad (años)	Espac 1 (m)	Espac 2 (m)	2-Opcion N-max (arb/ha)	1-Opcion N-max (arb/ha)	N (arb/ha)	Intens. raleo (%)	Dap (cm)	IMA-dap (cm/año)	Htotal (m)	IMA-Htotal (m/año)	AB (m ² /ha)	AB-extr (m ² /ha)	AB-extr (%)	VOL total remanente (m ³ /ha)	VOL total extraído (m ³ /ha)	IMA VOL total remanente (m ³ /ha/año)
2	3.5	3.5	---	---	816		4.0	2.0	2.0	1.0	1.0			0.8		0.4
3	3.5	3.5	---	---	816		8.0	2.5	4.7	1.4	4.1			7.7		2.4
4	3.5	3.5	---	---	816		11.0	2.5	6.7	1.6	7.8			20.9		4.8
5	3.5	3.5	---	---	924		13.5	2.5	8.4	1.6	11.7			39.5		7.5
1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo
6	4.5	4.5	---	---	852	40	14.0	2.5	8.8	1.6	7.6			26.7	12.8	4.9
7	4.5	4.5	585	521	493		18.0	2.5	11.5	1.6	12.6	4.1	35.0	57.9		8.0
8	4.5	4.5	430	438	493		23.0	2.4	12.9	1.6	15.5			79.9		9.7
9	4.5	4.5	347	378	493		22.0	2.4	14.3	1.6	18.7			106.9		11.6
10	4.5	4.5	295	334	493		24.0	2.3	15.6	1.5	22.3			139.4		13.6
2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo
11	5.9	5.9	285	325	284	42	24.5	2.3	16.0	1.5	13.4	8.9	40.0	85.5	53.9	8.1
12	5.9	5.9	233	273	284		28.0	2.2	18.4	1.5	17.5			128.4		10.3
13	5.9	5.9	222	261	284		29.0	2.2	19.0	1.5	18.8			142.8		10.9
14	5.9	5.9	205	241	284		31.0	2.2	20.4	1.4	21.4			174.9		12.3
15	5.9	5.9	201	236	284		31.5	2.2	20.7	1.4	22.1			183.7		12.6
3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo
15	7.7	7.7	197	232	171	40	32.0	2.1	21.1	1.4	13.7	8.4	38.0	115.7	67.9	7.8
16	7.7	7.7	184	217	171		34.0	2.1	22.5	1.4	15.5			139.1		8.6
17	7.7	7.7	179	210	171		35.0	2.1	23.1	1.4	16.4			151.9		9.0
18	7.7	7.7	169	198	171		37.0	2.0	24.5	1.3	18.3			179.8		9.9
19	7.7	7.7	164	192	171		38.0	2.0	25.2	1.3	19.3			194.9		10.3
20	7.7	7.7	157	182	171		40.0	2.0	25.6	1.3	21.4			227.7		11.2
21	7.7	7.7	155	180	171		40.5	2.0	26.9	1.3	22.0			236.4		11.4
4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo
21	9.5	9.5	153	178	112	35	41.0	1.9	27.2	1.3	14.7	7.3	33.0	160.4	76.0	7.6
22	9.5	9.5	150	173	112		42.0	1.9	27.9	1.3	15.5			172.6		7.9
23	9.5	9.5	144	166	112		44.0	1.9	29.3	1.3	17.0			198.7		8.5
24	9.5	9.5	141	162	112		45.0	1.9	30.0	1.2	17.7			212.6		8.8
25	9.5	9.5	139	159	112		46.0	1.8	30.7	1.2	18.5			227.3		9.1
26	9.5	9.5	134	152	112		48.0	1.8	32.0	1.2	20.2			258.5		9.8
27	9.5	9.5	132	149	112		49.0	1.8	32.7	1.2	21.0			275.1	total	10.1
28	9.5	9.5	130	147	112		50.0	1.8	33.4	1.2	21.9			292.5	total	10.4
Turno final	Turno final	Turno final	Turno final	Turno final	Turno final	Turno final	Turno final	Turno final	Turno final	Turno final	Turno final	Turno final	Turno final	Turno final	Turno final	Turno final
29	9.5	9.5	129	145	112		50.5	1.8	33.7	1.2	22.3			301.4		10.5
30	9.5	9.5	125	140	112		52.5	1.7	35.1	1.2	24.1			338.9		11.2

donde:

Edad (años): edad de la plantación

Espac. 1, Espac. 2 (m): espaciamientos o distancias entre los árboles de la plantación

N-max (arb/ha): densidad de plantación máxima (óptima) según modelos desarrollados (ver pág. 71)

N (arb/ha): densidades de plantación del escenario

Intens. raleo (%): intensidad de los raleos con base en el número de árboles

dap (cm): diámetro promedio de la plantación

IMA-dap (cm/año): incremento medio anual en dap

Htotal (m): altura total promedio de la plantación

IMA-Htotal (m/año): incremento medio anual en altura total

AB (m²/ha): área basal

AB-extr. (m²/ha): área basal extraída

AB-extr. (%): área basal extraída

VOL total remanente (m³/ha): volumen total remanente

VOL total extraído (m³/ha): volumen total extraído

IMA VOL total remanente (m³/ha/año): incremento medio anual en volumen total remanente.

Cuadro 21. Escenario 7: simulación del crecimiento de una plantación de *Bombacopsis quinata* manejada a un área basal máxima de 24 m²/ha y partiendo de 1111 árboles /ha (3.0 x 3.0 m).

Edad (años)	Espac 1 (m)	Espac 2 (m)	2-Opcion N-max (arb/ha)	1-Opcion N-max (arb/ha)	N (arb/ha)	Intens raleo (%)	Dap (cm)	IMA-dap (cm/año)	Htotal (m)	IMA-Htotal (m/año)	AB (m ² /ha)	AB-extr. (m ² /ha)	AB-extr. (%)	VOL total remanente (m ³ /ha)	VOL total extraído (m ³ /ha)	IMA VOL total remanente (m ³ /ha/año)
2	3.0	3.0	---	---	1111		5.0	2.2	2.6	1.2	2.2			2.3		1.0
3	3.0	3.0	---	---	1111		8.0	2.5	4.7	1.4	5.6			10.5		3.2
4	3.0	3.0	---	---	1111		11.0	2.5	6.7	1.6	10.6			28.5		6.6
1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo
5	4.0	4.0	---	---	1238	45	12.0	2.6	7.4	1.6	7.0	3.6	34.0	20.7	7.8	4.4
6	4.0	4.0	981	646	616		16.0	2.5	10.2	1.6	12.4			50.3		7.9
7	4.0	4.0	585	521	616		18.0	2.5	11.5	1.6	15.7			72.3		10.0
8	4.0	4.0	430	438	616		20.0	2.4	12.9	1.6	19.4			99.8		12.2
9	4.0	4.0	332	366	616		22.5	2.4	14.6	1.5	24.5			143.1		15.1
2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo
10	5	5	318	355	335	45	23	2	15	2	14	11	43	83	59.6	8.6
11	5.5	5.5	259	300	336		26.0	2.3	17.0	1.5	17.8			121.3		10.7
12	5.5	5.5	233	273	336		28.0	2.2	18.4	1.5	20.7			152.0		12.2
13	5.5	5.5	222	261	336		29.0	2.2	19.0	1.5	22.2			169.1		13.0
14	5.5	5.5	213	250	336		30.0	2.2	19.7	1.4	23.8			187.4		13.7
3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo
14	7.0	7.0	209	246	202	40	30.5	2.2	20.1	1.4	14.7	9.0	38.0	118.2	69.2	8.5
15	7.0	7.0	197	232	202		32.0	2.1	21.1	1.4	16.2			136.8		9.2
16	7.0	7.0	184	217	202		34.0	2.1	22.5	1.4	18.3			164.4		10.2
17	7.0	7.0	179	210	202		35.0	2.1	23.1	1.4	19.4			179.5		10.7
18	7.0	7.0	169	198	202		37.0	2.0	24.5	1.3	21.7			212.5		11.7
19	7.0	7.0	164	192	202		38.0	2.0	25.2	1.3	22.9			230.4		12.2
20	7.0	7.0	160	187	202		39.0	2.0	25.9	1.3	24.1			249.2		12.7
4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo
20	9.1	9.1	159	184	122	40	39.5	2.0	26.2	1.3	14.9	9.2	38.0	156.6	92.7	7.8
21	9.1	9.1	153	178	122		41.0	1.9	27.2	1.3	16.1			175.3		8.3
22	9.1	9.1	150	173	122		42.0	1.9	27.9	1.3	16.9			188.5		8.7
23	9.1	9.1	144	166	122		44.0	1.9	29.3	1.3	18.5			217.1		9.3
24	9.1	9.1	141	162	122		45.0	1.9	30.0	1.2	19.4			232.3		9.6
25	9.1	9.1	139	159	122		46.0	1.8	30.7	1.2	20.3			248.3		10.0
26	9.1	9.1	134	152	122		48.0	1.8	32.0	1.2	22.0			282.4		10.7
27	9.1	9.1	132	149	122		49.0	1.8	32.7	1.2	23.0			300.6		11.0
28	9.1	9.1	130	147	122		50.0	1.8	33.4	1.2	23.9			319.5	229.3	11.3
Turno final		Turno final		Turno final		Turno final		Turno final		Turno final		Turno final		Turno final		Turno final
29	9.1	9.1	129	145	122		50.5	1.8	33.7	1.2	24.4			151.8		5.3
30	9.1	9.1	125	140	122		52.5	1.7	35.1	1.2	26.4			171.7		5.7

donde:

Edad (años): edad de la plantación

Espac. 1, Espac. 2 (m): espaciamientos o distancias entre los árboles de la plantación

N-max (arb/ha): densidad de plantación máxima (óptima) según modelos desarrollados (ver pág. 71)

N (arb/ha): densidades de plantación del escenario

Intens. raleo (%): intensidad de los raleos con base en el número de árboles

dap (cm): diámetro promedio de la plantación

IMA-dap (cm/año): incremento medio anual en dap

Htotal (m): altura total promedio de la plantación

IMA-Htotal (m/año): incremento medio anual en altura total

AB (m²/ha): área basal

AB-extr. (m²/ha): área basal extraída

AB-extr. (%): área basal extraída

VOL total remanente (m³/ha): volumen total remanente

VOL total extraído (m³/ha): volumen total extraído

IMA VOL total remanente (m³/ha/año): incremento medio anual en volumen total remanente.

Cuadro 22. Escenario 8: simulación del crecimiento de una plantación de *Bombacopsis quinata* manejada a un área basal máxima de 24 m²/ha y partiendo de 816 árboles /ha (3.5 x 3.5 m).

Edad (años)	Espac 1 (m)	Espac 2 (m)	2-Opcion N-max (arb/ha)	1-Opcion N-max (arb/ha)	N (arb/ha)	Intens. raleo (%)	Dap (cm)	IMA-dap (cm/año)	Htotal (m)	IMA-Htotal (m/año)	AB (m ² /ha)	AB-extr. (m ² /ha)	AB-extr. (%)	VOL total remanente (m ³ /ha)	VOL total extraído (m ³ /ha)	IMA VOL total remanente (m ³ /ha/año)
2	3.5	3.5	—	—	816	—	5.0	2.2	2.6	1.2	1.6	—	—	1.7	—	0.7
3	3.5	3.5	—	—	816	—	8.0	2.5	4.7	1.4	4.1	—	—	7.7	—	2.4
4	3.5	3.5	—	—	816	—	11.0	2.5	6.7	1.6	7.8	—	—	20.9	—	4.8
5	3.5	3.5	—	—	924	—	13.5	2.5	8.4	1.6	11.7	—	—	39.5	—	7.5
1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo	1raleo
6	4.5	4.5	—	852	493	40	14.0	2.5	8.8	1.6	7.6	4.1	35.0	26.7	12.8	4.9
7	4.5	4.5	585	521	493	—	18.0	2.5	11.5	1.6	12.6	—	—	57.9	—	8.0
8	4.5	4.5	430	438	493	—	20.0	2.4	12.9	1.6	15.5	—	—	79.9	—	9.7
9	4.5	4.5	347	378	493	—	22.0	2.4	14.3	1.6	18.7	—	—	106.9	—	11.6
10	4.5	4.5	295	334	493	—	24.0	2.3	15.6	1.5	22.3	—	—	139.4	—	13.6
11	4.5	4.5	275	316	493	—	25.0	2.3	16.3	1.5	24.2	—	—	157.9	—	14.7
2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo	2raleo
11	5.8	5.8	267	308	294	40	25.5	2.3	16.6	1.5	15.0	9.2	38.0	100.0	59.0	9.0
12	5.8	5.8	233	273	294	—	28.0	2.2	18.4	1.5	18.1	—	—	132.9	—	10.7
13	5.8	5.8	222	261	294	—	29.0	2.2	19.0	1.5	19.4	—	—	147.8	—	11.3
14	5.8	5.8	205	241	294	—	31.0	2.2	20.4	1.4	22.2	—	—	181.1	—	12.7
15	5.8	5.8	194	228	294	—	32.5	2.1	21.4	1.4	24.4	—	—	209.0	—	13.7
3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo	3raleo
16	7.5	7.5	190	224	177	40	33.0	2.1	21.8	1.4	15.1	9.3	38.0	131.6	77.4	8.5
17	7.5	7.5	179	210	177	—	35.0	2.1	23.1	1.4	17.0	—	—	157.4	—	9.4
18	7.5	7.5	169	198	177	—	37.0	2.0	24.5	1.3	19.0	—	—	186.3	—	10.2
19	7.5	7.5	164	192	177	—	38.0	2.0	25.2	1.3	20.0	—	—	202.0	—	10.7
20	7.5	7.5	157	182	177	—	40.0	2.0	26.6	1.3	22.2	—	—	235.9	—	11.6
21	7.5	7.5	152	175	177	—	41.5	1.9	27.6	1.3	23.9	—	—	263.7	—	12.3
4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo	4raleo
22	9.3	9.3	150	173	116	35	42.0	1.9	27.9	1.3	16.0	7.9	33.0	178.9	84.8	8.2
23	9.3	9.3	144	166	116	—	44.0	1.9	29.3	1.3	17.6	—	—	205.9	—	8.8
24	9.3	9.3	141	162	116	—	45.0	1.9	30.0	1.2	18.4	—	—	220.4	—	9.2
25	9.3	9.3	139	159	116	—	46.0	1.8	30.7	1.2	19.2	—	—	235.6	—	9.5
26	9.3	9.3	134	152	116	—	48.0	1.8	32.0	1.2	20.9	—	—	268.0	—	10.1
27	9.3	9.3	132	149	116	—	49.0	1.8	32.7	1.2	21.8	—	—	285.2	—	10.4
28	9.3	9.3	130	147	116	—	50.0	1.8	33.4	1.2	22.7	—	—	303.2	—	10.8
29	9.3	9.3	127	143	116	—	51.5	1.7	34.4	1.2	24.1	—	—	331.5	232.9	11.3
Turno final	Turno final	Turno final	Turno final	Turno final	Turno final	Turno final	Turno final	Turno final	Turno final	Turno final	Turno final	Turno final	Turno final	Turno final	Turno final	Turno final
30	9.3	9.3	126	142	116	—	52.0	1.7	34.8	1.2	24.6	—	—	341.3	—	11.4
30	9.3	9.3	125	140	116	—	52.5	1.7	35.1	1.2	25.0	—	—	351.3	—	11.6

donde:

Edad (años): edad de la plantación

Espac. 1, Espac. 2 (m): espaciamientos o distancias entre los árboles de la plantación

N-max (arb/ha): densidad de plantación máxima (óptima) según modelos desarrollados (ver pág. 71)

N (arb/ha): densidades de plantación del escenario

Intens. raleo (%): intensidad de los raleos con base en el número de árboles

dap (cm): diámetro promedio de la plantación

IMA-dap (cm/año): incremento medio anual en dap

Htotal (m): altura total promedio de la plantación

IMA-Htotal (m/año): incremento medio anual en altura total

AB (m²/ha): área basal

AB-extr. (m²/ha): área basal extraída

AB-extr. (%): área basal extraída

VOL total remanente (m³/ha): volumen total remanente

VOL total extraído (m³/ha): volumen total extraído

IMA VOL total remanente (m³/ha/año): incremento medio anual en volumen total remanente.