

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA
PROGRAMA DE ENSEÑANZA PARA EL DESARROLLO Y LA CONSERVACIÓN
ESCUELA DE POSTGRADO

**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* L. y *Gmelina arborea* Roxb., Hojancha, Guanacaste, Costa Rica.**

Por

Ricardo Morataya Montenegro

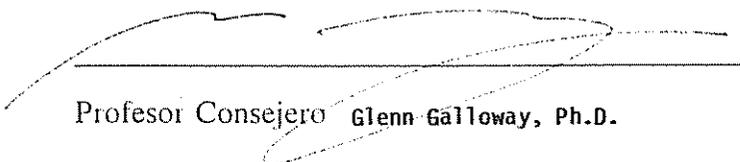


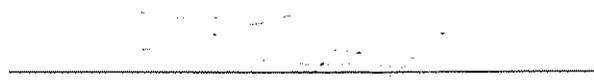
Turrialba, Costa Rica
1996

Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma, por la Jefatura del Area 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:

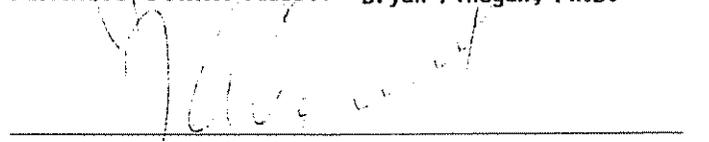
MAGISTER SCIENTIAE

FIRMANTES:


Profesor Consejero **Glenn Galloway, Ph.D.**


Miembro Comité Asesor **Luis Ugaldé, Ph.D.**


Miembro Comité Asesor **Bryan Finegan, Ph.D.**


Jefe, Area de Postgrado **Juan Antonio Aguirre, Ph.D.**


Director, Programa de Enseñanza **pedro Ferreira, Ph.D.**


Candidato **Ricardo Morataya Montenegro**

DEDICATORIA

A **Jesucristo**, mi roca fuerte.

A mi familia, en especial a mis Padres:

Manuel Morataya Cabrera
Agustina Montenegro Duarte

A mi esposa:

Patricia Sandoval

A mis hijos:

Andrea Celeste y Keylor Alberto

A mi patria terrenal: Guatemala

AGRADECIMIENTOS

Agradezco:

A **Dios Padre** por su infinita misericordia hacia mi.

A mi socio inseparable para con **Dios: Jesucristo**

A mi profesor consejero: Glenn Galloway Ph.D.

A los miembros del comité asesor: Luis Ugalde Ph.D.
Bryan Finegan Ph.D.

Al DAAD de Alemania, por haberme brindado la oportunidad de realizar mis estudios de Maestría en CATIE, Turrialba, Costa Rica.

Al Area de Conservación Tempisque (ACT), Guanacaste, Costa Rica.

A los Ingenieros Forestales: Danilo Méndez, José Miguel Valverde y Emel Rodríguez, así como los demás funcionarios del MINAE, Hojancha, Gte, que de una u otra forma apoyaron mi trabajo de campo.

Al Centro Agrícola Cantonal de Hojancha (CACH) por el apoyo brindado al trabajo de campo.

A la familia Sandoval Pérez de Pilangosta, Hojancha, por su amistad desinteresada, y que Dios les prospere en todos sus caminos.

A Sergio Bogantes, Mauricio Osorno, Marcos Boza y Melvin Rodríguez, por la paciencia y colaboración en el trabajo de campo.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivos del estudio:.....	3
1.2 Hipótesis planteadas:.....	4
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
2.1 Madera de albura/duramen, su identificación y medición.....	5
2.1.1 Albura y duramen.....	5
2.1.2 Algunas técnicas implementadas para la identificación y medición de la albura.....	6
2.1.3 Diferenciación de albura/duramen y anillos de crecimiento en <i>T. grandis</i> L.....	8
2.1.4 Diferenciación de albura/duramen y anillos de crecimiento en <i>G. arborea</i> Roxb.....	8
2.2 Teoría del Modelo Vascular (TMV) (Pipe Model Theory).....	9
2.3 Relaciones de madera de albura y follaje.....	10
2.3.1 Area de albura y follaje.....	10
2.3.2 Volumen de albura y follaje.....	16
2.4 Algunos aspectos a considerar sobre el muestreo estadístico en estudios de árboles individuales.....	16
2.5 El penúltimo anillo de crecimiento como criterio para evaluar la capacidad de respuesta al raleo.....	17
3. METODOLOGÍA.....	18
3.1 Descripción del área de estudio.....	18
3.2 Pruebas preliminares.....	20

3.3 Algunos principios generales a tener en cuenta.....	22
3.4 Marco muestral	22
3.5 Aspectos considerados en el muestreo	24
3.6 Descripción del material utilizado	25
3.6.1 Parcelas <i>sin raleo (competencia extrema)</i>	25
3.6.2 Parcelas con manejo	25
3.6.3 Árboles en libre crecimiento.....	32
3.7 Medición de árboles en pie.....	33
3.8 Medición de árboles volteados	33
3.9 Análisis de la información.....	40
3.10 Criterios tomados en cuenta para la selección de modelos.....	43
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	44
4.1 Relaciones en <i>Tectona grandis</i> L.	44
4.1.1 Relación entre el peso del follaje (kg) y el área de albura al Dap (cm ²) en <i>T. grandis</i> L.	44
4.1.2 Relación entre el peso del follaje (kg) y el área de albura a la base de la copa viva (cm ²) en <i>T. grandis</i> L.	46
4.1.3 Relación entre el peso de follaje (kg) y el área del penúltimo anillo de crecimiento al Dap (cm ²) en <i>T. grandis</i> L.	49
4.1.4 Relación entre el peso de follaje (kg) y el volumen del penúltimo anillo de crecimiento (m ³) en <i>T. grandis</i> L.	52
4.1.5 Relación entre el volumen de albura (m ³) y el área de albura al Dap (cm ²) en <i>T. grandis</i> L.	54
4.1.6 Relación entre el volumen de albura (m ³) y el peso de follaje (kg) en <i>T. grandis</i> L.	57

4.1.7 Otras relaciones en <i>T. grandis</i> L.....	58
4.2 Relaciones en <i>Gmelina arborea</i> Roxb.....	58
4.2.1 Relación entre el peso de follaje (kg) y el área de albura al Dap (cm ²) en <i>G. arborea</i> Roxb.....	59
4.2.2 Relación entre el peso de follaje (kg) y el área de albura a la base de la copa viva (cm ²) en <i>G. arborea</i> Roxb.....	61
4.2.3 Relación entre el peso de follaje (kg) y el área del penúltimo anillo en al Dap (cm ²) en <i>G. arborea</i> Roxb.....	63
4.2.4 Relación entre el peso de follaje (kg) con el volumen del penúltimo anillo de crecimiento (m ³) en <i>G. arborea</i> Roxb.....	64
4.2.5 Relación entre el volumen total de albura (m ³) con el peso de follaje (kg) en <i>G. arborea</i> Roxb.....	64
4.2.6 Relación entre el volumen total de albura en (m ³) con área de albura al Dap (cm ²) en <i>G. arborea</i> Roxb.....	67
4.2.7 Otras relaciones en <i>G. arborea</i> Roxb.....	69
4.3 Resumen de los modelos obtenidos en ambas especies.....	70
4.4 Aplicación de los modelos a la TMV.....	70
4.5 Comportamiento del peso del follaje (kg) y área de albura al Dap (cm ²) en plantaciones con manejo bajo competencia <i>menor y fuerte</i>	71
4.6 Implicaciones de los modelos desarrollados.....	73
4.6.1 Implicaciones en <i>T. grandis</i> L.....	74
4.6.2 Implicaciones en <i>G. arborea</i> Roxb.....	82
5. CONCLUSIONES.....	88
6. RECOMENDACIONES.....	91
7. BIBLIOGRAFÍA.....	92
ANEXOS.....	97

LISTA DE CUADROS EN EL TEXTO

Cuadro 1	Ecuaciones de regresión para el área de albura sobre el área basal sin corteza , dada al Dap y a la base de la corona en rodales de árboles de 22 años con diferentes estados de crecimiento (early growth rates)	15
Cuadro 2	Número de árboles seleccionados en algunos estudios para establecer relaciones entre área de albura y follaje (biomasa y área foliar)	17
Cuadro 3	Promedios mensuales de precipitación (mm) y temperatura (°C) de 1964 a 1984 registrado por la estación meteorológica de Nicoya, Guanacaste.	20
Cuadro 4	Medición preliminar de algunas variables a considerar en el presente estudio.	22
Cuadro 5	Parcelas permanentes de manejo establecidas en Hojancha y Nicoya.....	23
Cuadro 6	Parcelas permanentes con historial de manejo completo.....	24
Cuadro 7	Códigos de identificación para árboles muestreados	24
Cuadro 8	Parcelas permanentes <i>sin raleos</i> de <i>T. grandis</i> L., y <i>G. arborea</i> Roxb., establecidas en Hojancha, Guanacaste.	25
Cuadro 9	Historial de parcelas permanentes con manejo para <i>T. grandis</i> L.	26
Cuadro 10	Historial de parcelas permanentes con manejo para <i>G. arborea</i> Roxb.....	26
Cuadro 11	Parcelas seleccionadas para el muestreo destructivo de árboles de <i>T. grandis</i> L., y <i>G. arborea</i> Roxb.	31
Cuadro 12	Arboles de <i>T. grandis</i> L., y <i>G. arborea</i> Roxb., en linderos con <i>libre crecimiento</i>	32
Cuadro 13	Variables tomadas de árboles volteados.	40
Cuadro 14	Modelos preseleccionados para la predicción del peso de follaje (kg) y volumen de albura (m ³).....	41
Cuadro 15	Modelos simples probados para predecir peso de follaje (kg) y volumen de albura (m ³).....	42

Cuadro 16	Modelos múltiples probados para predecir peso de follaje (kg) y volumen de albura (m ³).....	42
Cuadro 17	Mejores modelos probados de la relación entre peso de follaje en kg (y) y área de albura al Dap en cm ² (x) en <i>T. grandis</i> L.....	44
Cuadro 18	Resumen de las estadísticas de regresión del modelo (4.1).....	45
Cuadro 19	Modelos probados para el peso del follaje (kg) con el área de albura a la base de la copa viva (cm ²) en <i>T. grandis</i> L.....	46
Cuadro 20	Resumen de las estadísticas de regresión del modelo (4.2).....	47
Cuadro 21	Mejores modelos probados para la relación entre el peso del follaje (kg) (y) con el área del penúltimo anillo de crecimiento al Dap (cm ²) (x) en <i>T. grandis</i> L.....	49
Cuadro 22	Resumen de las estadísticas de regresión del modelo (4.3).....	50
Cuadro 23	Mejores modelos probados para la relación entre el peso de follaje (kg) ($Pfollaje$) con el volumen total del penúltimo anillo de crecimiento (m ³) ($Vpnt$) en <i>T. grandis</i> L.....	52
Cuadro 24	Resumen de las estadísticas del modelo (4.4).....	53
Cuadro 25	Mejores modelos probados para la relación entre el volumen de albura en m ³ (y) y el área de albura en cm ² al Dap (x) en <i>T. grandis</i> L.....	55
Cuadro 26	Resumen de las estadísticas de regresión del modelo (4.5).....	55
Cuadro 27	Modelos probados para la relación entre el volumen de albura en m ³ y el peso el follaje en kilogramos, para <i>T. grandis</i> L.....	57
Cuadro 28	Mejores modelos probados para la relación entre el $Pfollaje$ (y) y el $Aadap$ (x) en <i>G. arborea</i> Roxb.....	59
Cuadro 29	Estadísticas de regresión para el modelo (4.6).....	60
Cuadro 30	Mejores modelos probados para la relación entre el $Pfollaje$ (y) y el $Aabcv$ (x) en <i>G. arborea</i> Roxb.....	61
Cuadro 31	Resumen de las estadísticas de regresión del modelo (4.7).....	62

Cuadro 32	Modelos probados para la relación entre el peso del follaje en kilogramos (y) con el área del penúltimo anillo al Dap (x) en <i>G. arborea</i> Roxb.....	63
Cuadro 33	Modelos probados para la relación entre el peso del follaje (kg) y el volumen del penúltimo anillo de crecimiento (m^3) en <i>G. arborea</i> Roxb.....	64
Cuadro 34	Modelos probados para la relación entre el <i>Valbura</i> (Y) y el <i>Pfollaje</i> (x) en <i>G. arborea</i> Roxb.....	65
Cuadro 35	Resumen de las estadísticas de regresión del modelo (4.8).....	66
Cuadro 36	Mejores modelos probados para la relación entre el <i>Valbura</i> (y) y el <i>Aadap</i> (x) en <i>G. arborea</i> Roxb.....	67
Cuadro 37	Estadísticas de regresión del modelo (4.9).....	68
Cuadro 38	Modelos de predicción desarrollados para el peso del follaje(kg) y volumen de albura (m^3) en <i>T. grandis</i> L. y <i>G. arborea</i> Roxb.....	70
Cuadro 39	Una comparación entre el promedio del <i>Pfollaje</i> y <i>Aadap</i> para <i>G. arborea</i> Roxb., bajo las condiciones de crecimiento muestreadas.....	71
Cuadro 40	Aumento de peso de follaje (kg) proyectado con base a un espesor de anillo constante en plantaciones de <i>T. grandis</i> L.	80

LISTA DE CUADROS DEL ANEXO

Cuadro 1a Matriz de variables primarias de <i>Tectona grandis</i> L.	109
Cuadro 2a Matriz de variables primarias de <i>Gmelina arborea</i> Roxb.	110

LISTA DE FIGURAS EN EL TEXTO

Figura 1	(A) Relaciones entre biomasa de follaje y área de albura a la base de la copa viva (BLC). (B) muestra los residuos para la regresión linear.....	13
Figura 2	(A) Relaciones entre el logaritmo transformado de la biomasa de follaje y el área de albura a la base de la copa. (B) muestra los residuos de la regresión linear.....	13
Figura 3	Relaciones entre biomasa de follaje y el área de albura al Dap (A) para datos no transformados y (B) datos transformados al logaritmo.....	14
Figura 4	(A) Posición relativa de árboles suprimidos (SUP.) e intermedios (inter.) para la regresión linear. (B) biomasa de follaje y el logaritmo del área de albura a la base de la copa viva.....	14
Figura 5	Ubicación geográfica (Nicoya y Hojancha) donde se seleccionaron las plantaciones de <i>Tectona grandis</i> L., y <i>Gmelina arborea</i> Roxb., en la provincia de Guanacaste, Costa Rica.	18
Figura 6	Distribución anual de los promedios mensuales de precipitación (mm) y temperatura (°C) para la zona de Nicoya y Hojancha, Guanacaste.....	20
Figura 7	Incremento diametral (cm) en parcelas seleccionadas de <i>T. grandis</i> L., con competencia <i>menor</i> (m) y <i>fuerte</i> (f).	31
Figura 8	Incremento diametral (cm) en parcelas seleccionadas de <i>G. arborea</i> Roxb., con competencia <i>menor</i> (m) y <i>fuerte</i> (f).	32
Figura 9	Mediciones tomadas en árboles en pie.....	35
Figura 10	Mediciones en un árbol volteado.....	36
Figura 11	Proceso para determinar el peso del follaje.....	37
Figura 12	Cortes y mediciones realizadas para la estimación de áreas (cm ²) y volúmenes (m ³) de albura en las secciones transversales (rodajas o galletas) extraídas.	38
Figura 13	Curva de regresión ajustada para el logaritmo natural del peso del follaje (kg) del modelo (4.1).	45
Figura 14	Curva de regresión ajustada del modelo 4.2.....	48

Figura 15	Curva de regresión ajustada del modelo (4.3).....	51
Figura 16	Curva de regresión ajustada del modelo (4.4).....	54
Figura 17	Curva de regresión ajustada para el logaritmo natural del volumen de albura (m ³) del modelo (4.5)	56
Figura 18	Curva de regresión ajustada para el modelo (4.6).....	60
Figura 19	Curva de regresión ajustada para el modelo (4.7).....	62
Figura 20	Curva de regresión ajustada para el modelo (4.8).....	67
Figura 21	Curva de regresión ajustada del modelo (4.9).....	69
Figura 22	Relación preliminar para árboles individuales entre peso de follaje (kg) y área de albura al Dap (cm ²), en plantaciones <i>sin raleo</i> (competencia <i>extrema</i>), con manejo bajo competencia <i>menor y fuerte</i> y árboles <i>en libre crecimiento</i> , para <i>T. grandis</i> L.	75
Figura 23	Relación preliminar para árboles individuales entre el peso del follaje (kg) y el área del penúltimo anillo al Dap (cm ²) en plantaciones <i>sin raleo</i> (competencia <i>extrema</i>), con manejo bajo competencia <i>menor y fuerte</i> y en árboles con <i>libre crecimiento</i> , para <i>T. grandis</i> L.	76
Figura 24	Relación preliminar para árboles individuales entre el volumen del penúltimo anillo (m ³) con el peso de follaje (kg) en plantaciones <i>sin raleo</i> (competencia <i>extrema</i>), con manejo bajo competencia <i>menor y fuerte</i> y en árboles con <i>libre crecimiento</i> , para <i>T. grandis</i> L.	77
Figura 25	Relación preliminar para árboles individuales entre el área de albura al Dap (cm ²) con el Dap en plantaciones <i>sin raleo</i> (competencia <i>extrema</i>), con manejo bajo competencia <i>menor y fuerte</i> y en árboles bajo <i>libre crecimiento</i> , para <i>T. grandis</i> L.	78
Figura 26	Relación preliminar para árboles individuales entre el volumen total de albura (m ³) con el peso del follaje (kg) en plantaciones <i>sin raleo</i> (competencia <i>extrema</i>), con manejo bajo competencia <i>menor y fuerte</i> y en árboles de <i>libre crecimiento</i> , para <i>T. grandis</i> L.	79
Figura 27	Area del penúltimo anillo al Dap (cm ²) incrementada anualmente y su requerimiento en peso de follaje (kg) para lograr dichos incrementos. Se asumió un incremento (espesor de anillo) de 1.78 cm por año.....	81

Figura 28	Volumen del penúltimo anillo (m^3) incrementada anualmente y su requerimiento en peso de follaje (kg) para lograr dichos incrementos. Se asumió un incremento (espesor de anillo) de 1.78 cm por año.	82
Figura 29	Relación preliminar para árboles individuales entre el área de albura al Dap (cm^2) con el peso de follaje (kg) en plantaciones <i>sin raleo</i> (competencia <i>extrema</i>), con manejo bajo competencia <i>menor y fuerte</i> y en árboles de <i>libre crecimiento</i> , para <i>G. arborea</i> Roxb.	83
Figura 30	Relación preliminar para árboles individuales del área del penúltimo anillo al Dap (cm^2) con el peso del follaje (kg) en plantaciones <i>sin raleo</i> (competencia <i>extrema</i>), con manejo bajo competencia <i>menor y fuerte</i> y en árboles bajo <i>libre crecimiento</i> , para <i>G. arborea</i> Roxb.	84
Figura 31	Relación preliminar para árboles individuales entre el volumen del penúltimo anillo (m^3) con el peso del follaje (kg) en plantaciones <i>sin raleo</i> (competencia <i>extrema</i>), con manejo bajo competencia <i>menor y fuerte</i> y en árboles de <i>libre crecimiento</i> , para <i>G. arborea</i> Roxb.	85
Figura 32	Relación preliminar para árboles individuales entre el área de albura al Dap (cm^2) con el Dap en plantaciones <i>sin raleo</i> (competencia <i>extrema</i>), con manejo bajo competencia <i>menor y fuerte</i> y en árboles de <i>libre crecimiento</i> , para <i>G. arborea</i> Roxb.	85
Figura 33	Relación preliminar para árboles individuales entre el volumen de albura total (m^3) con el peso del follaje (kg) en plantaciones <i>sin raleo</i> (competencia <i>extrema</i>), con manejo bajo competencia <i>menor y fuerte</i> y en árboles bajo <i>libre crecimiento</i> , para <i>G. arborea</i> Roxb.	86

LISTA DE FIGURAS DEL ANEXO

Figura 1a Distribución de los residuos estandarizados del modelo (4.1), para la relación entre el peso de follaje (kg) y el área de albura al Dap (cm ²) en <i>T. grandis</i> L.	99
Figura 2a Histograma de la distribución de los residuos estandarizados del modelo (4.1), para la relación entre el peso de follaje (kg) y el área de albura al Dap (cm ²) en <i>T. grandis</i> L.	99
Figura 3a Residuos estandarizados de la regresión del modelo (4.2), para la relación entre el peso de follaje (kg) y el área de albura a la base de la copa viva (cm ²) en <i>T. grandis</i> L.	100
Figura 4a Histograma de los residuos estandarizados del modelo (4.2), para la relación entre el peso de follaje (kg) y el área de albura a la base de la copa viva (cm ²) en <i>T. grandis</i> L.	100
Figura 5a Distribución de los residuos estándares del modelo (4.3), para la relación entre el peso de follaje (kg) y el área del penúltimo anillo de crecimiento al Dap (cm ²) en <i>T. grandis</i> L.	101
Figura 6a Histograma de los residuos estandarizados del modelo (4.3), para la relación entre el peso de follaje (kg) y el área del penúltimo anillo de crecimiento al Dap (cm ²) en <i>T. grandis</i> L.	101
Figura 7a Distribución de los residuos estandarizados del modelo (4.4), para la relación entre el peso de follaje (kg) y el volumen del penúltimo anillo de crecimiento (m ³) en <i>T. grandis</i> L.	102
Figura 8a Histograma de los residuos estandarizados del modelo (4.4), para la relación entre el peso de follaje (kg) y el volumen del penúltimo anillo de crecimiento (m ³) en <i>T. grandis</i> L.	102
Figura 9a Distribución de residuos estandarizados del modelo (4.5), para la relación entre el volumen de albura (m ³) y el área de albura al Dap (cm ²) en <i>T. grandis</i> L.	103
Figura 10a Histograma de distribución de los residuos estandarizados del modelo (4.5), para la relación entre el volumen de albura (m ³) y el área de albura al Dap (cm ²) en <i>T. grandis</i> L.	103

Figura 11a Distribución de los residuos estandarizados del modelo (4.6), para la relación entre el peso de follaje (kg) y el área de albura al Dap (cm ²) en <i>G. arborea</i> Roxb.....	104
Figura 12a Histograma de la distribución normal de los residuos estandarizados del modelo (4.6), para la relación entre el peso de follaje (kg) y el área de albura al Dap (cm ²) en <i>G. arborea</i> Roxb.....	104
Figura 13a Distribución de los residuos estandarizados del modelo (4.7), para la relación entre el peso de follaje (kg) y el área de la albura al Dap (cm ²) en <i>G. arborea</i> Roxb.....	105
Figura 14a Histograma de la distribución normal de los residuos estandarizados del modelo (4.7), para la relación entre el peso de follaje (kg) y el área de la albura al Dap (cm ²) en <i>G. arborea</i> Roxb.....	105
Figura 15a Distribución de los residuos estandarizados del modelo (4.8), para la relación entre el volumen total de albura (m ³) con el peso de follaje (kg) en <i>G. arborea</i> Roxb.....	106
Figura 16a Histograma de los residuos estandarizados para el modelo (4.8), para la relación entre el volumen total de albura (m ³) con el peso de follaje (kg) en <i>G. arborea</i> Roxb.....	106
Figura 17a Residuos estandarizados del modelo (4.9), para la relación entre el volumen de albura (m ³) con el área de albura al Dap (cm ²) en <i>G. arborea</i> Roxb.....	107
Figura 18a Histograma de los residuos estandarizados del modelo (4.9), para la relación entre el volumen de albura (m ³) con el área de albura al Dap (cm ²) en <i>G. arborea</i> Roxb.....	107

MORATAYA MONTENEGRO, R. A. 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* L. y *Gmelina arborea* Roxb. Hojanca, Guanacaste, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 123 p.

Palabras claves: *Tectona grandis* L., *Gmelina arborea* Roxb., follaje, albura, área y volumen, teoría del modelo vascular, libre crecimiento, competencia y manejo silvicultural, raleo, respuesta al raleo.

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue determinar las relaciones entre albura y biomasa del follaje en árboles de *Tectona grandis* L., y *Gmelina arborea* Roxb., y la respuesta del crecimiento diametral en plantaciones *sin raleo* (*competencia extrema*), *con manejo* (*competencia menor y fuerte*) y *libre crecimiento*. Se buscó así comprender mejor la dinámica del crecimiento de follaje, su relación con el incremento diametral y las implicaciones en el manejo forestal. El estudio evaluó la aplicación de la Teoría del Modelo Vascular (TMV) desarrollada por Shinozaki *et. al.* (1964), la cual indica que el área de albura y biomasa del follaje, son relacionados por medio de una proporción constante, es decir, por cada unidad de área de albura le corresponde una unidad de follaje.

Primeramente se ubicó y estudió el historial de manejo de 40 parcelas localizadas en Hojanca y Nicoya, de las cuales se seleccionaron aquellas que tuvieron un historial de manejo mejor definido. Las parcelas para ambas especies se separaron en cuatro grupos: *sin raleo* (*competencia extrema*), *con manejo bajo una competencia menor*, *con manejo bajo una competencia fuerte*, y árboles de *libre crecimiento*. En el caso de árboles *sin raleo* (*competencia extrema*) y en *libre crecimiento*, se seleccionaron dos árboles por tipo de competencia y por especie. Para los árboles con manejo (bajo competencia *menor y fuerte*), se aprovecharon 12 parcelas (seis por especie: tres bajo competencia *menor* y tres bajo competencia y tres bajo competencia *fuerte*) establecidas previamente por el proyecto Madelaña-CATIE.

Las principales variables evaluadas fueron: peso de follaje, área de albura al Dap, área de albura a la base de la copa viva, área del penúltimo anillo al dap, volumen del penúltimo anillo y volumen de albura total. Primeramente se plotearon las variables para observar las tendencias. Luego se probaron modelos lineares con transformaciones (*Ln*, raíz cuadrada y recíproco), y con base, en el R², análisis de residuales, cuadrado medio del error e Índice de Furnival (IF), se escogieron los mejores modelos. Los modelos de predicción desarrollados para estimar el peso de follaje (kg) y volumen de albura (m³) se presentan en el siguiente cuadro.

Cuadro 1 Modelos de predicción desarrollados para el peso de follaje(kg) y volumen de albura (m³) en *T grandis* L. y *G arborea* Roxb.

Especie	Modelo	Ecuación	R ²
<i>T. grandis</i> L.	4.1	$Ln P_{follaje} = -2.375 + 1.211 (Ln A_{adap})$	0.796
<i>T. grandis</i> L.	4.2	$P_{follaje} = -16.693 + 4.993 A_{abcv}^{1/2}$	0.718
<i>T. grandis</i> L.	4.3	$Ln P_{follaje} = 0.888 + 0.6888 (Ln A_{pnt})$	0.686
<i>T. grandis</i> L.	4.4	$Ln P_{follaje} = 5.893 + 0.716 (Ln V_{pnt})$	0.791
<i>T. grandis</i> L.	4.5	$Ln V_{albura} = -6.380 + 0.863 (Ln A_{adap})$	0.717
<i>G. arborea</i> Roxb.	4.6	$P_{follaje} = -3.95 + 0.012 A_{adap}$	0.923
<i>G. arborea</i> Roxb.	4.7	$Ln P_{follaje} = -1.668 + 1.042 (Ln A_{abcv})$	0.793
<i>G. arborea</i> Roxb.	4.8	$V_{albura} = -0.104 + 0.109 (Ln P_{follaje})$	0.734
<i>G. arborea</i> Roxb.	4.9	$V_{albura} = -0.172 + 0.027 (A_{adap}^{1/2})$	0.894

Referencias

Ln = Logaritmo natural

R² = Coeficiente de determinación

Pfollaje = Peso de follaje (kg)

Valbura = Volumen de albura (m³)

Aadap = Area de albura al Dap (cm²)

Aabcv = Area de albura a la base de la copa viva (cm²)

Apnt = Area del penúltimo anillo al Dap (cm²)

La teoría del modelo vascular (TMV) aplicó en las relaciones entre el área de albura al Dap (cm²), el área de albura a la base de la copa viva (cm²) y el volumen total de albura (m³), con el peso de follaje en kilogramos en árboles de *T. grandis* L., y *G. arborea* Roxb, las cuales fueron fuertes y altamente significativas. Las ecuaciones desarrolladas para predecir el peso de follaje (kg) y volumen de albura (m³) son lineales. En *T. grandis* L., existe una

relación linear entre el área del penúltimo anillo al Dap con el peso de follaje (kg), mientras que en *G. arborea* Roxb., esta relación fue débil. Sin embargo, es necesario analizar esta relación por más tiempo, para confirmar su aplicación como criterio para anticipar la respuesta de los árboles en incremento diametral después de un raleo. En este estudio, tanto para *T. grandis* L., como para *G. arborea* Roxb., se encontró que el área de albura al Dap mostrado en los modelos (4.1) y (4.6) respectivamente fue un mejor predictor del peso de follaje (kg) que el área de albura a la base de la copa viva, indicada en los modelos (4.2) y (4.7).

Los resultados indican que la importancia de favorecer el desarrollo (expansión) y permanencia de la copa, para estimular el crecimiento en diámetro de los árboles. Lo anterior es importante en plantaciones cuyo objetivo es producir madera de aserrío.

MORATAYA MONTENEGRO, R. A. 1996. Development of models relating foliage biomass and sapwood volume: application and management implications of the Pipe Model Theory (PMT) for *Tectona grandis* L. and *Gmelina arborea* Roxb. in Hojancha, Guanacaste, Costa Rica. Thesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 123 p.

Keywords: *Tectona grandis* L., *Gmelina arborea* Roxb., foliage, sapwood area and volume, Pipe Model Theory, silvicultural management, thinning, competition, response to thinning.

SUMMARY

The purpose of this research was to determine the relationship between sapwood and foliage biomass in *Tectona grandis* L., and *Gmelina arborea* Roxb. Sapwood diameter growth was measured in trees found in *unthinned, late and timely thinned plantations and in border plantings*. The aim was to obtain a better understanding of the relationship between biomass and diameter growth and implications for plantation management, especially thinning. The application of the Pipe Model Theory (PMT) developed by Shinozaki *et. al.* (1964), was determined.

The management history of 40 plots located in the Hojancha and Nicoya areas was compiled. A subset of plots were selected favoring those with the best documented management records. The plots for both species were divided into four groups: *unthinned (extreme competition), late thinned (marked competition), timely thinned (light competition), and nearly open growth trees in border plantings*. In the case of unthinned plots and border planting, two trees were selected for each competition type and species. Twelve thinned plots (six per species: three under *light* and three under *heavy* competition), which were established by the MADELEÑA-CATIE project were used.

The main variables evaluated were: foliage weight, sapwood area at Dbh, sapwood area at the base of live crown, area and volume of the penultimate growth ring at Dbh, and total

sapwood volume. Variables were plotted to observe tendencies. Linear models with transformed variables when required (*Ln, square root and reciprocal*) were tested. Model selection was based on R^2 , residual analysis, mean square error and the Furnival Index (FI). The models developed to estimate foliage weight (kg) and sapwood volume (m^3) are presented in the following table.

Table 1. Prediction models developed for foliage weight (kg) and sapwood volume (m^3) of *T. grandis* L. and *G. arborea* Roxb. trees.

Especie	Modelo	Ecuación	R ²
<i>T. grandis</i> L.	4.1	$Ln Pfoliaje = -2.375 + 1.211 (Ln Sdbh)$	0.796
<i>T. grandis</i> L.	4.2	$Wfoliaje = -16.693 + 4.993 Sabc^{1/2}$	0.718
<i>T. grandis</i> L.	4.3	$Ln Wfoliaje = 0.888 + 0.6888 (Ln Apnt)$	0.686
<i>T. grandis</i> L.	4.4	$Ln Wfoliaje = 5.893 + 0.716 (Ln Vpnt)$	0.791
<i>T. grandis</i> L.	4.5	$Ln Vsapwood = -6.380 + 0.863 (Ln Sdbh)$	0.717
<i>G. arborea</i> Roxb.	4.6	$Wfoliaje = -3.95 + 0.012 Sdbh$	0.923
<i>G. arborea</i> Roxb.	4.7	$Ln Pfoliaje = -1.668 + 1.042 (Ln Sabc)$	0.793
<i>G. arborea</i> Roxb.	4.8	$Vsapwood = -0.104 + 0.109 (Ln Wfoliaje)$	0.734
<i>G. arborea</i> Roxb.	4.9	$Vsapwood = -0.172 + 0.027 (Sdbh^{1/2})$	0.894

References

- Ln = Natural logarithm
- R² = Coefficient of determination
- Wfoliaje = Foliage weight (kg)
- Vsapwood = Sapwood volume (m^3)
- Sdbh = Sapwood area at Dbh (cm^2)
- Sabc = Sapwood area at base of live crown (cm^2)
- Apnt = Area of the penultimate ring at Dbh (cm^2)
- Vpnt = Volume of the penultimate ring (m^3).

The Pipe Model Theory (PMT) applied at both Dbh and at the base of live crown. Sapwood area at these points and sapwood total volume (m^3) were found to be strongly related to foliage weight in kilograms for *T. grandis* L. and *G. arborea* Roxb. The equations developed to predict foliage weight (kg) and sapwood volume (m^3) are linear. There is a linear relationship in *T. grandis* between the penultimate ring area at Dbh and the foliage weight (kg), while for *G. arborea* Roxb. this relationship was weak. Nevertheless, it is necessary to analyze this relationship for a longer period, to confirm its application as a criterion to anticipate a plantation's response after thinning. For both species (*T. grandis* L.

and *G. arborea* Roxb), sapwood area at Dbh better predicted foliage weight (kg) than sapwood area at base of live crown.

The results of this study demonstrate the importance of favouring crown development (expansion) and permanence in order to sustain rapid diameter growth. This finding is especially relevant for plantations grown for sawtimber.

1. INTRODUCCION

Muchas plantaciones en América Central, se realizaron con el objetivo de producir madera de aserrio; sin embargo, en muchos casos el manejo no se hace, o si se hace, éste es inadecuado, de tal manera que, los objetivos de producción planteados no se logran, incidiendo en pérdidas económicas. Lo anterior se debe principalmente al desconocimiento de la importancia de realizar actividades silviculturales oportunas, especialmente raleos, que favorezcan el desarrollo diametral de los árboles.

En América Central, es común observar que, la falta de manejo en muchas plantaciones para producción de madera de aserrio y el uso de espaciamientos estrechos entre árboles, limita la producción de follaje en árboles individuales y favorece la recesión de copas (Galloway 1995), los cuales, son procesos que contribuyen al pobre desarrollo en diámetro de los mismos.

Con el apoyo del proyecto Madeleña del CATIE, un buen número de instituciones estatales y privadas desarrollaron cursos sobre el manejo de plantaciones entre 1992 - 1996, dirigidos principalmente a técnicos forestales, extensionistas, profesores y estudiantes universitarios y empleados privados en América Central. En dichas actividades de capacitación se impartieron conceptos sobre la importancia del manejo, con base en la Teoría de Dinámica de Rodales. Los conceptos tratados fueron ilustrados con datos provenientes de parcelas permanentes de manejo establecidas por los participantes. Como producto de todo ese esfuerzo, se logró transmitir la necesidad de manejar las plantaciones en forma adecuada y oportuna, y en un número cada vez mayor, se observaron plantaciones con intervenciones silviculturales, siendo los raleos y la poda las actividades más comunes.

Hoy en día, muchas plantaciones se ralean, pero ello no garantiza que los árboles de dichas plantaciones incrementarán su crecimiento en diámetro, ya que esta respuesta depende del momento del raleo, y la competencia intraespecífica entre árboles. Es fundamental saber de antemano si una plantación tiene *la capacidad de responder* satisfactoriamente al mismo en términos de incremento diametral. Una evaluación inicial y posterior de esta capacidad de

respuesta al raleo podría ser un factor decisivo para orientar el manejo de una plantación en un momento dado, inclusive indicaría si justifica mantener en pie un rodal

Para poder anticipar una respuesta al raleo en términos de incremento diametral, es importante comprender la dinámica del crecimiento del follaje (peso, tamaño de copa) en diferentes estados de competencia (*menor y fuerte*) de las plantaciones. Esto permitiría entender mejor la importancia de realizar actividades silviculturales en su momento oportuno, así como las consecuencias de hacerlo en un momento inoportuno o de *alta competencia* (recesión de copas conspicua). La relación entre el crecimiento diametral, permanencia de follaje en peso y el grado de competencia no se conoce para *T. grandis* L. y *G. arborea* Roxb. Por eso, en este estudio se desarrollan modelos de predicción para relacionar el peso de follaje con la albura, así como, las implicaciones en el manejo de plantaciones de estas especies.

En cada periodo de crecimiento, el árbol agrega tejido xilemático activo (albura) en diámetro y altura, compuesto de poros por los cuales asciende agua y nutrientes a las hojas. El tejido xilemático de este periodo es el que generalmente se le conoce como un anillo de crecimiento. En ambientes de estación seca se observa una diferenciación en el anillo del tamaño de los poros, como en el caso de *Tectona grandis* L., y *Gmelina arborea* Roxb., en la zona de Guanacaste, Costa Rica. La albura o tejido xilemático activo puede incluir un número diferente de anillos (3 a 7 en este estudio), siendo los demás anillos interiores inactivos. Estos anillos interiores inactivos forman el duramen del árbol.

Tal como se indicó, la albura es el tejido por medio del cual se conduce agua y nutrientes desde las raíces hacia las hojas. Por lo tanto debería existir un equilibrio entre la cantidad de agua y nutrientes que se transporta hacia las hojas y la capacidad de recepción de hojas y tejidos vivos. Cuando alguno de estos dos componentes del árbol están en déficit o superavit, deberían accionarse mecanismos fisiológicos para mantener dicho equilibrio.

Shinozaki *et. al.* (1964), demostró que este equilibrio es real. Este científico desarrolló la Teoría del Modelo Vascular (TMV) (Pipe Model Theory), que establece que el área de albura a alturas

“x” y biomasa del follaje “x”, son relacionados por medio de una proporción constante, es decir, por cada unidad de área de albura le corresponde una unidad de follaje

Para entender mejor la importancia de efectuar las intervenciones silviculturales en su momento oportuno, es necesario estudiar los procesos que ocurren en plantaciones que reciben un manejo bajo una competencia *menor* (sin evidente recesión de copas) y *mayor* (con evidente recesión de copas) dentro de la plantación. Un entendimiento más profundo de estos procesos debería permitir el desarrollo de mejores estrategias silviculturales y mejorar la capacidad de los técnicos forestales a explicar la importancia del manejo oportuno en plantaciones forestales

1.1 Objetivos del estudio:

El presente trabajo tuvo como objetivo general determinar las relaciones entre albura y biomasa del follaje en árboles de *G. arborea* Roxb , y *T. grandis* L , y la respuesta del crecimiento diametral en plantaciones *sin raleo (competencia extrema)*, con *baja competencia*, *alta competencia* y *libre crecimiento*. Con base en lo anterior se plantearon los siguientes objetivos específicos:

- Evaluar hasta que grado la Teoría del Modelo Vascular (Pipe Model Theory) se aplica en árboles de *T. grandis* L , y *G. arborea* Roxb
- Desarrollar ecuaciones de predicción para estimar la biomasa del follaje en peso a partir del área de albura al Dap y en la base de la copa viva, área y volumen del penúltimo anillo de crecimiento, así como la predicción de volumen de albura
- Con base en lo anterior, analizar la posibilidad de desarrollar un criterio práctico preliminar que permita evaluar la capacidad de respuesta de los árboles a un raleo, en crecimiento diametral.

1.2 Hipótesis planteadas:

- La Teoría del Modelo Vascular (Pipe Model Theory) *no es aplicable* en árboles de *T. grandis* L., y *G. arborea* Roxb; es decir, el volumen y área de albura no es un buen predictor de biomasa de follaje
- El área del penúltimo anillo de crecimiento a la altura del pecho, no es un buen criterio para evaluar la capacidad de respuesta de los árboles remanentes de *T. grandis* L., y *G. arborea* Roxb, bajo diferentes niveles de competencia, después de un raleo

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Madera de albura/duramen, su identificación y medición

A continuación se definen los siguientes términos: albura y duramen. Se citan algunos estudios de caso que tratan sobre algunas técnicas para la identificación macroscópica de la albura, así como de efectuar su medición.

2.1.1 Albura y duramen

La albura está constituida por el conjunto de tejido xilemático activo, el cual transporta agua y nutrientes, y el duramen es un tejido xilemático inactivo que ya no contribuye en transportar los mismos, mas bien, su función principal es de sostén mecánico del árbol (Flores 1994).

Muchas diferencias entre *albura* y *duramen* son de índole química (Flores 1994); sin embargo, las características anatómicas y físicas, tales como densidad de la madera y propiedades fisicomecánicas, son también importantes en la diferenciación de estos dos tipos de tejido.

En la transición de albura a duramen, la madera pierde agua y parte de las sustancias almacenadas, acumulando luego compuestos orgánicos como aceites, resinas, gomas, taninos, sustancias aromáticas y pigmentos. Estos compuestos son removidos de las zonas de crecimiento y transportados hacia el duramen, ya que pueden ser tóxicos o inhibidores para las células vivas. Su movilización se efectúa a través de los rayos; sin embargo, algunos de ellos impregnan las paredes y otros penetran también en el lumen celular (Flores 1994). La acumulación gradual de estas sustancias afecta la consistencia del duramen y lo convierte en un elemento más duradero que la albura, menos susceptible a ataques por microorganismos y menos permeable (Flores 1994).

La albura es la parte funcional de la madera, donde circula la savia ascendente. La albura almacena nutrientes y los transporta de una a otra parte del árbol. La mayor parte de la savia circula por el anillo leñoso del año en curso y si por alguna enfermedad este anillo se bloquea, el

árbol corre el riesgo de morir ya que los anillos mas viejos no pueden mantenerlo vivo (Biblioteca Atrium de la Madera 1992)

Tanto el duramen como la médula (corazón) son la parte muerta de un árbol. El duramen o madera propiamente dicha está constituido por los tejidos que han llegado a su máximo desarrollo y resistencia constituyendo en realidad el receptáculo para las sustancias de desecho del árbol. El duramen es tóxico para organismos que podrían nutrirse de la madera; además, proporciona rigidez y robustez al árbol (Biblioteca Atrium de la Madera 1992)

2.1.2 Algunas técnicas implementadas para la identificación y medición de la albura

Los siguientes estudios tratan sobre de técnicas para la identificación de estos dos tejidos (albura y duramen), discutiéndose en algunos casos, su relación con la identificación de la albura y el duramen de *T. grandis* L. y *G. arborea* Roxb

Una técnica común para diferenciar la albura del duramen, es la observación del color natural que poseen ambos tejidos (Grier y Waring 1974; Rogers y Hinckley 1979; Kiker-Snowman y Wilson 1988; Waring *et al* 1977). Esta técnica aplica a *T. grandis* L., que posee límites claramente diferenciables entre ambos tejidos.

En cuanto a la precisión de medición del límite entre albura y duramen, Grier y Waring (1974) señalan una precisión de ± 1 mm. Espinosa Bancalari, Perry y Marshall (1986) lograron un error promedio de 0.5 mm y Rogers y Hinckley (1979) un 5% de error de medición.

Espinosa Bancalari, Perry y Marshall (1986), sumergieron en agua las secciones transversales de madera para diferenciar el límite de ambos tejidos por color. Otra técnica usada es por medio de la tinción con colorantes químicos, para diferenciar la transición entre estos tejidos. La orto-toluidina (Shain 1967 citado por Whitehead 1978), ácido sulfanílico y nitrito de sodio (Anon 1962 citado por Albrektson 1984), fluroglucina (phloroglucinol) (Van Hees y Baterlink 1992), cloruro

férrico (Hungerford 1986; Kutscha y Sachs 1962), rojo de alizarina (Margolis *et al.* 1988; Kutscha y Sachs 1962), verde bromocresol diluido en etanol (Gower *et al.* 1987), solución yodo-yoduro de potasio (I-KI), con concentraciones entre 0.0016 a 0.12M (West y Wells 1990), son los más comunes. El uso de yodo-yoduro de potasio no funcionó para *G. arborea* Roxb. y *T. grandis* L., ya que después de aplicar este colorante (I-KI) sobre secciones transversales, no se detectó ningún cambio de color que denotara la diferencia entre albura y duramen. Por su parte, Långström y Hellqvist (1990), indican que las técnicas de coloración para la identificación del límite entre la albura y el duramen, produce los mismos resultados que los métodos convencionales para la delineación del borde entre la albura y el duramen con un lápiz de anilina.

Kaufman y Troendle (1981) y Margolis *et al.* (1990), sugieren técnicas más prácticas, por ejemplo, recomiendan ladear la sección transversal recién cortada, hacia la luz solar, observando que la albura refracta mayor luz que el duramen (opaco). Esta refracción se debe a una manación mayor de fluidos por parte de la albura. Este flujo fue claramente visible en los tocones remanentes de *T. grandis* L. y *G. arborea* Roxb.

Otro aspecto metodológico que se discute en la literatura es como medir el diámetro de la albura y duramen al Dap. Generalmente se toman dos diámetros para luego promediarlos (Rogers y Hinckley 1979; O'hara y Valappil 1995; Hungerford 1986; Margolis *et al.* 1988). Albrektson (1984) y Espinosa Bancalari, Perry y Marshall (1986), así como, Waring *et al.* (1977), señalan que los diámetros fueron orientados hacia la parte más ancha y agosta de la sección transversal. Los autores anteriores realizaron trazos diametrales en ángulo recto y luego los promediaron; a la vez, indican que el ancho medio de los anillos de la albura, fue denotado por la división entre el ancho total de la albura y el número de anillos que incluye la misma. El área de albura es igual al área total de la sección transversal sin corteza, menos el área del duramen (Espinosa Bancalari, Perry, Marshall 1986).

Otras técnicas que se utilizan para medir el área de albura es la siguiente. Después de colorear las secciones transversales para diferenciar la albura y duramen con tintes, se fotocopian las secciones

y con el uso de un planimetro óptico y/o aerimetro electrónico, se calculan las áreas respectivas (Whitehead 1978; Clair 1993; West y Wells 1990).

Todos los estudios de caso anteriores, dan ciertas pautas a seguir para poder diferenciar en forma práctica la albura del duramen en *T. grandis* L., y *G. arborea* Roxb. La descripción de cómo se diferenció el límite entre la albura, duramen y su medición, en *T. grandis* L. y *G. arborea* Roxb., en este estudio, se indica en la metodología.

2.1.3 Diferenciación de albura/duramen y anillos de crecimiento en *T. grandis* L.

Existe una marcada diferencia entre albura y duramen, siendo en condición verde la albura de color gris anaranjada y el duramen pardo claro; y en condición seca, la albura es gris rojizo anaranjado y el duramen pardo rojizo grisáceo (González *et al.* 1979). La transición entre albura y duramen es abrupta. Según Chaves y Fonseca (1991), la albura es amarillenta blancuzca, el corazón es de color verde oliva y al cortarse se torna café oscuro. Little y Dixon (1969) citados por Chaves y Fonseca (1991), manifiestan que la madera de Teca presenta anillos de crecimiento

2.1.4 Diferenciación de albura/duramen y anillos de crecimiento en *G. arborea* Roxb.

Rivera *et al.* (1982), indica que no hay diferencia de color entre albura y duramen en *G. arborea* Roxb. Murillo y Valerio (1991) manifiestan que esto es más evidente después de secada la madera. También indican que en la mayoría de los casos, los anillos de crecimiento no están muy bien delimitados, pero que son más fáciles observarlos en las secciones de diámetro mayor. Según los mismos autores no se aprecian los anillos del todo en las secciones más pequeñas. Los conceptos vertidos por Murillo y Valerio (1991), en cuanto a la posibilidad de diferenciar los anillos de crecimiento, dejan de ser válidos para el área de Guanacaste, por el simple hecho de tener una estación seca marcada.

2.2 Teoría del Modelo Vascular (TMV) (Pipe Model Theory)

Shinozaki *et al.* (1964) propuso la teoría del modelo vascular (TMV) (Pipe Model Theory) en la cual explica que el área de albura a alturas “ x ” y biomasa del follaje “ x ”, son relacionados por medio de una proporción constante, lo cual es aplicable para tallos y ramas Mäkelä (1986), menciona que resultados empíricos recientes indican que tal vez para tallos y ramas es diferente, y el transporte desde las raíces obedece a relaciones similares. Para ilustrar estos conceptos se pueden desarrollar las siguientes relaciones (Mäkelä 1986).

- El área de albura del tallo a la base de la copa, A_s , es proporcional al total de la biomasa del follaje W_f .

$$n_s A_s = W_f$$

- El total de área de albura de las ramas primarias (a la base) A_b , es proporcional a la biomasa total del follaje

$$n_b A_b = W_f$$

El área total de albura activa al tocón, A_t , es proporcional a la biomasa total del follaje en la copa

$$n_t A_t = W_f^1$$

Las constantes n_i son parámetros para especies específicas.

La aplicabilidad de tales constantes a inventarios de biomasa en pie ha sido ampliamente reconocido; mientras que, menos atención ha sido puesta a las implicaciones del mantenimiento del balance estructural sobre la dinámica de crecimiento (Mäkelä 1986). Estas relaciones constantes entre albura y área de follaje (ó biomasa), son bastante constantes entre especies, a pesar de grandes variaciones ambientales (Mäkelä 1986).

¹ Bryan Finegan Ph.D., (1996), en comunicación personal sugiere que la ecuación debiera ser igual a: $W_f = f(A_s)$, o sea que la biomasa total del follaje es una función del área de albura a la base de la copa.

Lo anterior es básico para justificar el porqué realizar investigaciones en determinar tales relaciones entre albura activa y follaje (biomasa), ya que es importante su relación en cuanto al crecimiento diamétrico de la plantación, tratando así de poder encontrar una tercera relación acerca del tamaño ideal de copa que permita lograr los objetivos de una plantación. Este conocimiento ayudaría a predecir si una plantación ó bosque natural cualquiera, responderá en términos de crecimiento en diámetro a un raleo. Un producto podría ser el desarrollo de una tabla de intervalos que indiquen al menos el tipo de respuesta a un raleo, siendo: *no responde al raleo*, *respuesta baja al raleo* y *respuesta alta al raleo*. Lo anterior tendría que definirse al cabo de no menos de 3 a 5 años de investigación continua, una vez que se pruebe y valide la metodología a seguir en este estudio.

La TMV, da suficientes bases como para pensar que la relación es fuertemente estrecha entre cada poro (elemento vascular) y unidad de biomasa foliar. Actualmente, no se tiene ningún tipo de información en América Central, e inclusive la información del resto del trópico y subtrópico mundial es poca, por lo que justifica plenamente la realización de este estudio

2.3 Relaciones de madera de albura y follaje.

2.3.1 Area de albura y follaje

Las relaciones entre la biomasa del follaje y área foliar, y el área basal de albura, es de un gran interés potencial en la demanda de métodos simples para la estimación de la biomasa del follaje en árboles (Albrektson 1984)

Robichaud y Methven (1992), encontraron una fuerte relación entre el área de albura en sección transversal y la biomasa del follaje en un rango amplio de condiciones ambientales. Las ecuaciones de regresión desarrolladas confirman una fuerte relación con el área de albura en la sección transversal y biomasa de follaje, siendo dicha relación, independiente de la edad de los árboles, calidad de sitio y densidad del rodal. Los árboles suprimidos e intermedios siguieron una relación similar como los dominantes

Whitehead (1978), hizo una estimación del área foliar con relación al área de albura en *Pinus silvestris* L., en la cual encontró una relación lineal entre el área de albura, el área foliar y biomasa foliar en peso (kg), donde para la biomasa foliar el coeficiente de determinación (r^2) fue de 0.98 y para el área foliar 0.97

Kaufmann y Troendle (1981), encontraron que el peso seco del follaje y área foliar en *Picea engelmannii*, *Abies lesiocarpa*, *Pinus contorta* y *Populus tremuloides*, mantiene una correlación fuerte con el área de albura, a la altura de 1.37 metros de la base del suelo. Los r^2 fueron entre 0.93 y 0.99. Los resultados confirman una vez más que hay un balance entre el área foliar y/o biomasa foliar, y la albura. Además, indican que conforme el tallo principal se acerca al ápice terminal del árbol (*Picea engelmannii*, *Abies lesiocarpa*, *Pinus contorta* y *Populus tremuloides*), decrece en forma proporcional el área basal de albura.

Waring *et al.*, (1977), realizaron una evaluación de los tejidos de conducción como un estimador del área foliar en cuatro angiospermas leñosas (*Castanopsis chrysophylla* (Dougl.) A DC., *Acer macrophyllum* Pursh., *Rhododendron macrophyllum* G Don., y *Acer circinatum* Pursh.) El estudio revela que los r^2 de estas relaciones varían entre 0.8 y 0.96, mostrando una relación estrecha entre el follaje y el área basal de albura. Esta investigación supone en general la hipótesis de que el área basal de albura (tejido xilemático de conducción activo), puede ser usado para estimar el área foliar. Sin embargo, señalan que estas relaciones deberán ser cuidadosamente establecidas para cada especie.

Los hallazgos anteriores tienen una gran aplicabilidad práctica, en términos de estimación de biomasa del follaje, y como elemento para poder desarrollar una herramienta que prediga la capacidad de respuesta a un raleo.

Snell y Brown (1978), en un estudio cuyo objetivo principal fue responder a la siguiente pregunta: ¿es el área de albura en sección transversal un estimador más preciso de la biomasa de la copa del árbol que el área total transversal a la altura del pecho (Dap)? Esta investigación abarcó

108 árboles pequeños de pino ponderosa (*Pinus ponderosa* Laws), douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco), western redcedar (*Thuja plicata* Donn), grand fir (*Abies grandis* (Dougl.) Lindl.), pino blanco (*Pinus monticola* Dougl.), western larch (*Larix occidentalis* Nutt.), y subalpine fir (*Abies lasiocarpa* (Hook.) Nutt.), con una distribución diamétrica desde 0.5 a 19.3 centímetros. Los resultados indican que la estimación de la biomasa foliar es mucho más precisa usando el área basal de la albura a la base de la copa viva que al Dap. Snell y Brown (1978) indican que el área de albura es un estimador preciso de biomasa foliar para algunas especies. Otro estudio realizado por Rogers y Hinckley (1979), en encinos (*Quercus*), encontró que la estimación del área foliar y el peso foliar se predice con mayor precisión por el *área de albura activa*, desarrollando regresiones lineares significativas con R^2 entre 70 y 98%. En este mismo estudio, la cantidad de peso foliar y área foliar (AF) explicada por el área de albura activa (*Actua*) fue consistentemente alta ($R^2 > 0.95$) para *Quercus alba* y *Quercus velutina*; en contraste, la variabilidad explicada en la relación entre peso foliar y área basal fue bajo o inconsistente ($0.7 < R^2 < 0.96$).

O'hara y Valappil (1995), desarrollaron ecuaciones para predecir área foliar/albura para múltiples edades en rodales de pino ponderosa (*Pinus ponderosa* Dougl.). Los autores indican que pino ponderosa se desarrolla en masas puras, con una gama amplia de rodales pequeños de múltiples edades en distintos sitios. Ecuaciones de predicción de área foliar y albura para distintas edades. Se hallaron diferencias *no* significativas entre ecuaciones para árboles de estratos bajos y superiores. Las ecuaciones para todos los árboles fueron semejantes a las ecuaciones para árboles de estrato superior o de clase baja. Estos resultados indican que los árboles dominantes de pino ponderosa no requieren significativamente más tejido de conducción (albura) por unidad de área foliar que los árboles suprimidos. Los mismos autores recomiendan entonces usar solamente área de albura a la altura del pecho para predecir área foliar.

Robichaud y Methven (1992), encontraron una fuerte relación entre el área de albura y biomasa en un amplio rango de condiciones en bosques boreales de *Picea mariana* (Mill.) B.S.P., donde el propósito del estudio fue probar la robustez de la TMV (Pipe Model Theory) en rodales y sitios distintos. Las figuras 1,2,3 y 4 muestran los resultados.

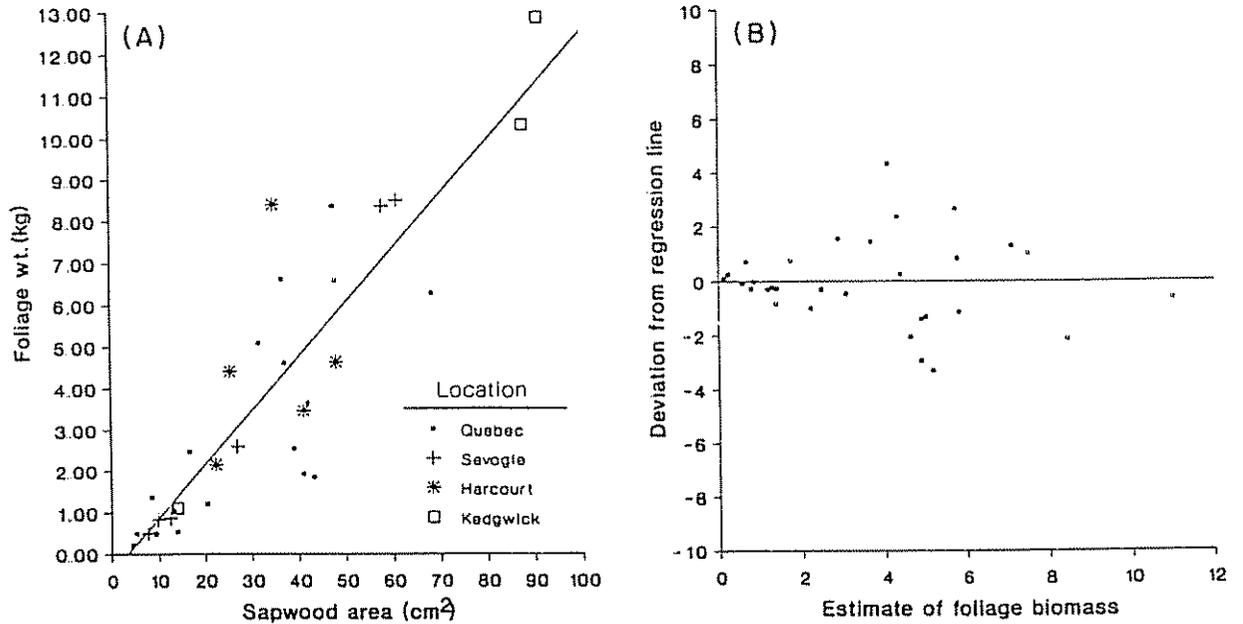


Figura 1 (A) Relaciones entre biomasa de follaje y área de albura a la base de la copa viva (BLC) (B) muestra los residuos para la regresión lineal.

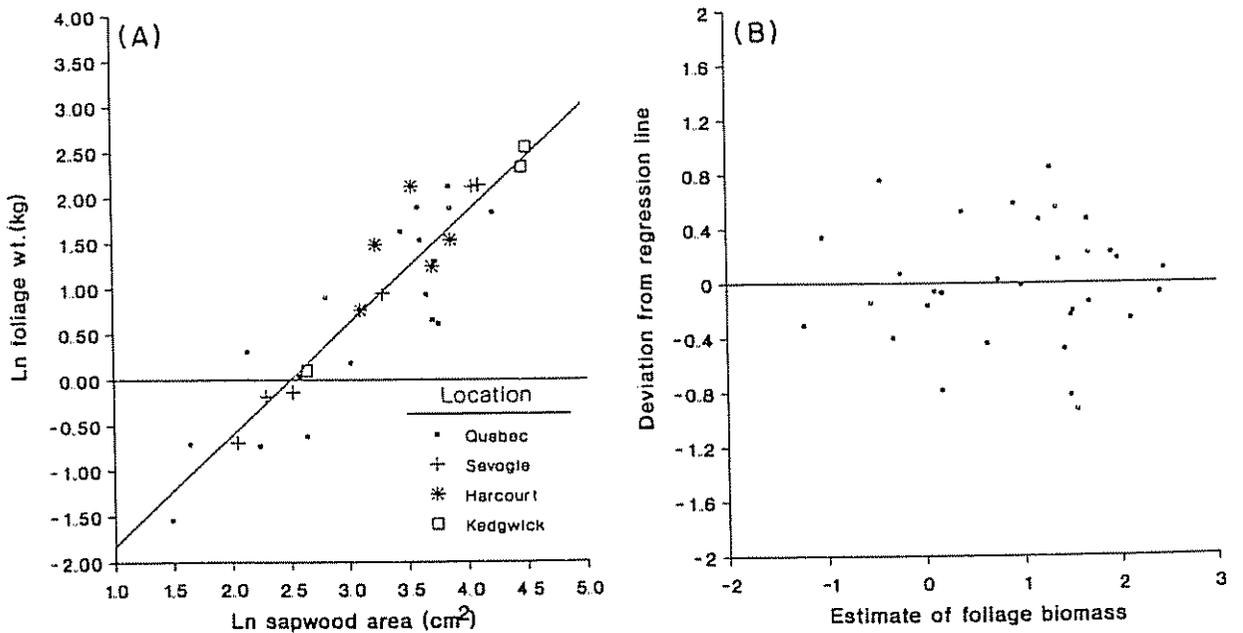


Figura 2 (A) Relaciones entre el logaritmo transformado de la biomasa de follaje y el área de albura a la base de la copa (B) muestra los residuos de la regresión lineal.

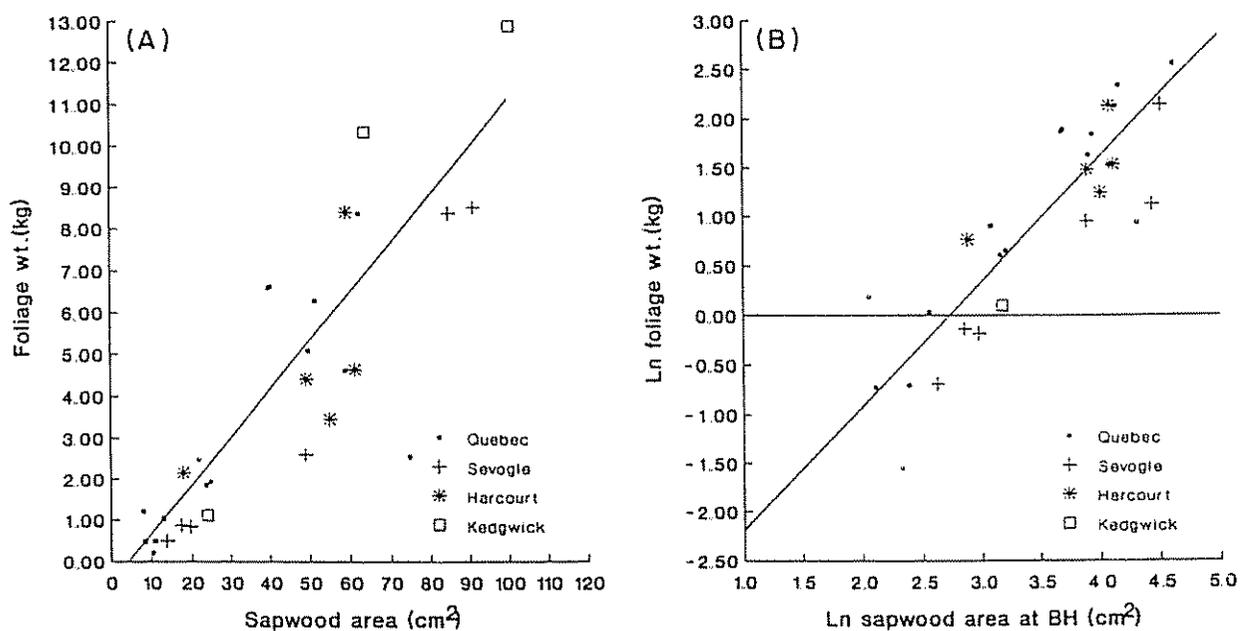


Figura 3 Relaciones entre biomasa de follaje y el área de albura al Dap (A) para datos no transformados y (B) datos transformados al logaritmo.

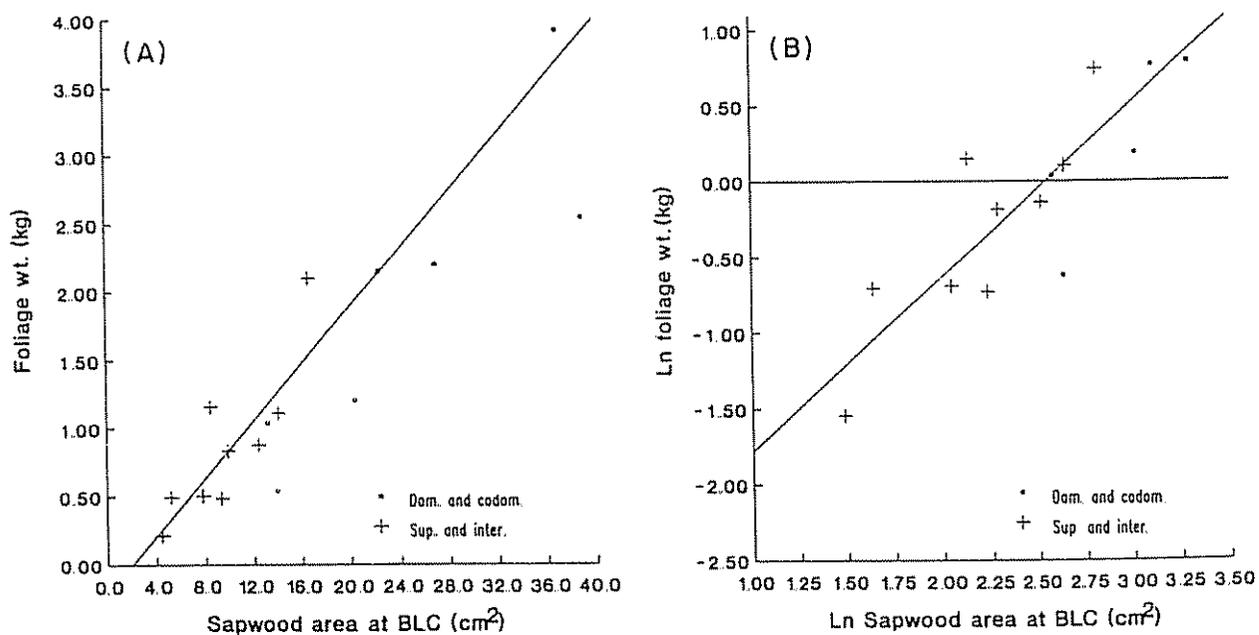


Figura 4 (A) Posición relativa de árboles suprimidos (SUP) e intermedios (inter) para la regresión lineal. (B) biomasa de follaje y el logaritmo del área de albura a la base de la copa viva.

Espinosa Bancalari, Perry y Marshall (1986), indican que la estimación del área de la albura a la base de la copa viva fue más exacta que la estimación de área de albura a la altura del pecho (Dap) para la predicción del área foliar en Douglas-Fir [*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco]. El cuadro 1 de muestra lo anteriormente expresado

Cuadro 1 Ecuaciones de regresión para el área de albura sobre el área basal sin corteza, dada al Dap y a la base de la corona en rodales de árboles de 22 años con diferentes estados de crecimiento (early growth rates)

Variable Independiente	Early growth rate (Posición sociológica)	b	Error Estándar	R ²
Área basal de albura al Dap.	Slow (Lento) Suprimido	0.6443	18.3	0.95
	Intermediate (Intermedio) Codominante	0.6106	32.4	0.92
	Fast (Rápido) Dominante	0.4994	47.1	0.82
Área basal de la albura a la base de la copa.	Slow (Lento) Suprimido	0.8261	15.7	0.91
	Intermediate (Intermedio) Codominante	0.8344	12.7	0.96
	Fast (Rápido) Dominante	0.6621	39.9	0.77

Fuente: Espinosa Bancalari, Perry y Marshall (1986).

Lo anterior (cuadro 1) tiene explicación estadística, ya que al medir la albura activa al Dap, se introduce un error al diferenciar la albura y el duramen. En cambio, al medirse la albura a la base de la copa, se puede asumir que la sección transversal en su totalidad es albura activa.

Van Hees y Bäterlink (1992), encontraron una fuerte relación lineal entre el área de las agujas de *P. sylvestris* L. y el área de albura. En este estudio no hubieron evidencias en que la proporción de área de albura sea afectada por la clase de copas del árbol. Estudios previos (Whitehead 1978; Kaufman y Troendle 1981) de árboles suprimidos y dominantes indican que es constante la relación entre área de albura y área foliar de las agujas de *P. sylvestris* L.

Horntvedt (1993) relacionó la densidad de la copa de abetos (no indican el nombre científico) con la biomasa de las agujas, encontrando que la TMV aplica para esta especie, lo cual, implica que hay una relación homeostática (estable, constante) entre el peso foliar y el área foliar de un árbol y el área de la sección transversal de la parte del tallo conductora de agua.

Algunos estudios han mostrado que una reducción de la biomasa foliar causa una reducción en el área de albura, y viceversa (Horntvedt 1993). Así también, Margolis *et al.* (1988) indican que este

“acomodamiento” se debe principalmente a una reducción en el crecimiento en área basal. Solamente después de podas muy severas, removiendo el 95% del follaje, se observó un incremento en la formación del duramen durante 2-17 años del estudio.

2.3.2 Volumen de albura y follaje

Ryan (1989), estimó el volumen de albura a partir del Dap, largo de la copa viva (m) y área de albura al Dap (cm²), desarrollando ecuaciones de predicción y sus implicaciones ecológicas con tres especies de coníferas [*Pinus contorta* ssp *latifolia* (Engelm. ex Wats.) Critchfield, *Picea engelmannii* (Parry) y *Abies lasiocarpa* (Hook.) Nutt.]. Resulta que el tejido xilemático de conducción (albura) es un órgano importante de almacenamiento de agua, carbohidratos, y nutrientes. Este autor encontró que el volumen de albura se incrementa exponencialmente con aumentos en el área foliar; sin embargo no mostró ningún gráfico ilustrando esta relación. Indica también, que las células vivas de los rayos del parénquima requieren energía para subsistir, implicando que árboles grandes invierten más energía para mantenerse vivos que los pequeños.

2.4 Algunos aspectos a considerar sobre el muestreo estadístico en estudios de árboles individuales.

La mayoría de estudios realizados para desarrollar relaciones entre albura y follaje (biomasa o área), no definen un tipo de muestreo estadístico (Albrektson 1984; Berninger y Nikinmaa 1994; Clair 1993; Fownes y Harrington 1992; Gower *et. al.* 1987; Grier y Waring 1974; Robichaud y Methven 1992; Rogers y Hinkley 1979; Ryan 1989; Snell y Brown 1978; West y Wells 1990; Whitehead 1978) debido que, por ser estudios de árboles individuales y no para poblaciones en sí, no se precisa una muestra estadística.

El cuadro 2 muestra el número de árboles por especie y/o rodal seleccionados, que en varios estudios oscila entre 9 y 26, con un promedio de 14 árboles.

Cuadro 2 Numero de árboles seleccionados en algunos estudios para establecer relaciones entre área de albura y follaje (biomasa y área foliar)

Numero de árboles seleccionados por especie y/o rodal	Autor y año de publicación (ver Literatura consultada)
10	Albrektson 1984
15	Berninger y Nikinmaa 1994
20	Clair 1993
9	Fownes y Harrington 1992
13	Gower et al 1987
9-12	Grier y Waring 1974
9	Hungerford 1986
9	Kiker-Snowman y Wilson 1988
26	Robichaud y Methven 1992
12	Rogers y Hinkley 1979
12	Ryan 1989
15-16	Ryan 1990
15	Snell y Brown 1978
10	West y Wells 1990
23	Whitehead 1978

2.5 El penúltimo anillo de crecimiento como criterio para evaluar la capacidad de respuesta al raleo.

Con las observaciones realizadas en las secciones discoidales extraídas, principalmente con las de *Tectona grandis* L., fue evidente que el tamaño de los anillos en espesor, de los últimos seis años, es equivalente de $1/3$ a $1/2$ del ancho del anillo producido hace 7 años, dado ello por el simple hecho de haber entrado en competencia hace seis años

Por lo tanto, se considera que el penúltimo anillo de crecimiento, es el que mejor refleja el estado de competencia y crecimiento del árbol en el último período *completo* de crecimiento, y por ello, se plantea la hipótesis que el área de este anillo al Dap no es un buen criterio para evaluar la capacidad de respuesta al raleo. El uso del último anillo se descarta por considerarse que está en proceso activo de crecimiento.

3. METODOLOGÍA

3.1 Descripción del área de estudio

El área donde se realizó el estudio abarca los cantones de Nicoya y Hojancha de la región Chorotega, en la provincia de Guanacaste, tal como se muestra en la figura 5. Las coordenadas geográficas medias del cantón Nicoya están dadas por 10°06'14" latitud Norte y 85°26'13" longitud Oeste, donde la anchura máxima es de sesenta kilómetros, en dirección noreste a suroeste. Las coordenadas geográficas de Hojancha son 9°58'38" latitud Norte y 85°24'39" longitud Oeste, donde su anchura máxima es de veintinueve kilómetros, en dirección noreste a suroeste. El cantón de Hojancha posee una extensión de 261,42 km² y Nicoya 1333,68 Km².



Figura 5 Ubicación geográfica (Nicoya y Hojancha) donde se seleccionaron las plantaciones de *Tectona grandis* L., y *Gmelina arborea* Roxb., en la provincia de Guanacaste, Costa Rica.

Nicoya y Hojancha, presentan dos unidades geomórficas, denominadas forma de denudación y sedimentación aluvial. La unidad de denudación para Nicoya se clasifica según su origen en rocas ígneas y en rocas sedimentarias marinas y, para el cantón de Hojancha esta misma unidad contiene además rocas de origen basáltico. En cuanto a la unidad de sedimentación aluvial, Hojancha se divide en dos subunidades llamadas conos coluvio aluvial con influencia marina y conos coluvio aluviales, y Nicoya se subdivide en seis subunidades, llamadas como coluvio aluviales, llanura aluvial del río Tempisque, planicie aluvial con influencia marina cerca de la costa, pantano permanente o temporal, marismas y conos coluvio aluviales con influencia marina (Chinchilla 1987)

Las elevaciones en metros sobre el nivel medio del mar, del centro urbano de los distritos del cantón de Nicoya son las siguientes: ciudad Nicoya 123, Villa Mansión 87, Villa San Antonio 68, Villa Quebrada Honda 23 y Villa Sámara 3. Para el cantón de Hojancha, algunos centros poblados tienen las siguientes alturas medias sobre el nivel del mar: ciudad Hojancha 350, poblado Maravilla 620, poblado Huacas 560, poblado Altos del Socorro 720, poblado San Isidro 520, poblado San Juan Bosco 185, poblado San Martín 60 (Chinchilla 1987)

Finegan (1995), señala que el área de Guanacaste presenta dos estaciones, la seca y la lluviosa claramente definidas, catalogando la estación seca *muy marcada*. En el cuadro 3 y figura 6, se muestra el promedio mensual de precipitación (mm) y temperatura (°C) para los cantones de Hojancha y Nicoya, para un período de 20 años (1964-1984), cuya precipitación total anual es de 2171 mm (Sistema MIRA 1995). La estación *seca*, permite que los anillos de crecimiento se resalten por producto del crecimiento efectuado en época seca y lluviosa, diferenciándose el leño tardío y temprano en las especies de *G. arborea* Roxb., y *T. grandis* L.

Según el sistema de clasificación de Zonas de Vida de Holdridge, los Cantones de Hojancha y Nicoya se encuentran bajo dos zonas de vida, donde para la áreas de bajura se identifica el Bosque Humedo Tropical y para las zonas de altura el Bosque Muy Húmedo Premontano (Centro Científico Tropical 1969)

Cuadro 3 Promedios mensuales de precipitación (mm) y temperatura (°C) de 1964 a 1984 registrado por la estación meteorológica de Nicoya, Guanacaste.

Meses	Precipitación (mm)	Temperatura (°C)
Enero	4	26.5
Febrero	9	27.5
Marzo	20	28.5
Abril	62	28.9
Mayo	272	27.8
Junio	321	26.8
Julio	246	26.9
Agosto	307	27.0
Septiembre	397	26.8
Octubre	392	26.4
Noviembre	115	26.1
Diciembre	26	26.0

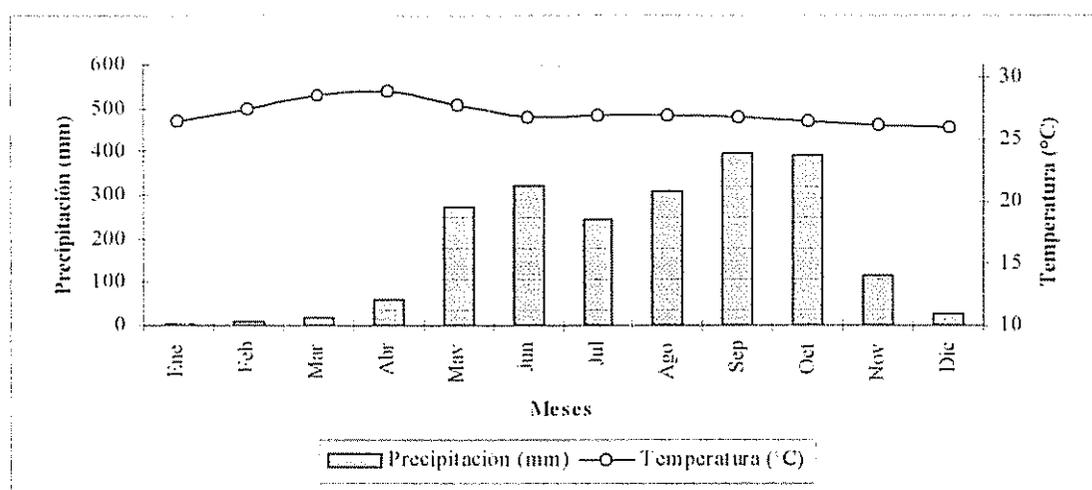


Figura 6 Distribución anual de los promedios mensuales de precipitación (mm) y temperatura (°C) para la zona de Nicoya y Hojancha, Guanacaste

3.2 Pruebas preliminares

Antes de entrar a detallar la metodología de la presente investigación, cabe indicar que se visitó el área de Hojancha, para realizar una toma preliminar de datos de campo. Esto fue el 1 de noviembre de 1995. Durante esta visita se derribó un árbol de *G. arborea* Roxb., y uno de *T. grandis* L., en Pitarrayada y Pilangosta de Hojancha, respectivamente, cuyo objetivo principal fue

de observar tanto en Teca como en Melina la practicabilidad de medir la albura activa y estimar la biomasa del follaje en peso (kg). Para Melina se observó al ejecutar el corte, que cierta área del tocón (2 anillos de crecimiento) manaban fluidos, lo cual denotó claramente el área de albura activa, así también en Teca, se diferenció el área de albura activa por el contraste de color en la madera

Al observar los anillos de crecimiento de la albura en *T. grandis* L., con una lupa (10X), fue fácil observar que esta especie tiene una *porosidad anular* (Morataya 1993), concentrándose los poros hacia la parte interna del anillo. La diferenciación entre porosidad activa (libre) y no activa (obstruida) coincide con el cambio de color entre albura y duramen en esta especie, aunque siempre existe un tejido de transición, donde este cambio ocurre

Con *G. arborea* Roxb., sucede lo mismo que *T. grandis* L., en cuanto a la porosidad activa (albura) y no activa (duramen) en los anillos de crecimiento, donde para *G. arborea* Roxb., se clasificó con una *porosidad semidifusa* (Morataya 1993), aunque en esta especie no mostró en estas pruebas preliminares una diferenciación de color entre albura y duramen

Después de haber secado al aire las secciones transversales de *G. arborea* Roxb., éstas se sumergieron en agua por 72 horas para secarlas en una cámara con un bombillo de 100W. Después de este procedimiento, se observó que el área de albura se sobresaltó (expansión volumétrica longitudinal) de la superficie normal de la sección transversal y el duramen se mantuvo compacto. Esto coincidió con los anillos que presentaron una manación de fluidos en el tocón remanente al momento de hacer el corte

Con base en lo anterior se puede concluir que al ejecutar el corte, debe de observarse inmediatamente los anillos que presentan manación de fluidos y cuáles no, ya que ello marcará el límite entre albura y duramen. Se observó que el número de anillos de albura es constante hasta que desaparece el duramen; es decir, en un corte transversal, en el cual ya no hay duramen, el número de anillos es el mismo que se observa en la sección transvesal a la altura del pecho. En la misma visita exploratoria se cuantificó el peso del follaje (kg), cortando todas las hojas verdes de

la copa para luego pesarlas con una balanza de 0.5 kg de precisión. Los datos obtenidos se presentan en el cuadro 4.

Cuadro 4 Medición preliminar de algunas variables a considerar en el presente estudio

Variable medida	Gmelina arborea Roxb Manejo bajo competencia <i>menor</i>	Tectona grandis Ling Manejo bajo competencia <i>fuerite</i>
Altura total (metros)	15.2	18.0
Largo de copa (metros)	7.4	9.5
% Copa viva	49	53
Peso del follaje (Kg)	18.3	11.5

Lo anterior fue importante conocerlo, ya que permitió tener una visión realista de los posibles resultados a obtener.

3.3 Algunos principios generales a tener en cuenta

Antes de describir las dos fases de campo que constituyeron la presente investigación, es oportuno indicar que la toma de datos se hizo en época de invierno (mayo-agosto), ya que una de las variables principales fue la biomasa del follaje, la cual presentó un buen desarrollo en el mes de agosto, el cual se removió totalmente de la copa y se pesó en kilogramos (peso fresco). No se tomaron en cuenta hojas amarillentas y viejas, sino que se seleccionaron hojas que visualmente se apreciaron como jóvenes y activas. El estudio se realizó para árboles individuales.

3.4 Marco muestral

Con la ayuda de dos profesionales locales (Ings Miguel Valverde y Danilo Méndez del Área de Conservación Tempisque -ACT-, de Hojancha), se procedió a ubicar y seleccionar las plantaciones que tienen al menos una parcela permanente (PP) establecida, la cual, juntamente con toda la plantación, tuvo el mismo nivel de manejo. De los alrededores de cada parcela, se seleccionaron 6 árboles, donde a partir de los datos de diámetro obtenidos por parcela, se definieron tres clases de diámetro: alta, media y baja, de los cuales se tomaron dos árboles por clase de diámetro. Estas PP que se describen en el cuadro 5, son las que habían sido monitoreadas con el apoyo del proyecto.

CATIE/Madeleña El historial de las parcelas seleccionadas se determinó con base en las mediciones realizadas e información adicional proporcionada por el Ing José Miguel Valverde del ACT. La presente fase se realizó entre los meses de mayo y julio

Cuadro 5 Parcelas permanentes de manejo establecidas en Hojancha y Nicoya

Parcela	Especie	Fecha de establecimiento	Lugar	Propietario
001J	<i>T. grandis</i> L.	31/7/92	La Vigía	Carlos Menocal
002J	<i>T. grandis</i> L.	31/7/92	La Mansión	Pablo Ramos
003J	<i>T. grandis</i> L.	31/7/91	Los Angeles	Diana Ohannessian
004J	<i>T. grandis</i> L.	30/6/91	San Rafael	Bienvenido Marchena
005J	<i>T. grandis</i> L.	31/7/90	La Susuruza	Juan Ramón Barrantes
006J	<i>T. grandis</i> L.	30/6/90	Guapinol	Rodrigo Barrantes
007J	<i>T. grandis</i> L.	30/6/90	Santa Marta	Roberto Rodríguez
008J	<i>T. grandis</i> L.	30/6/89	Cuesta Blanca	Asdrúbal Campos
009J	<i>T. grandis</i> L.	30/6/89	San Gerardo	Armando Campos
010J	<i>T. grandis</i> L.	30/6/89	Santa Marta	Adrián Rodríguez
011J	<i>T. grandis</i> L.	30/6/88	Betania	Carlos Luis Campos
012J	<i>T. grandis</i> L.	30/6/86	La Arena	CACH *
013J	<i>T. grandis</i> L.	30/6/85	Pilangosta	Alvaro Rodríguez
014J	<i>G. arborea</i> Roxb	30/6/92	Pitarayada	Paula Matarrita
015J	<i>G. arborea</i> Roxb	30/6/91	Pitarayada	Benedicto Agüero
016J	<i>G. arborea</i> Roxb	30/6/91	Lajas	José Manuel Barrantes
017J	<i>G. arborea</i> Roxb	30/6/91	Pilangosta	Joaquín Rodríguez
018J	<i>G. arborea</i> Roxb.	31/5/89	La Susuruza	Maria Barrantes
019J	<i>G. arborea</i> Roxb.	30/6/89	Pitarayada	Bernabé Hernández
020J	<i>G. arborea</i> Roxb	30/6/89	Pitarayada	Paula Carrillo
021J	<i>G. arborea</i> Roxb	30/6/88	Betania	Carlos Luis Campos
022J	<i>G. arborea</i> Roxb	30/6/88	Pilangosta	Bolívar Molina
023J	<i>G. arborea</i> Roxb	30/6/88	Matambú	Victor Villagra
024J	<i>G. arborea</i> Roxb.	30/6/88	Bajo Beneficio	Célimo Campos
025J	<i>G. arborea</i> Roxb	31/7/85	Pilangosta	Alvaro Rodríguez
026J	<i>G. arborea</i> Roxb	30/6/91	Lajas	José Manuel Barrantes
027J	<i>G. arborea</i> Roxb	15/7/89	Matina	Alexánder Quesada
028J	<i>G. arborea</i> Roxb	15/7/88	San Gerardo	Olger Barrantes
029J	<i>G. arborea</i> Roxb	15/7/88	Santa Marta	Adrián Rodríguez
030J	<i>T. grandis</i> L.	15/7/88	La Arena	José María Mejías
031J	<i>T. grandis</i> L.	15/7/88	San Gerardo	Braulio Quirós
032J	<i>T. grandis</i> L.	15/7/88	Santa Marta	Mireya Barrantes
033J	<i>T. grandis</i> L.	30/6/91	Lajas	José Manuel Barrantes
034J	<i>T. grandis</i> L.	30/6/86	La Arena	CACH *
035J	<i>T. grandis</i> L.	15/7/86	Santa Marta	Adrián Rodríguez
213L	<i>T. grandis</i> L.	15/6/88	Matambú	Jerónimo Montiel
215L	<i>G. arborea</i> Roxb.	15/6/89	Matambú	Venancio López
218L	<i>G. arborea</i> Roxb	15/6/90	Pilangosta	Joaquín Rodríguez
219L	<i>T. grandis</i> L.	15/6/89	Lapas	Marcelo Cruz
220L	<i>G. arborea</i> Roxb.	15/6/88	Los Angeles	Victor Rodríguez

* Centro Agrícola Cantonal de Hojancha

Fuente: Ing. José Miguel Valverde. Hojancha, Guanacaste.

Parcela	Especie	Fecha de establecimiento	Lugar	Propietario
011J	<i>T. grandis</i> L.	30/6/88	Betania	Carlos Luis Campos
012J	<i>T. grandis</i> L.	30/6/86	La Arena	CACH *
030J	<i>T. grandis</i> L.	15/7/88	La Arena	José María Mejías
034J	<i>T. grandis</i> L.	30/6/86	La Arena	CACH *
035J	<i>T. grandis</i> L.	15/7/86	Santa Marta	Adrián Rodríguez
001J	<i>T. grandis</i> L.	31/7/92	La Vigia	Carlos Menocal
002J	<i>T. grandis</i> L.	31/7/92	La Mansión	Pablo Ramos
003J	<i>T. grandis</i> L.	31/7/91	Los Angeles	Diana Ohannessian
010J	<i>T. grandis</i> L.	30/6/89	Santa Marta	Adrián Rodríguez
219L	<i>T. grandis</i> L.	15/6/89	Lapas	Marcelo Cruz
014J	<i>G. arborea</i> Roxb.	30/6/92	Pitarayada	Paula Matarrita
017J	<i>G. arborea</i> Roxb.	30/6/91	Pilangosta	Joaquín Rodríguez
215L	<i>G. arborea</i> Roxb.	15/6/89	Matambu	Venancio López
019J	<i>G. arborea</i> Roxb.	30/6/89	Pitarayada	Bernabé Hernández
020J	<i>G. arborea</i> Roxb.	30/6/89	Pitarayada	Paula Carrillo
025J	<i>G. arborea</i> Roxb.	31/7/85	Pilangosta	Alvaro Rodríguez
027J	<i>G. arborea</i> Roxb.	15/7/89	Matina	Alexánder Quesada

* Centro Agrícola Cantonal de Hojancha

3.5 Aspectos considerados en el muestreo

Para este estudio se seleccionaron 18 árboles por clase de *competencia*, o sea 36 por especie en total. A este número se sumaron dos árboles por especie provenientes de parcelas *sin raleo* (*competencia extrema*) y 4 de *libre crecimiento*, para dar un total de 40 árboles por especie y un total de 80 árboles muestreados. Cada árbol seleccionado se identificó con una plaqueta metálica, con información sobre la especie, tipo de raleo realizado y número serial del árbol; cuyos códigos de identificación se muestran en el cuadro 7.

Cuadro 7 Códigos de identificación para árboles muestreados

Referencia	Identificación
Número serial por rodal	De 1 en adelante
<i>Gmelina arborea</i> Roxb.	Ga
<i>Tectona grandis</i> L.	Tg
Competencia <i>menor</i>	m
Competencia <i>fuerte</i>	f
Número serial de rodaja	De 1 en adelante

3.6 Descripción del material utilizado

3.6.1 Parcelas *sin raleo (competencia extrema)*

Se establecieron PP en plantaciones sin ninguna clase de manejo reportado, tanto para *T. grandis* L., como para *G. arborea* Roxb., en la cual su número actual de árboles varió con respecto a los plantados originalmente por mortalidad, según las observaciones de campo (Cuadro 8)

Cuadro 8 Parcelas permanentes *sin raleos* de *T. grandis* L., y *G. arborea* Roxb., establecidas en Hojancha, Guanacaste

Parc	Especie	Fech establ	Fech med	Edad (años)	Norig/ha	Nact/ha	Superv (%)	Dap (cm)
003M	<i>T. Grandis</i> L.	Jun-78	13/7/96	18	1862	745	40.01	19.45
004M	<i>T. Grandis</i> L.	Jul-88	22/7/96	8	1668	1450	86.93	11.83
001M	<i>G. arborea</i> Roxb.	Jun-88	12/7/96	8	1154	1127	97.66	16.12
002M	<i>G. arborea</i> Roxb.	Jun-88	13/7/96	8	1203	1117	92.85	14.71

Parc	Especie	Altura (m)	IMA-Dap (cm)	IMA-Altura (m)	AB (m ² /ha)	Vol (m ³ /ha)	IMA-AB (m ² /ha)	IMA-Vol (m ³ /ha)
003M	<i>T. Grandis</i> L.	19.33	1.081	1.074	21.0548	188.2164	1.17	10.46
004M	<i>T. Grandis</i> L.	10.97	1.479	1.371	17.4699	86.6874	2.18	10.84
001M	<i>G. arborea</i> Roxb.	16.83	2.015	2.104	26.0315	221.1063	3.25	27.63
002M	<i>G. arborea</i> Roxb.	19.42	1.839	2.428	20.8837	185.8102	2.61	23.23

Referencias:

- Parc: Número de parcela serial registrada Establecidas por Ricardo Morataya Montenegro = M
 Fech establ: Fecha en que se plantaron los árboles.
 Fech med: Fecha en que fue instalada y medida la parcela
 Norig/ha: Número de árboles originales por hectárea
 Nact/ha: Número de árboles actuales por hectárea
 IMA: Incremento medio anual
 AB: Área basal en m² por hectárea
 Vol: Volumen en m³ por hectárea

3.6.2 Parcelas *con manejo*

Las PP que se describen en los cuadros 9 y 10 han presentado al momento de ser intervenidas uno de dos niveles de competencia claramente diferenciables; es decir, una *competencia menor* o una *competencia fuerte*. En este estudio se buscaron rodales con manejo, pero que habían experimentado niveles muy diferentes de competencia durante su desarrollo. Hubo interés en indagar sobre la capacidad de crecimiento en términos de incremento diametral, los árboles que

habían sufrido una recesión fuerte de copas o intervenciones silviculturales tardías. El nivel de competencia se definió por observaciones al momento de medir la PP complementados por la información recopilada en su historial de manejo. A continuación se describe el historial de manejo silvicultural que ha recibido cada parcela desde su establecimiento.

Cuadro 9 Historial de parcelas permanentes con manejo para *T. grandis* L.

Parcela	Fecha establ.	Edad en años	Árboles iniciales	Número actual de árboles	Dap 1995	Dap 1996	Incre Dap 95-96	Edad del incremento en meses	Raleos a la fecha	Edad raleos en años	Raleo 1 N1 N2 (%R)	Raleo 2 N3 N4 (%R)	Raleo 3 N3 N4 (%R)	Estado de Competencia
010J	30/6/89	6.95	1111	311	18.33	19.7	1.37	11.2	2	4 y 6	1111 687 (40)	667 311 (53)		Menor
001J	31/7/92	3.91	1111	578	9.66	13.75	3.77	12.07	1	3	1111 578 (48)			Menor
219L	15/6/89	7.02	1111	533	15.42	18.16	2.74	16.1	1	4	1111 533 (52)			Menor
003J	31/7/91	4.9	1111	600	10.5	13.3	2.8	11.67	1	4	1111 600 (46)			Menor
002J	31/7/92	3.9	1111	511	12.27	16.34	3.07	12.6	1	3	1111 511 (54)			Menor
034J	30/6/86	9.94	1600	544	19.63	19.47	-0.36	6.6	3	4 7 y 9	1600 1120 (30)	1120 560 (50)	560 544 (3)	Fuerte
013J	30/6/85	10.06	1600	320	19.57	20.24	0.67	10.47	3	5 7 y 10	1600 1200 (25)	1200 672 (44)	672 320 (52.4)	Fuerte
035J	15/7/86	9.99	1600	446	19.12	18.76	-0.34	7.37	2	8 y 9	1600 688 (57)	688 448 (35)		Fuerte
012J	30/6/86	9.94	1600	416	19.67	20.16	0.29	11.5	3	4 7 y 9	1600 1120 (30)	1120 560 (50)	560 416 (25)	Fuerte
030J	15/7/86	7.94	1111	500	15.61	15.24	-0.37	7.27	1	7	1111 500 (55)			Fuerte

Cuadro 10 Historial de parcelas permanentes con manejo para *G. arborea* Roxb.

Parcela	Fecha establ.	Edad en años	Árboles iniciales	Número actual de árboles	Dap 1995	Dap 1996	Incre Dap 95-96	Edad del incremento en meses	Raleos a la fecha	Edad raleos en años	Raleo 1 N1 N2 (%R)	Raleo 2 N3 N4 (%R)	Raleo 3 N3 N4 (%R)	Estado de Competencia
014J	30/6/92	3.98	1111	544	14.05	16.44	2.39	11.7	1	3	1111 544 (51)			Menor
017J	30/6/91	4.98	1111	478	20	22.22	2.22	11.73	1	3				Menor
215L	15/6/89	7.03	1600	416	19.61	22.56	2.95	16.43	2	3 y 6		600 416 (48)		Menor
019J	30/6/89	6.97	1111	333	20.56	21.9	1.34	11.5	3	3 5 y 6	1111 533 (57)	688 344 (50)	344 333 (3.2)	Fuerte
020J	30/6/89	6.97	1111	478	18.84	20.25	1.41	11.33	3	2 4 y 6	1600 800 (50)	833 544 (34)	544 478 (12)	Fuerte
027J	15/7/89	6.9	1600	704	21.06	21.94	0.88	7.8	2	4 y 6	1600 944 (41)	944 704 (25.4)		Fuerte
025J	31/7/85	10.91	1600	240	25.37	25.9	0.53	11.17	3	6 9 y 10	1600 722 (55)	722 361 (50)	361 240 (33)	Fuerte

Referencias

- Parcela: Número de parcela serial registrada. Establecidas por Madalena CATIE = L; y establecidas por el Ing. For. José Valverde = J.*
 Fecha establ.: Fecha en que fue plantada.*
 Incre Dap: Incremento diametral en centímetros.
 N1: Número original de árboles por hectárea.*
 N2: Número de árboles por hectárea después del primer raleo.
 N3: Número de árboles por hectárea antes del segundo raleo.
 N4: Número de árboles por hectárea después del segundo raleo.*
 %R: Porcentaje de raleo.

Nota: La información cuyos significados tienen un asterisco (*) fue proporcionada por el Ing. For. José Miguel Valverde, Funcionario del Área de Conservación Tempisque (ACT), Hojancha, Guanacaste.

3.6.2.1 Descripción del estado de competencia de las parcelas permanentes de *T. grandis* L., y *G. arborea* Roxb.

3.6.2.1.1 *T. grandis* L.

A. Parcela 010J

Los árboles de esta parcela presentan un incremento promedio en Dap de 1.37 cm en un período de 11 meses. El IMA en Dap hasta 1995 fue alto (3.06 cm/año) y hasta 1996 alcanzaba 2.81 cm. La parcela ha tenido dos raleos que se efectuaron a los cuatro y seis años respectivamente. La densidad después del segundo raleo es de 311 árboles por hectárea. Los raleos fueron de un 40 y 53% respectivamente. Su estado de competencia se clasifica como *menor*.

B. Parcelas 001J, 219L, 003J y 002J.

En estas parcelas, el primer y único raleo hasta el momento fue fuerte (46 al 54%) y se ejecutó entre el tercer y cuarto año, con densidades después del raleo de 511 a 600 árboles/hectárea. El crecimiento ha sido superior a las 2.5 cm en diámetro por año. El IMA a junio de 1996 oscila entre 2.6 y 3.95 cm. Las parcelas fueron consideradas como de una competencia *menor*.

C. Parcela 034J

El incremento promedio en diámetro de los árboles de esta parcela después de siete meses fue extremadamente leve (-0.36 cm). El valor negativo se debe a que se realizó la medición del Dap un poco más bajo que la medición anterior. La parcela ha tenido tres raleos: el primer raleo (débil; 30%) se hizo durante el cuarto año, el segundo al séptimo año (50%) y el tercer raleo de refinamiento se efectuó al noveno año (3%). La densidad después del tercer raleo a una edad de 10 años es de 544 árboles por hectárea, lo cual se considera muy alto, comparado con las densidades y edades de las parcelas en estado de competencia *menor*. En las plantaciones que manifestaron competencia *menor*, las densidades oscilaron entre 533 y 667 árboles por hectárea, después del primer raleo, con edades entre tres y cuatro años, por lo que esta parcela evidenció una competencia *fuerte*.

D. Parcela 013J

El incremento promedio en diámetro observado en los árboles de esta parcela fue de 0.67 cm, en un período de 11 meses de crecimiento. El primer raleo fue tardío (a los 5 años) y débil (25%). La densidad final después del tercer raleo a la edad de 10 años es de 320 árboles/ha. Sin embargo, aunque el segundo y tercer raleo fueron fuertes (44 y 52.4 % respectivamente), sigue el efecto negativo del primer raleo *débil y tardío* sobre el incremento en diámetro. Su estado de competencia se consideró *fuerte*.

E. Parcela 035J

Los árboles de esta parcela tuvieron un incremento promedio en diámetro muy bajo, en un período de 7 meses de crecimiento (-0.34 cm). Este valor negativo se debe a la causa explicada anteriormente (ver sección C). Esta parcela ha tenido dos raleos, el primero se realizó a los ocho años (57%), el cual se cataloga como *intenso pero muy tardío*. El segundo raleo se ejecutó a los nueve años (35%), el cual se considera *débil y tardío*. La densidad actual es de 448 árboles/ha. Lo anterior demuestra que esta parcela manifiesta una competencia *fuerte*.

F. Parcela 012J

Esta parcela ha tenido tres raleos, los cuales se efectuaron a los cuatro, siete y nueve años correspondientemente. El primer y tercer raleo fueron *muy débiles* con un 30 y 25% de intensidad respectivamente. El incremento promedio en diámetro al Dap fue de 0.29 cm en un período de 11 meses de crecimiento. La parcela evidencia que ha mantenido una competencia *fuerte*.

G. Parcela 030J

Los árboles de esta parcela tuvieron un incremento promedio en diámetro muy cercano a cero (-0.37) en un período de 7 meses. Este valor negativo se debe a la causa explicada en la sección C del ítem 3.6.2.1.1. Esta parcela solo ha tenido un raleo, el cual fue fuerte, con un 55% de intensidad; sin embargo, fue *demasiado tardío*, ya que se realizó a la edad de 7 años. Con base en lo anterior, esta parcela se clasificó como una de competencia *fuerte*.

3.6.2.1.2 *G. arborea* Roxb.

A. Parcela 014J

Los árboles de esta parcela alcanzaron un incremento de 2.39 centímetros después de 11 meses. El primer y único raleo (a los tres años) fue fuerte (51%), dejando una densidad de 544 árboles por hectárea. La competencia presentada por esta parcela se cataloga como *menor*.

B. Parcela 017J

El incremento promedio en Dap de los árboles de esta parcela fue de 2.22 cm, en un periodo de 11 meses. El primer y único raleo (a los tres años) fue fuerte (57%), y la densidad del rodal después del raleo es de 533 árboles por hectárea. La competencia manifestada por esta parcela fue *menor*.

C. Parcela 215L

Los árboles de esta parcela tuvieron un incremento promedio en Dap de 2.95 centímetros, en un periodo de 16 meses. Los raleos fueron a los tres y seis años (50 y 48% respectivamente), los cuales se consideran fuertes. La competencia manifestada se considera como *menor*.

D. Parcela 019J

Aunque los raleos se efectuaron en un momento oportuno, no siempre fueron de la intensidad necesaria para sostener un buen desarrollo en diámetro. El primero fue débil eliminando un 38% de los árboles, el segundo en cambio, fue fuerte (50%), pero el tercer raleo a los 6 años fue muy débil, entresacando solo un 3.2% (raleo de refinamiento). Lo anterior refleja un incremento diamétrico pobre de 1.34 cm, para el periodo de 11 meses de crecimiento. Esta parcela ha tenido una competencia *fuerte*.

E. Parcela 020J

Las edades de los raleos de esta parcela (dos, cuatro y seis años) fueron oportunas; sin embargo, los mismos fueron *muy débiles*, con un 25, 34, y 12% respectivamente, dejando 478 árboles/ha. Esta historia de manejo ha incidido un incremento pobre en diámetro al Dap durante el último período (11 meses) de crecimiento (1.41 cm). La competencia manifestada por esta parcela es *fuerte*.

F. Parcela 027J

Esta parcela ha sido raleada en dos ocasiones. El segundo raleo fue muy débil, eliminando solo un 25% de los árboles, además fue hecho a los seis años, es decir, en forma *tardía*. Lo anterior se refleja en un incremento pobre en diámetro de 0.88 cm, en un período de 7 meses de crecimiento. La parcela manifiesta una competencia *fuerte*.

G. Parcela 025J

Sus dos primeros raleos fueron fuertes (55 y 50% respectivamente) y el tercero fue débil (33%); sin embargo, los raleos fueron hechos a los 6, 9 y 10 años; es decir, en forma *tardía*. Lo anterior se refleja en un crecimiento de apenas 0.53 cm en Dap, en un período de 11 meses de crecimiento. La competencia se manifiesta *fuerte*.

3.6.2.2 Parcelas permanentes seleccionadas.

Con base en la clasificación hecha en el ítem anterior, se seleccionaron doce parcelas siendo, seis parcelas de *T. grandis* L., y seis de *G. arborea* Roxb., (3 con competencia *menor* y 3 con competencia *fuerte*). Las parcelas seleccionadas fueron las que encajaron en la forma *mas consistente y clara*, dentro de la clasificación preliminar propuesta en la sección 3.6.2. Estas parcelas se presentan en el cuadro 11. En las figuras 7 y 8 se puede observar el contraste en incremento diametral (Dap) entre los árboles de ambas especies bajo una competencia *menor* y *fuerte*.

Cuadro 11 Parcelas seleccionadas para el muestreo destructivo de árboles de *T. grandis* L., y *G. arborea* Roxb

Especie	Estado de Competencia	Parcela	Localidad	Propietario
<i>Tectona grandis</i> L.	Menor	001J	Vigía, Nicoya	Carlos Menocal
<i>Tectona grandis</i> L.	Menor	002J	La Mansión, Nicoya	Pablo Ramos
<i>Tectona grandis</i> L.	Menor	219L	Lapas, Nicoya	Marcelo Cruz
<i>Tectona grandis</i> L.	Fuerte	012J	La Arena, Hojancha	CACH *
<i>Tectona grandis</i> L.	Fuerte	034J	La Arena, Hojancha	CACH *
<i>Tectona grandis</i> L.	Fuerte	013J	Pilangosta, Hojancha	Alvaro Rodríguez
<i>Gmelina arborea</i> Roxb.	Menor	014J	Pita Rayada, Hojancha	Paula Matarrita
<i>Gmelina arborea</i> Roxb.	Menor	017J	Pilangosta, Hojancha	Joaquín Rodríguez
<i>Gmelina arborea</i> Roxb.	Menor	215L	Matambú, Hojancha	Venancio López
<i>Gmelina arborea</i> Roxb.	Fuerte	025J	Pilangosta, Hojancha	Alvaro Rodríguez
<i>Gmelina arborea</i> Roxb.	Fuerte	027J	Matina, Nicoya	Alexánder Quesada
<i>Gmelina arborea</i> Roxb.	Fuerte	020J	Pita Rayada, Hojancha	Paula Carrillo

* Centro Agrícola Cantonal de Hojancha

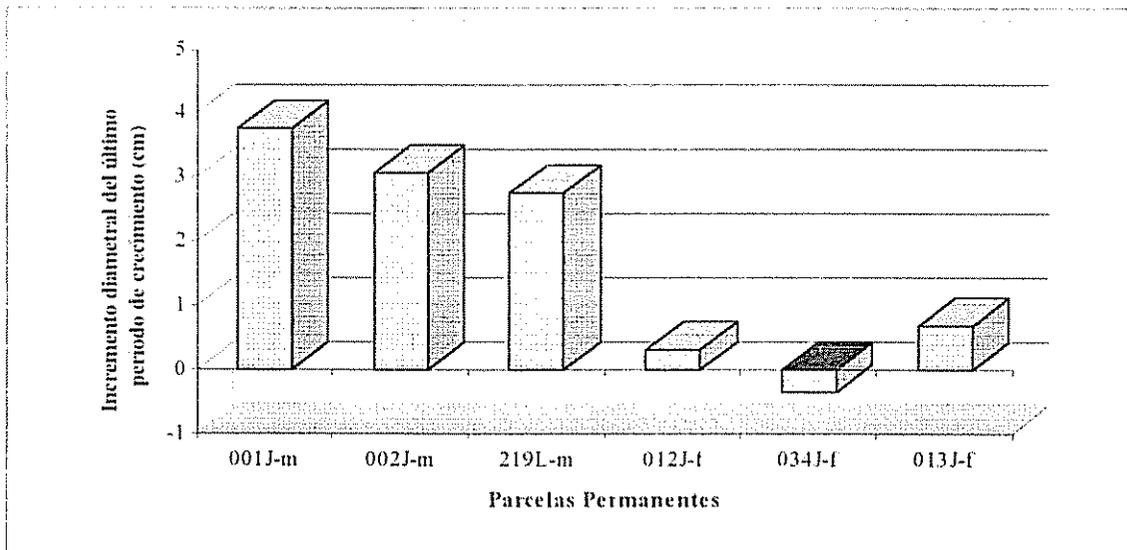


Figura 7 Incremento diametral (cm) en parcelas seleccionadas de *T. grandis* L., con competencia menor (m) y fuerte (f).

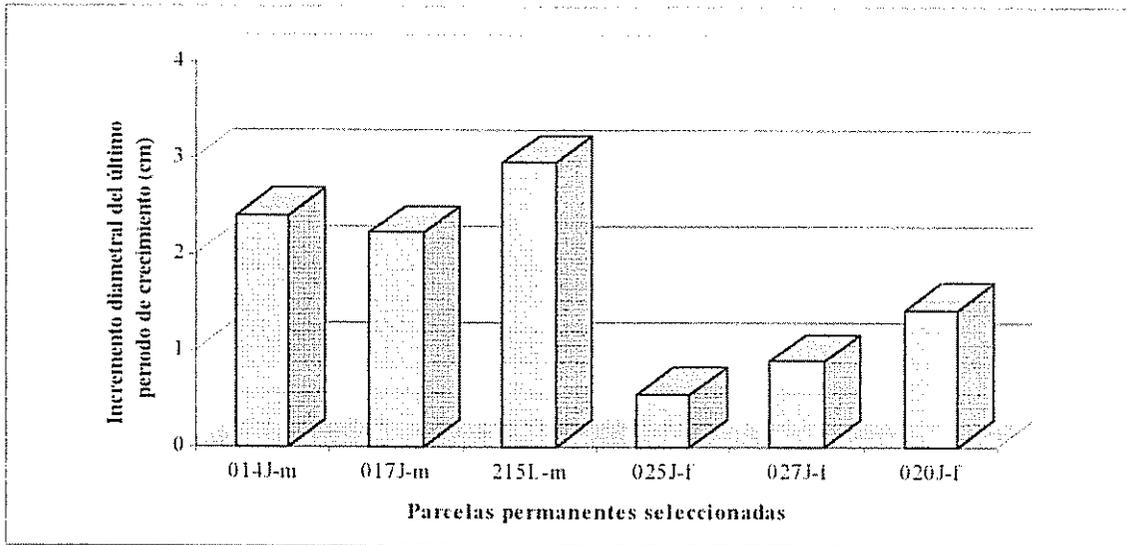


Figura 8 Incremento diametral (cm) en parcelas seleccionadas de *G. arborea* Roxb., con competencia *menor* (m) y *fuerte* (f)

3.6.3 Árboles en libre crecimiento

Se seleccionaron dos árboles de *T. grandis* L., y dos de *G. arborea* Roxb. en linderos con *libre crecimiento*. Los de *T. grandis* L., fueron extraídos en Santa Marta de Hojancha y los de *G. arborea* Roxb., de San Rafael de Hojancha. En el cuadro 12 se presenta un resumen de las mediciones realizadas de estos árboles

Cuadro 12 Árboles de *T. grandis* L., y *G. arborea* Roxb., en linderos con *libre crecimiento*.

NsM	Especie	Localidad	Fecha Plant	Fecha Med	Edad	Dap (cm)	IMA Dap-'96	Altura (m)	IMA Altura-'96
77	<i>T. Grandis</i> L.	Sta Marta	15/7/86	4/9/96	10 08	31.7	3.14	21.2	2.1
78	<i>T. Grandis</i> L.	Sta Marta	15/7/86	4/9/96	10 08	32.8	3.25	20.4	2.02
79	<i>G. arborea</i> Roxb.	Sn Rafael	Jun-88	5/9/96	8 17	30.5	3.73	16	1.96
80	<i>G. arborea</i> Roxb.	Sn. Rafael	Jun-88	5/9/96	8.17	38.1	4.66	16.2	1.98

Referencias

NsM:	Número serial de árbol muestreado
Especie:	Nombre científico de la especie.
Localidad:	Lugar donde se recolectó la muestra.
Fecha Plant:	Fecha de plantación
Fecha Med:	Fecha de muestreo y medición
Edad:	Edad del árbol muestreado
Dap:	Diámetro a la altura del pecho en centímetros.
IMA:	Incremento medio anual

3.7 Medición de árboles en pié

Se realizaron las siguientes mediciones de cada árbol:

- Ancho promedio de la copa: se tomaron dos anchos de copa, el eje más ancho y lo más angosto para generar un promedio
- Altura total y a la base de la copa viva: la base de la copa viva se identificó hasta donde se encontró la primera rama con hojas vivas. Se midió con una “pistola haga” (Figura 9)
- Diámetro a la altura del pecho (Dap): Se determinó a 1.3 metros de la base con cinta diamétrica (Figura 9)

Los datos se apuntaron en el formulario del MIRA para medición de árboles en pie (forma 15, hoja 1 de 1 /CATIE) (Ugalde 1995); (Anexo 4).

3.8 Medición de árboles volteados

- El formulario del sistema Mira (Ugalde 1995) para la medición de biomasa de árboles volteados por eje (forma 17, hoja 1 de 1) (Anexo 4) se usó para la toma de datos
- Antes de derribar los árboles seleccionados, se ubicó la mejor orientación de caída, de tal modo que la copa sufriera el menor daño posible. Se sacrificaron árboles que se interpusieron con la caída normal del árbol seleccionado
- Inmediatamente después de voltear un árbol, se procedió a observar el tocón, tanto en *T. grandis* L., como en *G. arborea* Roxb., para identificar el cambio de brillo en la superficie cortada, debida al flujo de savia de la albura activa. Se observó el color de *T. grandis* L., para diferenciar la albura y duramen. Aún en *T. grandis* L., fue notoria la exudación de savia,

permitiendo diferenciar la albura y duramen. La exudación de savia fue conspicua tanto para *T. grandis* L., como para *G. caborea* Roxb.

- Estando el árbol derribado se midió su longitud total y el largo de copa viva en metros (Figura 10).
- Seguidamente se procedió a cortar todas las hojas verdes, excluyendo las hojas viejas y amarillentas, para luego pesarlas en el mismo campo, con una balanza de 0.5 kg de precisión (O'hara y Valappil 1995). Se tomó solo peso fresco (Figura 11).
- Cada árbol se troceó a cada 2 metros de distancia. Una vez dentro de la copa se extraen secciones hasta detectar que no existía duramen. Las secciones transversales (rodaja ó galleta) no tenían mas de 2 cm de grosor (Figura 11). En cada rodaja o galleta, se midió la albura y duramen en dos direcciones, abarcando lo mas ancho y angosto de la sección transversal (Figura 12), trazando al azar tres radios, a partir del centro de la sección. Tanto el área de albura activa, como el área de duramen fueron expresados en cm^2 (Figura 12). Acá se incluyeron medidas de albura y duramen al Dap y a la base de la copa viva (BCV).

Los datos de diámetro total, diámetro de duramen y largo de troza, se anotaron en el formulario forma 7 del Sistema MIRA (Anexo 4). Se hicieron las siguientes modificaciones en los datos a tomar:

d_{cc} = diámetro con corteza, se sustituyó por: d_{scm} = diámetro total sin corteza

d_{sc} = diámetro sin corteza por: d_{dl} = diámetro del duramen

A partir de d_{scm} (cm), d_{dl} (cm), largo de trozas (m), largo a la última sección transversal extraída (m) y largo total (m), se procedió a calcular volumen total sin corteza (V_{tsc}) y volumen del duramen (V_d), utilizando para ello el programa Palmer.

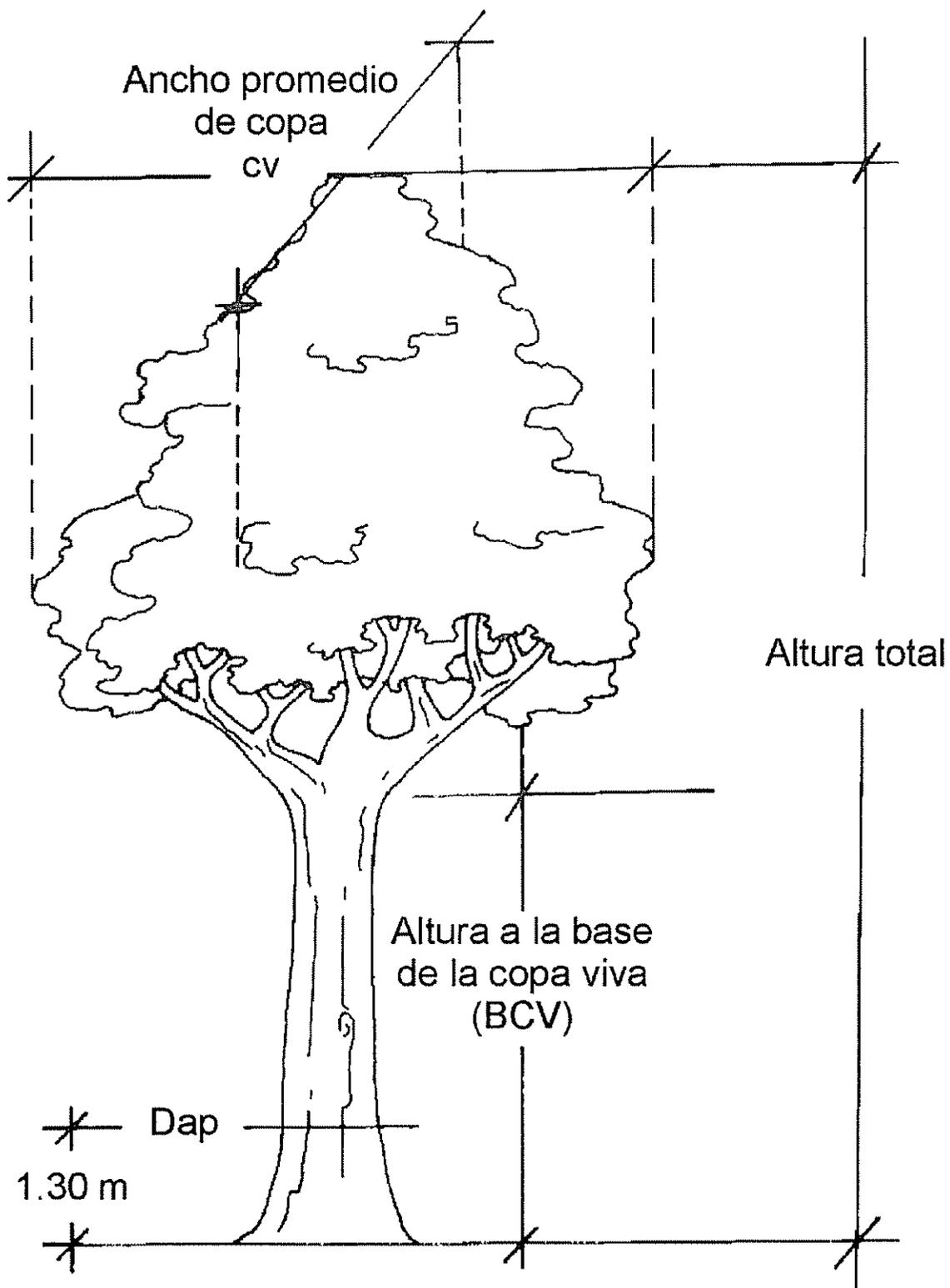


Figura 9 Mediciones tomadas en árboles en pie.

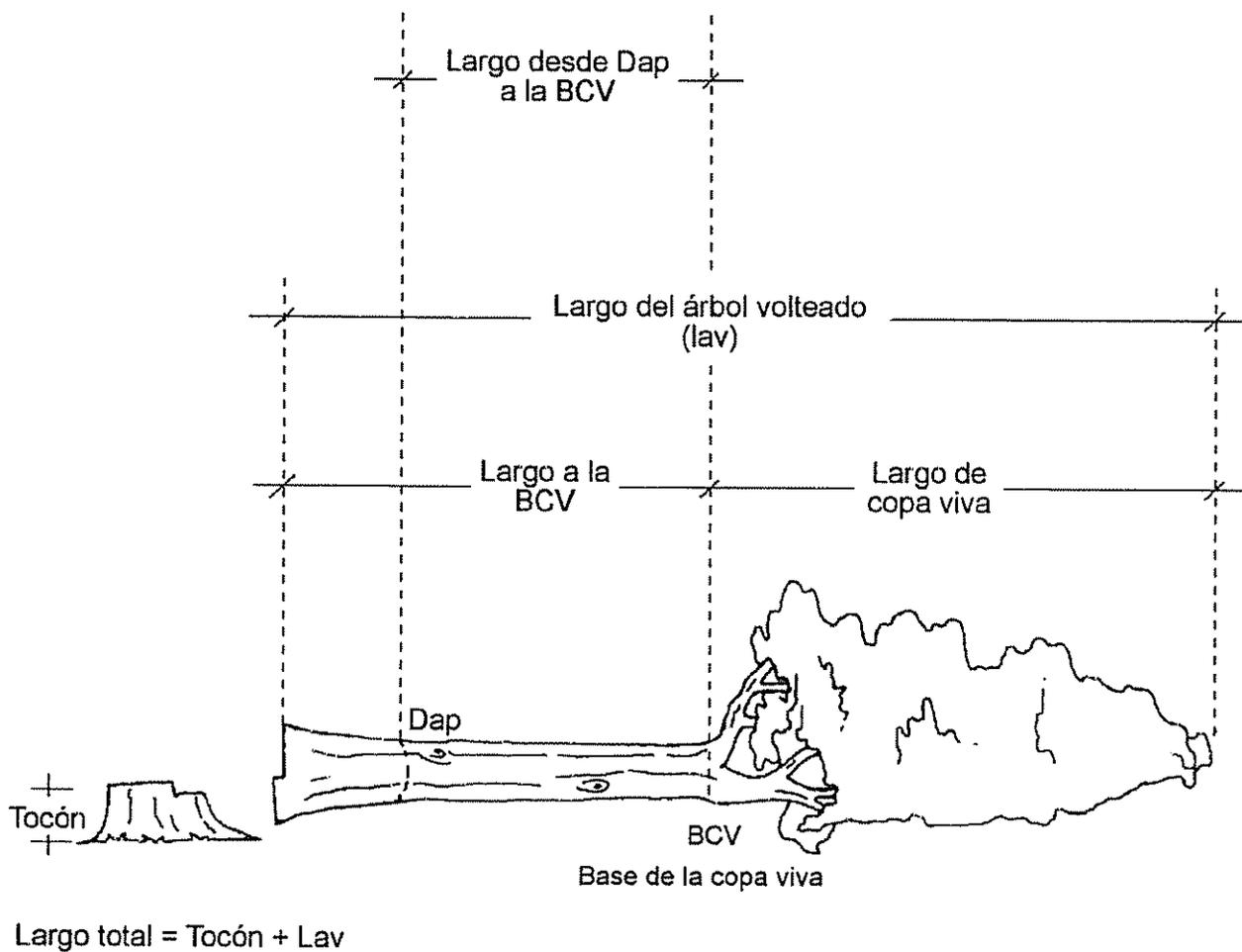
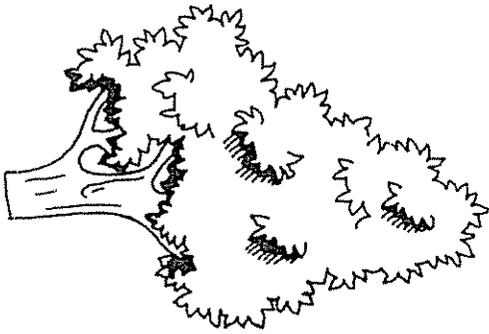


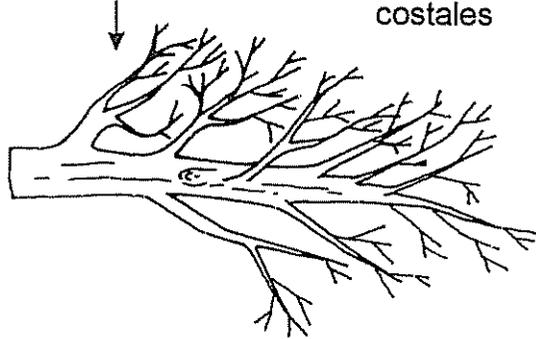
Figura 10 Mediciones en un árbol volteado.

Copa viva



Deshoje total
(manual)

→ Se almacenó
en sacos o
costales



Se pesó en una balanza de 0.5 kg
de precisión sin demora alguna

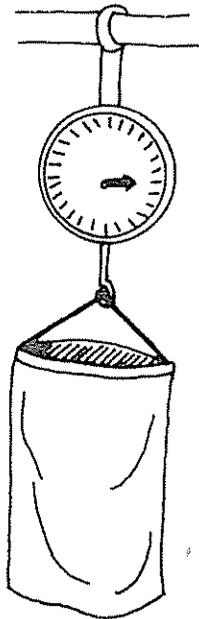


Figura 11 Proceso para determinar el peso del follaje.

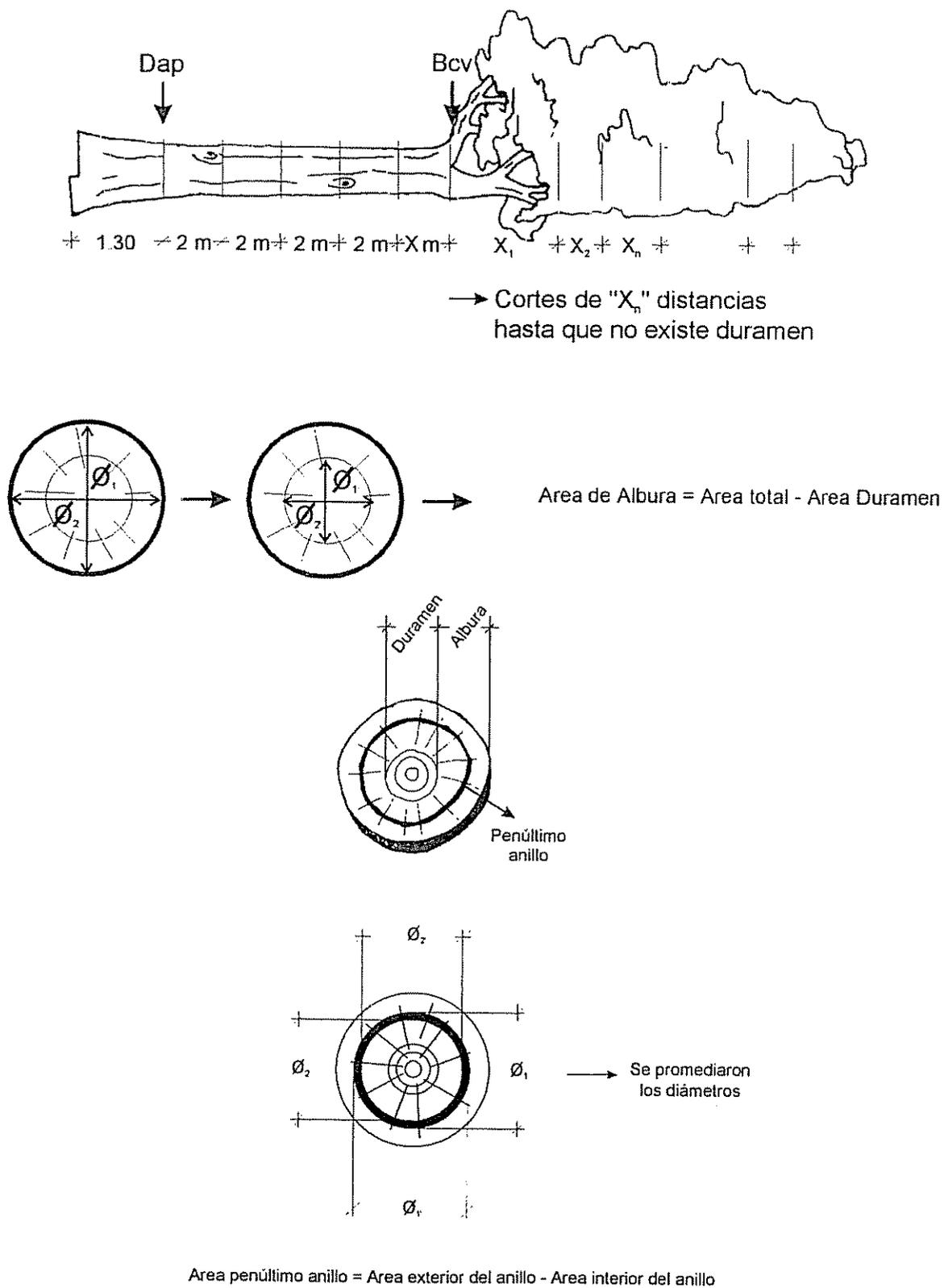


Figura 12 Cortes y mediciones realizadas para la estimación de áreas (cm^2) y volúmenes (m^3) de albura en las secciones transversales (rodajas o galletas) extraídas

El volumen de albura (Valbura) se definió por la siguiente fórmula:

$$Valbura = V_{tst} - V_d$$

Referencias

Valbura = Volumen de albura (m³)

V_{tst} = Volumen total sin corteza (m³)

V_d = Volumen del duramen (m³)

Cada rodaja extraída se identificó de la misma forma con que se identificó cada árbol a muestrear, solamente se le agregó al final otro número correlativo de 1 en adelante, siendo el conteo de rodajas desde la base del árbol hacia arriba

La base de la copa viva se midió en la intersección de la rama más baja que tuvo follaje verde. Si esta rama viva más baja, se encontró solitaria y, con una distancia *conspicua* entre la misma y el verticilo de ramas inmediato superior, se procedió a ubicar la base de la copa viva en el punto medio entre ambos

Las variables tomadas para árboles volteados se resumen en el cuadro 13, denotándose la escala de medición. Para ordenar la toma de datos en el campo se desarrolló un formulario, el cual se presenta en el anexo 3

Con los datos obtenidos de volumen por árbol y tomando en cuenta el Dap, se calculó el coeficiente de forma (CF) para ambas especies bajo estudio.

El volumen del penúltimo anillo de crecimiento se obtuvo a partir de la siguiente fórmula:

$$V_{apnt} = A_{pnt} * L_{total} * CF$$

Referencias

V_{apnt} = Volumen total del penúltimo anillo de crecimiento

A_{pnt} = Área del penúltimo anillo de crecimiento al Dap (cm²)

L_{total} = Largo total del árbol (m)

CF = Coeficiente de forma.

Cuadro 13 Variables tomadas de árboles volteados

Variable	Escala de medición	Cómo se obtuvo
Largo total	metros	Se midió con una cinta métrica desde la base del tocón hasta la punta del árbol.
Largo de copa viva	metros	Se midió con una cinta métrica desde la base de la copa viva (O'hara y Valappil 1995) a la punta del árbol.
Largo a la BCV	metros	Se midió con una cinta métrica desde la base del tocón hasta la base de la copa viva.
Peso del follaje	Kilogramos	Se colectaron todas las hojas verdes y activas, evitando las amarillas y viejas, luego se acomodaron en un recipiente (saco), para luego pesarlas con una balanza de 0,5 kg de precisión.
Diámetro total sin corteza y diámetro del duramen de cada rodaja extraída	Cm	Además de Dap y BCV, a cada sección transversal extraída (rodaja o galleta) se midió trazando dos diámetros, tanto para el total como para el duramen, para luego obtener las <i>g</i> respectivas, y por sustracción se obtuvo el área de albura.
Área de albura a la AP.	cm ²	$g_{\text{Albura}} = g_{\text{Total}} - g_{\text{Duramen}}$ (Figura 12)
Área a la BCV	cm ²	$g_{\text{Albura}} = g_{\text{Total}} - g_{\text{Duramen}}$ (Figura 12)
Área del penúltimo anillo de crecimiento	cm ²	Área al borde externo del penúltimo anillo menos el área al borde interno del anillo (Figura 12)
Espesor del penúltimo anillo de crecimiento a la AP.	cm (con un decimal)	Se trazaron dos diámetros, y se midieron, uno al borde externo del anillo y el otro al borde interno del mismo, luego por sustracción y promedio posterior de los dos datos, se obtuvo el espesor.

3.9 Análisis de la información

Con el objetivo de determinar las relaciones entre la albura y biomasa del follaje en árboles de *G. arborea* Roxb. y *T. grandis* L., se desarrollaron modelos (ecuaciones) simples y múltiples de predicción para el peso del follaje en kilogramos y el volumen de albura en m³. Ello permitió evaluar hasta qué grado la TMV aplica en estas especies en las relaciones con área basal de la albura (cm²) al Dap y área de albura (cm²) a la base de la copa viva. Así también, se desarrollaron ecuaciones de predicción para estimar la biomasa del follaje (kg) y volumen de albura (m³) a partir del área de albura (cm²) al Dap y base de la copa viva, y con el área (cm²) del penúltimo anillo de crecimiento al Dap. El desarrollo de los modelos tanto para *T. grandis* L., como para *G. arborea*

Roxb., se basó en los datos provenientes de árboles individuales *sin raleo (competencia extrema)*, *con manejo* (bajo competencia *menor y fuerte*) y árboles en *libre crecimiento*

Para definir las mejores relaciones de predicción para el peso de follaje (kg) y volumen de albura (m³), se preseleccionaron 20 modelos simples (Cuadro 14), que luego se redujo a 10. Los modelos descartados fueron los que pasan por el origen, debido a que es mejor probar primero si el intercepto es significativo o no ($P < 0.05$), para así, decidir si se debe probar el modelo ajustado por el origen. En esta investigación, todos los modelos probados fueron con intercepto estadísticamente significativo ($P < 0.05$)

Cuadro 14 Modelos preseleccionados para la predicción del peso de follaje (kg) y volumen de albura (m³)

Ns	Modelo	Ns	Modelo
1	$y = a + b x$	11	$y^{1/2} = a + b x$
2	$y = b x$	12	$y^{1/2} = b x$
3	$y = a + b (\text{Ln } x)$	13	$y^{1/2} = a + b x^{1/2}$
4	$y = b (\text{Ln } x)$	14	$y^{1/2} = b x^{1/2}$
5	$\text{Ln } y = a + b x$	15	$y = a + b x^{-1}$
6	$\text{Ln } y = b x$	16	$y = b x^{-1}$
7	$\text{Ln } y = a + b (\text{Ln } x)$	17	$y^{-1} = a + b x$
8	$\text{Ln } y = b (\text{Ln } x)$	18	$y^{-1} = b x$
9	$y = a + b x^{1/2}$	19	$y^{-1} = a + b x^{-1}$
10	$y = b x^{1/2}$	20	$y^{-1} = b x^{-1}$

Referencias

a = intercepto

b = pendiente

Ln = Logaritmo natural

En orden de los objetivos planteados en este documento, primero se plotearon los datos de las diferentes variables para observar las relaciones y tendencias, y definir así los análisis a ejecutarse

Para ambas especies (*T. grandis* L. y *G. arborea* Roxb.), se desarrollaron modelos lineales para predecir el peso del follaje (kg) y el volumen de albura (m³), a partir del área (cm²) de albura al Dap, área de albura (cm²) a la base de la copa viva y área del penúltimo anillo (cm²) de crecimiento al Dap, así como la predicción de volumen de albura (m³) a partir del área de albura (cm²) al Dap y peso del follaje (kg). Los modelos probados se muestran en el cuadro 15.

Cuadro 15 Modelos simples probados para predecir peso de follaje (kg) y volumen de albura (m³)

Ns	Modelo	Ns	Modelo
1	$y = a + b x$	6	$y^{1/2} = a + b x^{1/2}$
2	$\text{Ln } y = a + b x$	7	$y = a + b x^{1/2}$
3	$\text{Ln } y = a + b (\text{Ln } x)$	8	$y = a + b x^{-1}$
4	$y = a + b (\text{Ln } x)$	9	$y^{-1} = a + b x^{-1}$
5	$y^{1/3} = a + b x$	10	$y^{-1} = a + b x$

Referencias

a = intercepto

b = pendiente

Ln = Logaritmo natural

Después de haber desarrollado los modelos simples se procedió a trabajar con modelos de regresión múltiple, para predecir el peso del follaje (kg) y volumen de albura (m³). Antes de efectuar estos análisis se desarrolló una matriz de correlación con todas las variables medidas (ver anexos), para seleccionar aquellas de menor correlación e incluirlas en el modelo múltiple, aplicando el *principio de parsimonia*, el cual enuncia que un modelo se debe mantener tan simple como sea posible (Gujarati 1993). Los modelos probados se muestran en el cuadro 16. Se probaron modelos sin intercepto cuando éste no fue significativo ($P < 0.05$)

Cuadro 16 Modelos múltiples probados para predecir peso de follaje (kg) y volumen de albura (m³)

Ns	Modelo
1	$y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_n X_n$
2	$y = \beta_0 + \beta_1 \text{Ln} X_1 + \dots + \beta_n \text{Ln} X_n$
3	$\text{Ln } y = \beta_0 + \beta_1 \text{Ln} X_1 + \dots + \beta_n \text{Ln} X_n$
4	$\text{Ln } y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_n X_n$
5	$y^{1/2} = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_n X_n$
6	$y^{1/2} = \beta_0 + \beta_1 X_1^{1/2} + \dots + \beta_n X_n^{1/2}$
7	$y = \beta_0 + \beta_1 X_1^{1/2} + \dots + \beta_n X_n^{1/2}$

Referencia

β_0 = intercepto

β_n = cambio esperado para X_n

Ln = Logaritmo natural

3.10 Criterios tomados en cuenta para la selección de modelos

El mejor modelo se seleccionó con base en varias estadísticas: R^2 más alto, CME (más bajo), Índice de Furnival $(IF)^2$ más bajo, análisis de residuos e histograma de residuos estandarizados (student). Dentro de un mismo modelo, los puntos fugados (outliers) y contrapesos (leverage) se examinaron y se priorizó su permanencia ó eliminación. Además se examinó el cambio de pendiente de la ecuación al eliminar puntos contrapesos. Si el cambio de pendiente (\pm) no era mayor del 10%, se optó por mantener el(los) punto(s) contrapeso(s) dentro del modelo.

² $IF = CME * e^{[(\sum \text{Log}_e f'(y^{-1}))/n]}$ (Furnival 1961)

CME= Cuadrado medio del error / error típico / desviación estándar

$(\sum \text{Log}_e f'(y^{-1}))/n =$ Sumatoria del logaritmo de base e de la función derivada inversa de “ y ” sobre n .

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Relaciones en *Tectona grandis* L.

4.1.1 Relación entre el peso del follaje (kg) y el área de albura al Dap (cm²) en *T. grandis* L.

Parte de los objetivos de la presente investigación, es demostrar si la TMV aplica. En este caso se evaluó la relación que existe entre el peso del follaje y el área de albura al Dap.

Cuadro 17 Mejores modelos probados de la relación entre peso de follaje en kg (y) y área de albura al Dap en cm² (x) en *T. grandis* L.

Ns	Modelo	β_0	β_1	R ²	S	IF
1	$y = -78.516 + 22.973 (\ln x)$	**	**	0.628	6.732	6.732
2	$y = 52.386 - 2425.976 x^{-1}$	**	**	0.528	7.129	7.129
3	$y = -18.024 + 4.427 x^{1/2}$	**	*	0.512	6.548	6.548
4	$\ln y = -2.375 + 1.211 (\ln x)$	**	**	0.796	0.258	6.381
5	$\ln y = 2.217 + 0.010 x$	**	**	0.440	0.301	7.445
6	$y^{1/2} = 2.393 + 0.026 x$	**	**	0.751	0.740	7.360

Referencias

R² = Coeficiente de determinación

S = Desviación estándar ó cuadrado medio del error (CME) ó error típico

IF = Índice de Furnival

β_0 = Intercepto

β_1 = Pendiente

** = Altamente significativo (P < 0.01)

* = Significativo (P < 0.05)

Con base en el cuadro anterior se seleccionó el modelo cuarto como el mejor, por tener el R² mas alto (79.6%) y el Índice de Furnival más bajo. El modelo seleccionado es el siguiente:

$$\ln P_{\text{follaje}} = -2.375 + 1.211 (\ln A_{\text{adap}}) \dots\dots\dots (4.1)$$

Ln = Logaritmo natural.

P_{follaje} = Peso del follaje en kilogramos

A_{adap} = Area de albura en cm² al Dap

Cuadro 18 Resumen de las estadísticas de regresión del modelo (4.1)

Resumen

Estadísticas de la regresión

Coefficiente de correlación múltiple	0.892
Coefficiente de determinación R^2	0.796
R^2 ajustado	0.79
Error típico	0.258
Observaciones	38

ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	9.329670152	9.329670152	140.181156	5.67144E-14
Residuos	36	2.395957746	0.066554382		
Total	37	11.7256279			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad
Intercepción	-2.375324203	0.4725651	-5.026448639	1.3857E-05
AADAPLOG	1.211312928	0.102308457	11.83981231	5.6714E-14

Con este modelo se confirma que en *T. grandis* L., existe una relación lineal entre el área de albura al Dap (cm^2) con el peso del follaje (kg) y que aplica a la Teoría del Modelo Vascular (TMV) desarrollada por Shinozaki *et. al.* (1964). En la figura 13 se presenta la curva de regresión ajustada para el logaritmo natural del peso del follaje (Pflog) observado y pronosticado.

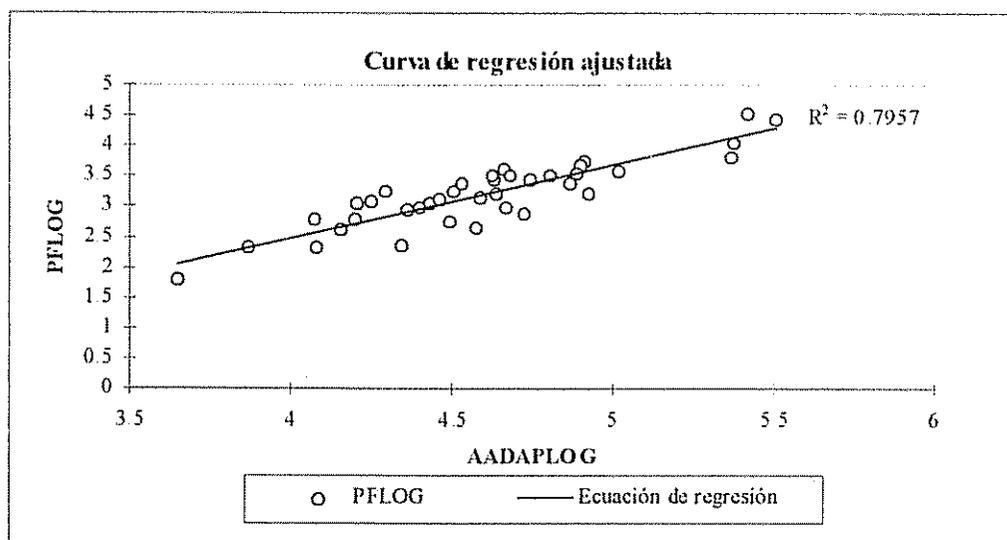


Figura 13 Curva de regresión ajustada para el logaritmo natural del peso del follaje (kg) del modelo (4.1).

Este modelo (4.1) indica que el 79.6% de los cambios en el peso del follaje en kilogramos, se explica por la variación en el área de albura al Dap (cm^2) ($P < 0.01$). El modelo presenta una

buena distribución de residuos estandarizados, los cuales se muestran en la figura 1a del anexo 1. El histograma de los residuos estandarizados (figura 2a del anexo 1) tiene un leve sesgo hacia al lado positivo, pero su acercamiento a una distribución normal es aceptable. No se comprobó si el modelo (4.1) se aplica en árboles de *libre crecimiento*, debido a que los mismos presentaron en el análisis de residuos valores arriba de tres desviaciones estandar en la regresión, debiendo ser excluidos del modelo

4.1.2 Relación entre el peso del follaje (kg) y el área de albura a la base de la copa viva (cm²) en *T. grandis* L.

Estudios realizados por Robichaud y Methven (1992), revelaron que el área de albura a la base de la copa viva es mas exacta que el área de albura al Dap, para la predicción del área foliar. El área foliar y peso de follaje mantienen una relación homeostática (Kaufman y Troendle 1981), por lo que en este estudio se utilizará peso foliar en vez de área foliar que no se midió. Se determinó que entre peso de follaje en kilogramos y área foliar existe una correlación de 0.798

Al igual que la relación anterior (sección 4.1.1), se plotearon los modelos, se probaron varios de ellos, y se preseleccionaron aquellos que mantuvieron un tendencia lineal y cuyos parámetros fueron significativos ($P < 0.01$; $P < 0.05$). Los modelos que calificaron para ser probados se muestran en el cuadro 19

Cuadro 19 Modelos probados para el peso del follaje (kg) con el área de albura a la base de la copa viva (cm²) en *T. grandis* L.

Ns	Modelo	β_0	β_1	R ²	S	IF
1	$Ln y = 2.138 + 0.014 x$	**	**	0.660	0.277	6.851
2	$y = -63.401 + 21.027 (Ln x)$	**	**	0.662	6.210	6.210
3	$y = -16.693 + 4.993 x^{1/2}$	**	**	0.718	5.862	5.862

R² = Coeficiente de determinación

S = Desviación estándar ó cuadrado medio del error (CME) ó. error típico

IF = Índice de Furnival

β_0 = Intercepto

β_1 = Pendiente

** = Altamente significativo ($P < 0.01$)

El tercer modelo del cuadro anterior es el que mejor se ajusta a la relación entre el peso del follaje ($P_{follaje}$) con la raíz cuadrada del área de albura (A_{abcv}). El modelo es:

$$P_{follaje} = -16.693 + 4.993 A_{abcv}^{1/2} \quad (4.2)$$

$P_{follaje}$ = Peso del follaje en kilogramos

A_{abcv} = Área de la albura a la base de la copa viva ($A_{abcvsqr}$ en el cuadro ...)

Cuadro 20 Resumen de las estadísticas de regresión del modelo (4.2)

Resumen

Estadísticas de la regresión

Coefficiente de correlación múltiple	0.847
Coefficiente de determinación R^2	0.718
R^2 ajustado	0.710
Error típico	5.862
Observaciones	38

ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	3149.471984	3149.471984	91.65071615	1.96498E-11
Residuos	36	1237.098805	34.3638557		
Total	37	4386.570789			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad
Intercepción	-16.69338573	4.512794046	-3.699124213	0.000718052
$A_{abcvsqr}$	4.992789351	0.521525216	9.573438053	1.96498E-11

La relación linear existente entre el área de albura a la base de la copa viva y el peso del follaje, es altamente significativa ($P < 0.01$). Esto confirma la TMV planteada por Shinozaki *et. al.* (1964), aplica en este modelo (4.2).

En el modelo seleccionado, 71.8% de la variación del peso del follaje en kilogramos es explicada por el área de albura a la base de la copa viva ($P < 0.01$). La figura 14 muestra el ajuste del modelo con respecto a los pesos observados.

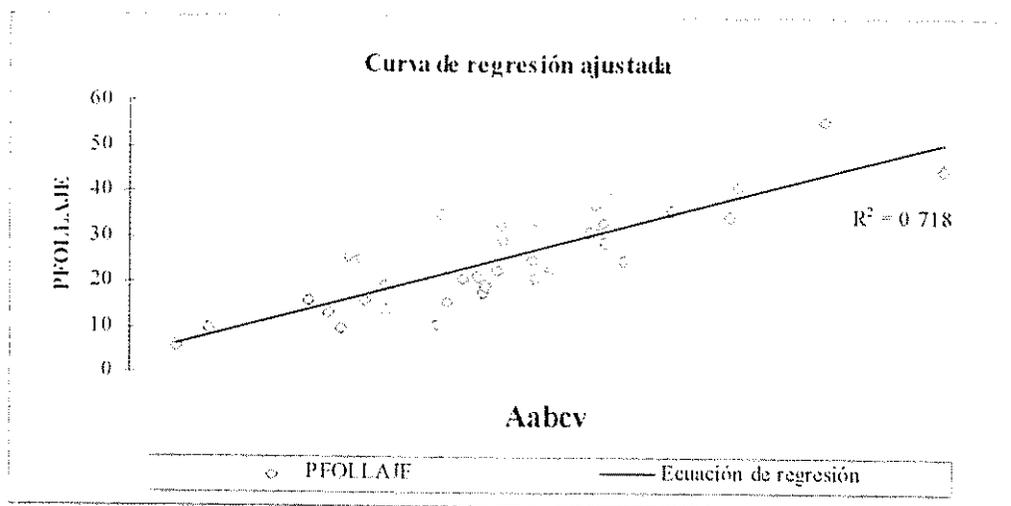


Figura 14 Curva de regresión ajustada del modelo 4.2

La figura 3a del anexo 1 muestra la dispersión de los residuos de la regresión. Esta figura confirma conjuntamente con el histograma de los residuos estandarizados (figura 4a del anexo 1) una distribución normal de los mismos.

En varios estudios previos, este modelo ha explicado mejor la relación entre peso de follaje y área de albura al Dap, ya que, la base de la copa viva por lo general coincide con el punto donde la madera del árbol es pura albura. Sin embargo, en el caso de *T. grandis* L., a veces fue difícil definir con precisión la base de la copa viva. Son comunes brotes epicórmicos y ramas laterales raquílicas y su presencia dificultó la determinación exacta de la base de la copa viva para esta especie. Galloway³ indica que estos brotes epicórmicos y ramas laterales raquílicas aunque contribuyen al follaje activo del árbol, aportan pocos carbohidratos.

Esta relación demostró que, para *T. grandis* L., el área de albura a la base de la copa viva es menos consistente que el área de albura al Dap, para predecir el peso de follaje en kilogramos. No se comprobó si el modelo (4.2) aplica en árboles de *libre crecimiento*.

³ Galloway (1996), en comunicación personal sugiere esta explicación sobre los brotes epicórmicos y ramas laterales raquílicas.

4.1.3 Relación entre el peso de follaje (kg) y el área del penúltimo anillo de crecimiento al Dap (cm^2) en *T. grandis* L.

Una de las primeras manifestaciones de competencia entre árboles en un rodal, es una reducción en su crecimiento en diámetro. Cuando se realiza un raleo tardío de una plantación, se espera lograr un aumento o “*respuesta*” en el crecimiento en diámetro, una vez que el follaje de los árboles se extiende para ocupar el espacio dejado después del raleo. Por eso, se probó la relación entre el área (cm^2) del penúltimo anillo de crecimiento al Dap y el peso de follaje (kg), para ver hasta donde el penúltimo anillo se podría utilizar como indicador de la capacidad de un árbol de responder a un raleo en términos de incremento diametral al Dap

El cuadro 21 muestra los mejores modelos probados para esta relación

Cuadro 21 Mejores modelos probados para la relación entre el peso del follaje (kg) (y) con el área del penúltimo anillo de crecimiento al Dap (cm^2) (x) en *T. grandis* L.

Ns	Modelo	β_0	β_1	R^2	S	IF
1	$y = 11.221 + 0.432 x$	**	**	0.555	6.607	6.607
2	$\text{Ln } y = 2.504 + 0.021 x$	**	**	0.640	0.303	6.613
3	$\text{Ln } y = 0.888 + 0.688 (\text{Ln } x)$	**	**	0.686	0.313	7.742
4	$y = -24.534 + 14.992 (\text{Ln } x)$	**	**	0.631	6.489	6.489
5	$y^{1/2} = 3.458 + 0.045 x$	**	**	0.546	0.702	6.671
6	$y^{1/2} = 2.029 + 0.527 x^{1/2}$	**	**	0.603	0.656	6.234

Referencias.

R^2 = Coeficiente de determinación

S = Desviación estándar ó cuadrado medio del error (CME) ó, error típico

IF = Índice de Furnival

β_0 = Intercepto

β_1 = Pendiente

** = Altamente significativo ($P < 0.01$)

En este caso, se eligió el tercer modelo del cuadro anterior. Dicho modelo tiene el R^2 mas alto y la mejor distribución de residuos (figuras 5a y 6a del anexo 1). Todos los valores del Índice de Furnival son similares.

El modelo es:

$$\ln P_{\text{follaje}} = 0.888 + 0.688 (\ln A_{\text{pntani}}) \quad (4.3)$$

Ln = Logaritmo natural

P_{follaje} = Peso del follaje en kilogramos

A_{pntani} = Área del penúltimo anillo en cm² al Dap.

En el cuadro 22 se presenta un resumen de las estadísticas del modelo seleccionado para la relación entre el logaritmo natural del peso del follaje en kilogramos (*P_{flog}*) y el logaritmo natural del área (cm²) del penúltimo anillo de crecimiento al Dap (*A_{pntlog}*)

Cuadro 22 Resumen de las estadísticas de regresión del modelo (4.3)

Resumen

Estadísticas de la regresión						
Coefficiente de correlación múltiple	0.828					
Coefficiente de determinación R ²	0.686					
R ² ajustado	0.677					
Error típico	0.313					
Observaciones	40					
ANÁLISIS DE VARIANZA						
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F	
Regresión	1	8.129551269	8.129551269	82.97220116	4.27647E-11	
Residuos	38	3.723210231	0.097979217			
Total	39	11.8527615				
	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad		
Intercepción	0.887767001	0.25950883	3.420951033	0.001505567		
APNTLOG	0.68835165	0.075569065	9.108907792	4.27647E-11		

La curva de regresión ajustada que se muestra en la figura 15, evidencia que existe una proporcionalidad entre cada unidad de área (cm²) del penúltimo anillo de crecimiento al Dap con el peso del follaje (kg)

Esta relación indica que es posible predecir la cantidad de peso (kg) a partir del área del penúltimo anillo de crecimiento al Dap. El peso de follaje (kg) se midió cuando aun el período de crecimiento de esta especie no había terminado, sin embargo, la relación indica que el 68.6% de la

variación en el peso del follaje (kg) se explica por los cambios en el área (cm²) del penúltimo anillo de crecimiento al Dap. Cabe señalar que el follaje tiene un periodo de crecimiento y desarrollo determinado, y posteriormente no crece sino que solamente fotosintetiza. Se observa que después de la floración (en agosto), los ápices terminales y de ramas laterales no producen yemas foliares, cesando así el crecimiento del follaje. Por lo tanto, el mejor momento para efectuar futuros estudios de esta relación, sería en el mes de agosto cuando el follaje de *T. grandis* L., alcanza su máxima expresión

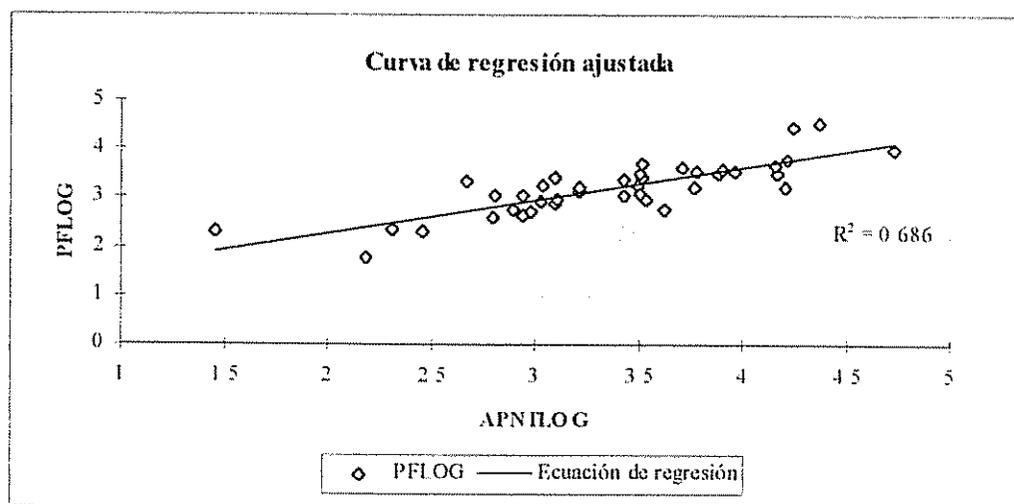


Figura 15 Curva de regresión ajustada del modelo (4.3)

Esta relación, da una idea clara de cuanto área basal, un árbol, agregará en el siguiente periodo de crecimiento, sin embargo, para definir ello, con mayor precisión, habría que generar datos durante varios años.

El modelo (4.3) incluye datos de árboles individuales *sin raleo (competencia extrema)*, con *manejo* (bajo *competencia menor y fuerte*) y de *libre crecimiento*

4.1.4 Relación entre el peso de follaje (kg) y el volumen del penúltimo anillo de crecimiento (m³) en *T. grandis* L.

El modelo anterior (4.3) determina que existe una relación lineal entre el peso del follaje (kg) y el área del penúltimo anillo al Dap (cm²), el cual modela el último incremento producido en un período completo de crecimiento determinado con el peso de follaje actual. Se decidió analizar la relación entre el peso del follaje (kg) y el volumen total (m³) del penúltimo anillo, ya que se consideró que el volumen del penúltimo anillo representa en mejor forma este incremento volumétrico, ya que considera en sí la altura del árbol, y al igual que el modelo (4.3) dicho volumen es producido en el último período de crecimiento completo. Para el cálculo del volumen del penúltimo anillo se consideró un coeficiente mórfoico (CM) de 0.486 en Teca (*T. grandis* L.) calculado a partir de los árboles muestreados. A partir del área de albura al Dap (cm²), largo total (m) y el CM, se calculó el volumen del penúltimo anillo de crecimiento (m³). En el cuadro 23 se muestran los mejores modelos probados para esta relación.

Cuadro 23 Mejores modelos probados para la relación entre el peso de follaje (kg) (*Pfollaje*) con el volumen total del penúltimo anillo de crecimiento (m³) (*Vpnt*) en *T. grandis* L.

Ns	Modelo	β_0	β_1	R ²	S	IF
1	$y = 8.588 + 650.337 x$	**	**	0.680	5.601	5.601
2	$\ln y = 2.474 + 26.837 x$	**	**	0.643	0.246	0.021
3	$\ln y = 5.893 + 0.716 (\ln x)$	**	**	0.791	0.255	0.022
4	$y = 83.848 + 15.368 (\ln x)$	**	**	0.691	5.932	5.932
5	$y^{1/2} = 3.179 + 68.075 x$	**	**	0.673	0.596	0.342
6	$y^{1/2} = 1.694 + 20.868 (x^{1/2})$	**	**	0.710	0.561	0.322

R² = Coeficiente de determinación

S = Desviación estándar ó cuadrado medio del error (CME) ó error típico

IF = Índice de Furnival

β_0 = Intercepto

β_1 = Pendiente

** = Altamente significativo (P < 0.01)

El mejor modelo del cuadro anterior, es el tercero, el cual es:

$$\ln Pfollaje = 5.893 + 0.716 (\ln Vpnt) \dots \dots \dots (4.4)$$

Cuadro 24 Resumen de las estadísticas del modelo (4 4)

Resumen

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0.889
Coefficiente de determinación R ²	0.791
R ² ajustado	0.786
Error típico	0.255
Observaciones	40

ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	9.37642652	9.37642652	143.8836872	1.7261E-14
Residuos	38	2.47633498	0.06516671		
Total	39	11.8527615			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad
Intercepción	5.89302159	0.227434015	25.91090695	9.32781E-26
VAPNTLOG	0.715730473	0.059668309	11.99515266	1.7261E-14

El modelo (4 4) indica que, el 79.1% de los cambios en el peso del follaje (kg) se pueden explicar por la variación en volumen (m³) del penúltimo anillo de crecimiento. Lo anterior evidencia tendencias fuertes como para plantear una *hipótesis*, la cual sugiere que *el follaje en peso (kg) producido actualmente es muy similar al que fue producido en el penúltimo periodo de crecimiento, para T. grandis L.* Ello es clave para entender que el máximo de follaje producido fue al momento de muestrearlos (primeras dos semanas de agosto).

Esta relación demuestra que el follaje en peso (kg) actual, está relacionada con el volumen de madera producido en el penúltimo periodo de crecimiento para esta especie. Esto quiere decir que si dejamos que la plantación continúe el mismo ritmo de crecimiento sin ningún tipo de manejo y con un mismo tamaño de copa (peso de follaje), en el próximo periodo producirá un volumen similar de madera y logrará un incremento parecido en área basal, pero el espesor del nuevo anillo de crecimiento será menor. Una parte cada vez mayor de los carbohidratos producidos por el follaje, tendrá que cubrir las demandas de respiración del tejido producido en el último periodo, por lo que el incremento diametral se afectará negativamente. Otro factor que incidirá en la reducción en el incremento en diámetro relaciona con la demanda que tendrá el árbol para abastecer sus necesidades de energía (respiración). Por el contrario si se aumenta el espacio para

crecer de la plantación, ello implicaría un aumento en la cantidad de follaje, aumentando por ende, el suministro de carbohidratos.

El modelo (4.4) se generó con datos provenientes de árboles individuales *sin raleo* (competencia extrema), con manejo (bajo competencia menor y fuerte) y de libre crecimiento

La figura 16 muestra la curva ajustada para el modelo (4.4) y las figuras 7a y 8a del anexo 1 muestran la distribución de los residuos y el histograma de distribución de los residuos estandarizados

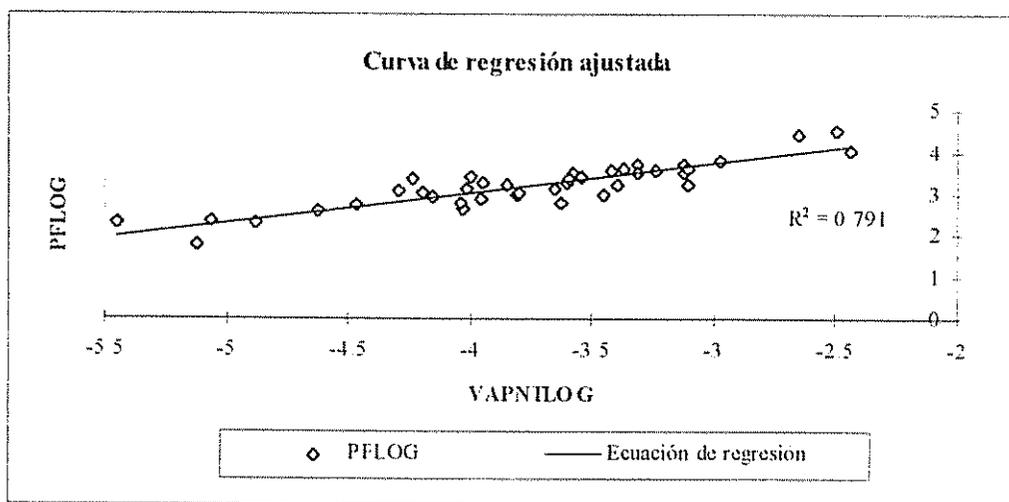


Figura 16 Curva de regresión ajustada del modelo (4.4)

4.1.5 Relación entre el volumen de albura (m^3) y el área de albura al Dap (cm^2) en *T. grandis* L.

Esta relación permite conocer cuanto volumen de albura existe a partir del área del mismo tejido a la altura del pecho (A_p). Por lo tanto, haciendo mediciones anuales, puede llegar a estimarse cuanto volumen de albura un árbol se agrega con una medición del área de albura incrementada al A_p .

El volumen de albura que tendría que producir un árbol para crecer por centímetro en diámetro, depende de su diámetro antes del incremento y de su altura. Una producción de mayor volumen de albura exigiría substancialmente mayor cantidad de carbohidratos de fotosíntesis, y por ende, el

incremento del volumen de albura debería relacionarse estrechamente con la biomasa de follaje. Los mejores modelos probados para esta relación se presentan en el cuadro 25.

Cuadro 25 Mejores modelos probados para la relación entre el volumen de albura en m^3 (y) y el área de albura en cm^2 al Dap (x) en *T. grandis* L

Ns	Modelo	β_0	β_1	R^2	S	IF
1	$Ln y = -3.383 + 0.009 x$	**	**	0.546	0.244	0.019
2	$Ln y = -6.380 + 0.863 (Ln x)$	**	**	0.717	0.231	0.020
3	$y = -0.196 + 0.063 (Ln x)$	**	**	0.621	0.019	0.019
4	$y^{1/2} = 0.170 + 0.001 x$	**	**	0.542	0.034	0.019
5	$y = -0.047 + 0.014 x^{1/2}$	**	**	0.544	0.019	0.019

R^2 = Coeficiente de determinación

S = Desviación estándar ó cuadrado medio del error (CME) ó error típico

IF = Índice de Furnival

β_0 = Intercepto

β_1 = Pendiente

** = Altamente significativo ($P < 0.01$)

* = Significativo ($P < 0.05$)

El modelo de mejor ajuste fue el segundo del cuadro anterior, el cual se presenta a continuación:

$$Ln Valbura = -6.380 + 0.863 (Ln Aadap) \dots \dots (4.5)$$

Ln = Logaritmo natural

Valbura = Volumen de albura en m^3

Aadap = Área de albura en cm^2 al Dap

En el cuadro 26 se presenta un resumen de las estadísticas del modelo (4.5):

Cuadro 26 Resumen de las estadísticas de regresión del modelo (4.5)

Resumen

Estadísticas de la regresión

Coef. de correlación múltiple	0.846
Coef. de determinación R^2	0.717
R^2 ajustado	0.709
Error típico	0.231
Observaciones	40

ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	5.118555529	5.118555529	96.11635903	5.90299E-12
Residuos	38	2.023642095	0.053253739		
Total	39	7.142197624			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad
Intercepción	-6.379662856	0.404274907	-15.78050663	2.84327E-18
Aadaplog	0.862570335	0.087982412	9.803895095	5.90299E-12

Este modelo es similar a los que se desarrollan para tablas de volumen. Mas adelante se logra una mejor predicción del volumen de albura con el uso de una regresión múltiple. En el caso de este modelo, ambas variables son difíciles de medir, ya que para ello se necesita tumbar el árbol. Se encontró que existe una relación estrecha entre el área de albura y el volumen del mismo (cabe recordar que el volumen es una función de área por altura), donde el 71.7% de la variación del volumen total de albura es explicado por los cambios en área de albura en cm^2 al Dap. Esto, explica que, por cada unidad de área de albura en cm^2 , corresponde una unidad volumétrica en m^3 del mismo tejido.

Si ya conocemos que el penúltimo anillo de crecimiento al Dap predice linealmente el peso del follaje (kg), entonces, podemos conocer cuanto volumen de albura fue agregado con ese anillo. Por lo tanto, cierto peso de follaje estará relacionado con un cierto volumen de albura agregado. En la figura 17 se muestra la curva ajustada del modelo, así como en las figuras 9a y 10a del anexo 1 se presenta la distribución de residuos estandarizados y un histograma de normalidad de los mismos. El modelo (4.5) incorporó datos de árboles individuales *sin raleo* (competencia extrema), *con manejo* (bajo competencia menor y fuerte) y de *libre crecimiento*.

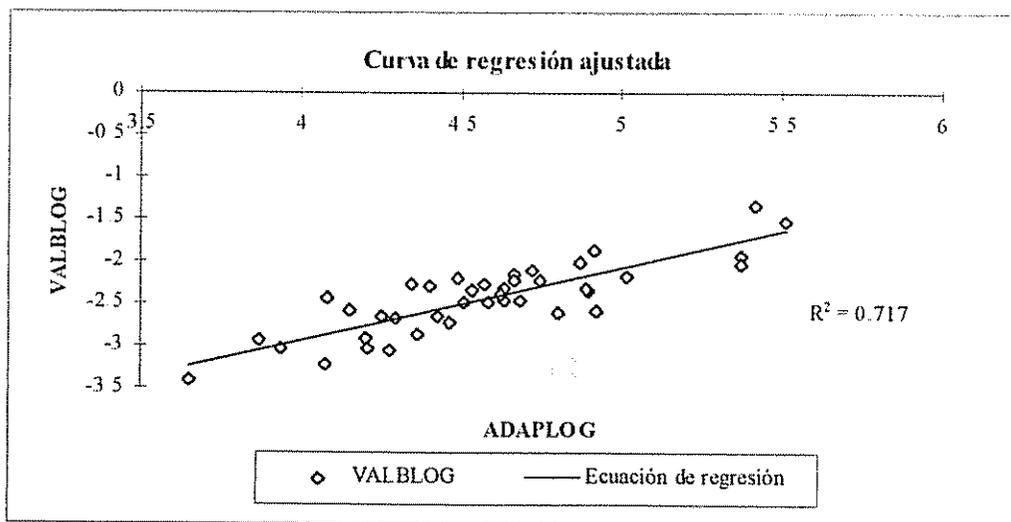


Figura 17 Curva de regresión ajustada para el logaritmo natural del volumen de albura (m^3) del modelo (4.5)

4.1.6 Relación entre el volumen de albura (m^3) y el peso de follaje (kg) en *T. grandis* L.

Esta es una de las relaciones de mayor interés para el presente estudio; sin embargo, al hacer el ploteo con diferentes modelos se observó que dichas relaciones no fueron fuertes, si no mas bien débiles. Se pensaba que iba a haber una relación más estrecha entre el volumen de la albura y peso de follaje, por la simple razón que el volumen abarca el área de poros para transportar el agua al follaje, y además, la longitud de los mismos. Para producir la misma area basal de albura un árbol más alto tendría que invertir mas carbohidratos, pues el volumen de la albura sería mayor, ya que no es lo mismo la inversión de carbohidratos en un crecimiento longitudinal (altura) que la inversión para producir un nuevo poro (desde la raíz hasta las hojas) (diámetro). En el desarrollo de este modelo una regresión sin eliminar punto fugados (outliers) y contrapesos (leverage); aunque los parámetros, estimados por los modelos seleccionados fueron altamente significativos ($P < 0.01$), el grado de asociación entre las variables no fue mayor de 0.538 y su R^2 no mayor de 0.29 (Cuadro 27)

Cuadro 27 Modelos probados para la relación entre el volumen de albura en m^3 y el peso el follaje en kilogramos, para *T. grandis* L.

Ns	Modelo	β_0	β_1	R	R^2
1	$y = 0.052 + 0.001 x$	**	**	0.528	0.279
2	$\ln y = -2.92 + 0.017 x$	**	**	0.503	0.253
3	$\ln y = -3.695 + 0.385 (\ln x)$	**	**	0.497	0.247
4	$y^{1/2} = 0.231 + 0.002 x$	**	**	0.517	0.267
5	$y^{1/2} = 0.176 + 0.024 y^{1/2}$	**	**	0.507	0.257
6	$y^{-1} = 7.988 + 99.97 x^{-1}$	**	**	0.538	0.290
7	$y^{-1} = 18.738 + 0.23 x$	**	**	0.470	0.221

β_0 = Intercepto

β_1 = Pendiente

** = Altamente significativo ($P < 0.01$)

R = Coeficiente de correlación

R^2 = Coeficiente de determinación

Un aspecto que pudiera haber debilitado esta relación, fue el hecho de que la ubicación de la base de la copa *activa* fue muy difícil determinarla en el caso de *T. grandis* L. Es posible que mucho del follaje en las partes bajas del fuste, no tenga un aporte fotosintético significativo.

Observaciones en el campo, muestran que aquellas hojas que están bajo sombra de otras, presentan el haz “*opaco*”, y aquellas que se encuentran expuestas a la luz, presentan un haz “*brillante*”, lo cual podría analizarse como indicador del follaje activo en estudios posteriores

4.1.7 Otras relaciones en *T. grandis* L.

4.1.7.1 Relación entre el peso de follaje (kg) y el área a la base de la copa viva (m²) en *T. grandis* L.

Estudios en cercas vivas (Rose y Salazar 1983), mostraron que existe una fuerte relación entre el área a la base de la copa y la biomasa (incluye hojas y ramas). En este estudio se evaluó esta misma relación, con la diferencia que solamente se tomó la biomasa de follaje en peso (kg). Para *T. grandis* L., esta relación fue muy débil, con $R^2 < 0.35$. ($P < 0.05$) Esto demuestra que en cercas vivas, por el mismo hecho de ser podadas a cierta altura (dependiendo de los objetivos de la cerca viva), produce ramas y follaje que están directamente relacionadas con el área basal (m²) a la altura de la poda. La baja relación ($R^2 < 0.35$) calculada en el caso de *T. grandis* L., podría deberse a que solamente fue tomado el peso del follaje en kilogramos y no el peso de las ramas. Además, el área a la base de la copa viva incluye tejido muerto (duramen), lo cual no tiene relación con el tejido vivo cuantificado (follaje)

4.2 Relaciones en *Gmelina arborea* Roxb.

El follaje de los árboles de *G. arborea* Roxb., en las plantaciones de la zona de Hojancha alcanzan su máxima expresión hasta principios del mes de septiembre, según observaciones realizadas, siendo diferente que *T. grandis* L., el cual tenía desarrollado su follaje a finales del mes de julio. El follaje en *G. arborea* Roxb., está mejor definido que el de *T. grandis* L., ya que la base de la copa viva se diferencia claramente, pues no hay brotes epicórmicos y ramas raquílicas persistentes como en el caso de *T. grandis* L.

4.2.1 Relación entre el peso de follaje (kg) y el área de albura al Dap (cm²) en *G. arborea* Roxb.

La relación entre el peso del follaje en kilogramos (*Pfollaje*) con el área de albura en cm² al Dap (*Aadap*) es lineal, lo cual demuestra que aplica la TMV (Shinozaki *et. al.* 1964) Así que, en *G. arborea* Roxb., cada unidad de área de albura en cm² al Dap corresponde una unidad de peso de follaje (kg). En el cuadro 28 se muestran los mejores modelos probados para esta relación.

Cuadro 28 Mejores modelos probados para la relación entre el *Pfollaje* (*y*) y el *Aadap* (*x*) en *G. arborea* Roxb.

Ns	Modelo	β_0	β_1	R ²	S	IF
1	$y = -3.95 + 0.12 x$	**	**	0.923	4.260	4.260
2	$\ln y = 1.366 + 0.008 x$	**	**	0.716	0.291	4.489
3	$\ln y = -3.306 + 1.176 (\ln x)$	**	**	0.764	0.296	4.975
4	$y^{1/2} = 1.23 + 0.016 x$	**	**	0.765	0.543	4.287
5	$y^{1/2} = -1.318 + 0.411 x^{1/2}$	*	**	0.779	0.547	4.375
7	$y = -31.368 + 3.723 x^{1/2}$	**	**	0.848	5.951	5.951

R² = Coeficiente de determinación

S = Desviación estándar ó cuadrado medio del error (CME) ó error típico

IF = Índice de Furnival

β_0 = Intercepto

β_1 = Pendiente

** = Altamente significativo (P<0.01)

* = Significativo (P<0.05)

Del cuadro anterior, el primer modelo es el mejor, el cual fue seleccionado bajo los mismos criterios usados para seleccionar los modelos en *T. grandis* L. El modelo es el siguiente:

$$Pfollaje = -3.95 + 0.12 Aadap \dots\dots\dots (4.6)$$

Pfollaje = Peso del follaje en kilogramos

Aadap = Area de albura al Dap en cm²

El modelo (4.6) muestra que el 92.3% de los cambios en el peso del follaje en kilogramos, es explicado por la variación en el área de albura en cm² al Dap. En el cuadro 29 se muestra un resumen de las estadísticas de regresión para el modelo (4.6)

Cuadro 29 Estadísticas de regresión para el modelo (4.6)

Resumen

Estadísticas de la regresión

Coefficiente de correlación múltiple	0.961
Coefficiente de determinación R^2	0.923
R^2 ajustado	0.921
Error típico	4.260
Observaciones	36

ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	7430.572491	7430.572491	409.3879765	1.54579E-20
Residuos	34	617.1150088	18.15044143		
Total	35	8047.6875			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad
Intercepción	-3.949701791	1.417573055	-2.786242147	0.008658586
AADAP	0.120346938	0.005947953	20.23333824	1.54579E-20

Para *G. arborea* Roxb., esta relación es más consistente que la que se presentó en *T. grandis* L., ello debido, a que el follaje en *G. arborea* Roxb., está mejor definido en cuanto a la ubicación de la base de la copa viva. El tamaño y posición de las hojas permiten la entrada de luz a las hojas de ramas inferiores, lo cual permite que estas sí tengan un aporte fotosintético significativo en la producción de carbohidratos. *T. grandis* L., en contraste, las hojas grandes superiores sombrean mucho el follaje inferior. La figura 18 muestra la curva ajustada para la relación entre el peso del follaje en kilogramos con el área de albura en cm^2 al Dap. Las figuras 11a y 12a del anexo 1 muestran la distribución de los residuos estandarizados e histograma de los mismos. En el modelo (4.6) no se incluyó datos de árboles en *libre crecimiento*.

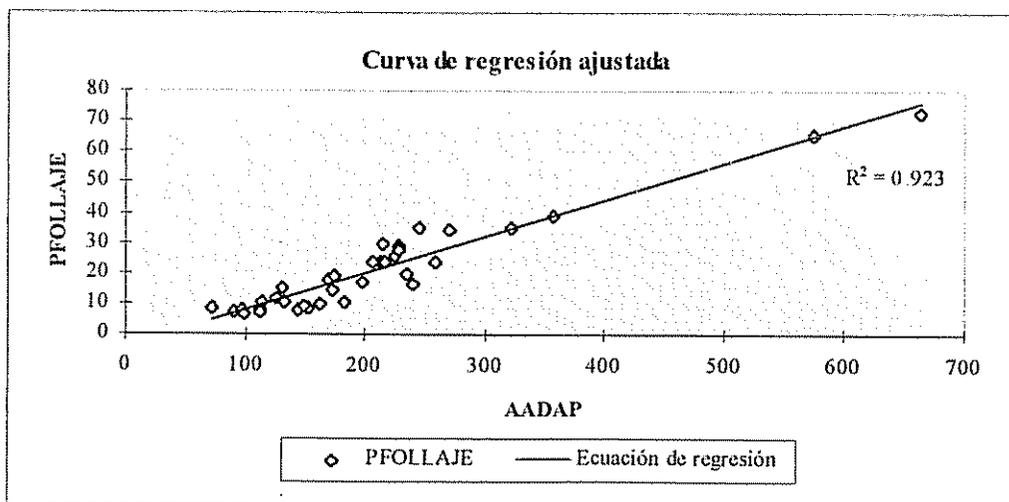


Figura 18 Curva de regresión ajustada para el modelo (4.6)

4.2.2 Relación entre el peso de follaje (kg) y el área de albura a la base de la copa viva (cm²) en *G. arborea* Roxb.

Esta relación se hizo para comparar su de ajuste con respecto al modelo (4.6), así también para probar la aplicación de la TMV

Los mejores modelos probados para esta relación se muestran en el cuadro 30.

Cuadro 30 Mejores modelos probados para la relación entre el *Pfollaje* (*y*) y el *Aabcv* (*x*) en *G. arborea* Roxb.

Ns	Modelo	β_0	β_1	R ²	S	IF
1	$\text{Ln } y = 1.602 + 0.015 x$	**	**	0.708	0.298	4.570
2	$\text{Ln } y = -1.668 + 1.042 (\text{Ln } x)$	**	**	0.793	0.292	5.032
3	$y = -62.093 + 18.935 (\text{Ln } x)$	**	**	0.716	5.497	5.497
4	$y^{1/2} = 1.695 + 0.032 x$	**	**	0.769	0.530	4.103
5	$y = -20.178 + 4.447 x^{1/2}$	**	**	0.788	4.648	4.648

R² = Coeficiente de determinación

S = Desviación estándar ó cuadrado medio del error (CME) ó error típico

IF = Índice de Furnival

β_0 = Intercepto

β_1 = Pendiente

** = Altamente significativo (P<0.01)

Con base en el R² se seleccionó el segundo modelo del cuadro anterior. Los IF para todos los modelos son muy similares. Además, este modelo (dos) contiene la totalidad de los datos, no así los demás, ya que se eliminaron algunos puntos fugados mayores a tres veces la desviación estándar

El modelo es el siguiente:

$$\text{Ln } Pfollaje = -1.668 + 1.042 (\text{Ln } Aabcv) \dots\dots\dots (4.7)$$

Ln = Logaritmo natural

Pfollaje = Peso del follaje en kilogramos

Aabcv = Area de albura a la base de la copa viva en cm²

Cuadro 31 Resumen de las estadísticas de regresión del modelo (4.7)

Resumen

Estadísticas de la regresión					
Coefficiente de correlación múltiple	0.890				
Coefficiente de determinación R ²	0.793				
R ² ajustado	0.787				
Error típico	0.292				
Observaciones	40				
ANÁLISIS DE VARIANZA					
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	12.44753979	12.44753979	145.9413302	1.392E-14
Residuos	38	3.241073049	0.085291396		
Total	39	15.68861284			
	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	
Intercepción	-1.667688621	0.376544548	-4.428927816	7.75859E-05	
ABCVLOG	1.041920986	0.086247325	12.08061796	1.392E-14	

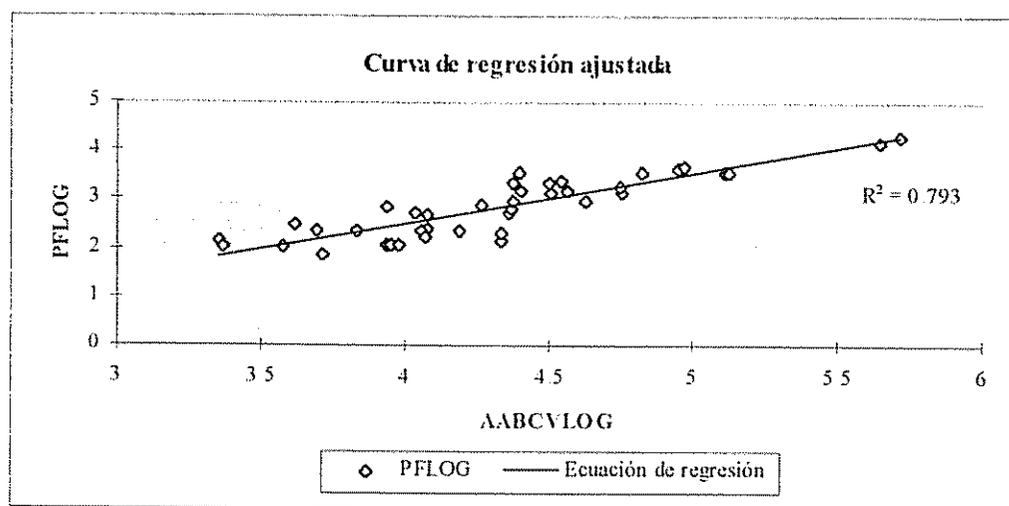


Figura 19 Curva de regresión ajustada para el modelo (4.7)

La curva de regresión ajustada, que se muestra en la figura 19 (anterior), se comprueba que la TMV aplica a esta relación, en la cual el 79.3% de los cambios en el peso del follaje en kilogramos, son explicados por la variación en el área de albura en cm² a la base de la copa viva.

Sin embargo, se demuestra que esta relación no es mas fuerte que la que se muestra en el modelo (4.7), lo cual es contrario a lo planteado por Robichaud y Methven (1992). Por lo tanto el área de albura en cm² al Dap es un mejor predictor del peso de follaje en kilogramos, que el área de

albura en cm^2 a la base de la copa viva en el caso de *G. arborea* Roxb., en Guanacaste. Las figuras 13a y 14a del anexo 1 muestran la distribución de los residuos estandarizados y el histograma de los mismos. En el modelo (4.7) se incorporan datos de árboles individuales *sin raleo (competencia extrema)*, *con manejo (bajo competencia menor y fuerte)*, y para árboles en *libre crecimiento*.

4.2.3 Relación entre el peso de follaje (kg) y el área del penúltimo anillo en al Dap (cm^2) en *G. arborea* Roxb.

Esta relación se hizo con el objetivo de determinar si el área del penúltimo anillo al Dap tiene alguna relación con el peso del follaje (kg). El cuadro 32 muestra los modelos probados. Todos tuvieron un coeficiente de correlación (R^2) menor de 0.48.

Cuadro 32 Modelos probados para la relación entre el peso del follaje en kilogramos (y) con el área del penúltimo anillo al Dap (x) en *G. arborea* Roxb.

Ns	Modelo	β_0	β_1	R^2
1	$\text{Ln } y = \beta_0 + \beta_1 x$	**	**	0.37
2	$y = \beta_0 + \beta_1 (\text{Ln } x)$	**	**	0.45
3	$y^{1/2} = \beta_0 + \beta_1 x$	**	**	0.47
4	$y^{1/2} = \beta_0 + \beta_1 x^{1/2}$	*	**	0.47

R^2 = Coeficiente de determinación

β_0 = Intercepto

β_1 = Pendiente

** = Altamente significativo ($P < 0.01$)

* = Significativo ($P < 0.05$)

NS = No significativo ($P < 0.01$; $P < 0.05$)

Los modelos tres y cuatro muestran que el 47% de la variación en el peso del follaje es explicado por los cambios en el área del penúltimo anillo en cm^2 al Dap. El R^2 presentado en estos modelos no es suficientemente fuerte para validarlos. Esto podría deberse a que el follaje en *G. arborea* Roxb., para finales de agosto no está en su máximo desarrollo, lo cual no permitió reflejar en forma más consistente esta relación. El mejor momento para muestrear el follaje en *G. arborea* Roxb., puede ser la primera y segunda semana de septiembre. El follaje de *G. arborea* Roxb., para este estudio fue recolectado entre la tercera y cuarta semana de agosto.

4.2.4 Relación entre el peso de follaje (kg) con el volumen del penúltimo anillo de crecimiento (m^3) en *G. arborea* Roxb.

Esta relación se realizó con el objetivo de comprobar si existía alguna relación fuerte entre el peso del follaje (kg) y el volumen del penúltimo anillo de crecimiento (m^3), debido a que, la relación anterior (4.2.3) fue débil para esta especie (*G. arborea* Roxb.). En el cuadro 33 se presentan los modelos probados para esta relación

Cuadro 33 Modelos probados para la relación entre el peso del follaje (kg) y el volumen del penúltimo anillo de crecimiento (m^3) en *G. arborea* Roxb.

Ns	Modelo	β_0	β_1	R^2	S	IF
1	$y = \beta_0 + \beta_1 (\ln x)$	**	**	0.502	7.316	7.316
2	$y^{1/2} = \beta_0 + \beta_1 x$	**	**	0.508	0.811	6.449
3	$y = \beta_0 + \beta_1 x^{1/2}$	*	**	0.555	6.197	6.197

R^2 = Coeficiente de determinación

S = Desviación estándar ó cuadrado medio del error (CME) ó error típico

IF = Índice de Furnival

β_0 = Intercepto

β_1 = Pendiente

** = Altamente significativo ($P < 0.01$)

* = Significativo ($P < 0.05$)

Con base en análisis de residuos se determinó que ninguno de los tres modelos son adecuados, sin embargo, sus parámetros son significativos. Ello indica que si hay cierto grado de relación, pero la misma no es fuerte, como para modelarla. Con ello se demuestra que las relaciones descritas en el acápite anterior (4.2.3) y las presentes, son similares en su comportamiento.

4.2.5 Relación entre el volumen total de albura (m^3) con el peso de follaje (kg) en *G. arborea* Roxb.

El follaje es la maquinaria de producción de carbohidratos para el árbol. Por lo tanto, este mismo follaje tiene una capacidad definida para producir energía química que repercute en el incremento volumétrico, y por ende, en el incremento diametral. Por ello, es importante conocer el comportamiento entre estas dos variables para entender la dinámica de esta relación. Ya que a

cualquier productor de madera o forestal, le es muy importante conocer el volumen de madera agregado en cada período completo de crecimiento.

Los modelos probados para esta relación se presentan en el cuadro 34, los cuales son aquellos que sus parámetros son estadísticamente significativos ($P < 0.01$).

Cuadro 34 Modelos probados para la relación entre el *Valbura* (Y) y el *Pfollaje* (x) en *G. arborea* Roxb.

Ns	Modelo	β_0	β_1	R^2	S	IF
1	$y = 0.071 + 0.07 x$	**	**	0.703	0.049	0.049
2	$\ln y = -2.256 + 0.033 x$	**	**	0.667	0.240	0.047
3	$\ln y = -3.216 + 0.561 (\ln x)$	**	**	0.707	0.231	0.046
4	$y = -0.104 + 0.109 (\ln x)$	**	**	0.734	0.042	0.042
5	$y^{1/2} = 0.297 + 0.008 x$	**	**	0.692	0.054	0.047
6	$y^{1/2} = 0.156 + 0.069 x^{1/2}$	**	**	0.698	0.054	0.047
7	$y^{-1} = 2.039 + 50.082 x^{-1}$	**	**	0.657	1.426	0.057

R^2 = Coeficiente de determinación

S = Desviación estándar ó cuadrado medio del error (CME) ó error típico

IF = Índice de Furnival

β_0 = Intercepto

β_1 = Pendiente

** = Altamente significativo ($P < 0.01$)

Del cuadro anterior, se seleccionó el cuarto modelo, por presentar el R^2 mas alto y a la vez el IF mas bajo. El modelo es el siguiente:

$$\text{Valbura} = -0.104 + 0.109 (\ln \text{Pfollaje}) \quad (4.8)$$

Ln = Logaritmo natural

Valbura = Volumen de albura en m^3

Pfollaje = Peso del follaje en kilogramos

En el cuadro 35 se presenta un resumen de las estadísticas de regresión del modelo (4.8)

Cuadro 35 Resumen de las estadísticas de regresión del modelo (4.8)

Resumen

Estadísticas de la regresión					
Coefficiente de correlación múltiple		0.856			
Coefficiente de determinación R^2		0.734			
R^2 ajustado		0.726			
Error típico		0.042			
Observaciones		38			
ANÁLISIS DE VARIANZA					
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	0.173182739	0.173182739	99.15945894	6.9531E-12
Residuos	36	0.06287427	0.001746507		
Total	37	0.236057009			
	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	
Intercepción	-0.103920967	0.031526939	-3.296259342	0.00220894	
PFL0G	0.109196256	0.010965809	9.95788426	6.9531E-12	

En *G. arborea* Roxb., existe una relación lineal entre el peso del follaje en kilogramos y el volumen total (m^3) de albura. El 73.4% de la variación en el volumen total (m^3) de albura es explicada por los cambios de peso en kilogramos del follaje. Por lo tanto, en *G. arborea* Roxb., por cada unidad de volumen (m^3) de albura, existe una unidad de peso del follaje (kg). Cabe señalar que en el caso de *G. arborea* Roxb., el límite entre la albura y el duramen en las secciones transversales (rodajas o galletas) medidas, fue definido por anillos exactos. La figura 20 muestra la curva de regresión ajustada entre el *Valbura* (y) y el *Pfollaje* (x), así como las figuras 15a y 16a del anexo I muestran el análisis de residuos e histograma de los residuos estandarizados para esta relación. En este modelo (4.8) no se incorporó datos de árboles individuales en *libre crecimiento*.

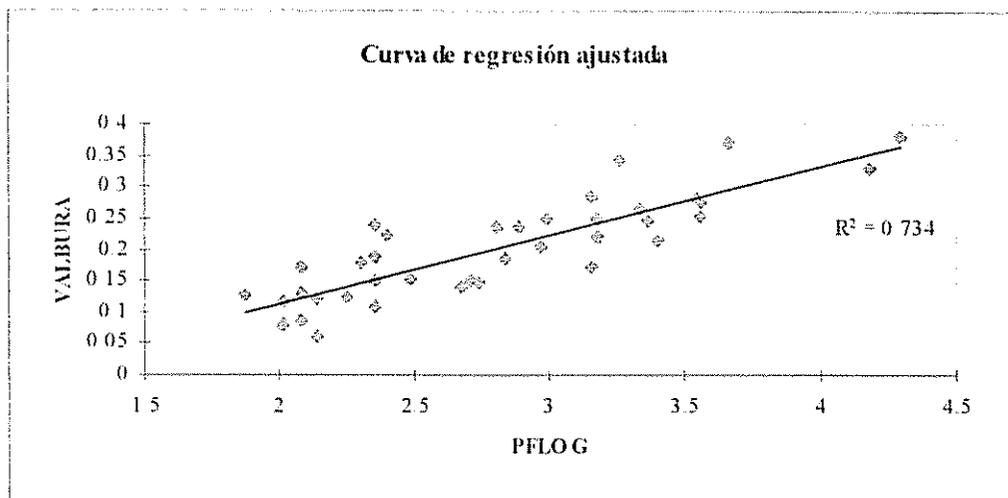


Figura 20 Curva de regresión ajustada para el modelo (4.8)

4.2.6 Relación entre el volumen total de albura en (m^3) con área de albura al Dap (cm^2) en *G. arborea* Roxb.

Esta relación permite poder estimar el volumen de albura en m^3 (*Valbura*), a partir del área de albura en cm^2 al Dap (*Aadap*) lo que permitiría conocerla, sin necesidad de trocear todo el árbol completo. Los mejores modelos que se probaron para esta relación se presentan en el cuadro 36, presentándose únicamente los que tuvieron sus parámetros significativos ($P < 0.01$)

Cuadro 36 Mejores modelos probados para la relación entre el *Valbura* (y) y el *Aadap* (x) en *G. arborea* Roxb

Ns	Modelo	β_0	β_1	R^2	S	IF
1	$\ln y = -2.763 + 0.006 x$	**	**	0.816	0.185	0.033
2	$\ln y = -6.948 + 1.017 (\ln x)$	**	**	0.865	0.0167	0.031
3	$y = -0.602 + 0.154 (\ln x)$	**	**	0.858	0.030	0.030
4	$y^{1/2} = 0.210 + 0.001 x$	**	**	0.855	0.034	0.036
5	$y = -0.172 + 0.027 x^{1/2}$	**	**	0.894	0.027	0.027

R^2 = Coeficiente de determinación

S = Desviación estándar ó cuadrado medio del error (CME) ó error típico

IF = Índice de Furnival

β_0 = Intercepto

β_1 = Pendiente

** = Altamente significativo ($P < 0.01$)

Con base en el cuadro anterior, se seleccionó al modelo quinto como el mejor, ya que este posee el R^2 mas alto y a la vez el IF mas bajo, confirmando así su robustez de predicción

El modelo para la predicción de volumen de albura (m^3) es el siguiente:

$$Valbura = -0.172 + 0.027 Aaadap^{1/2} \dots \dots \dots (4.9)$$

Valbura = Volumen de albura (m^3)

Aaadap = Area de albura al Dap en (cm^2)

Esta relación evidencia que el 89.4% de la variación en el volumen de albura (m^3) es explicada por los cambios existentes en el área de albura al Dap en cm^2 . En el cuadro 37 se muestra un resumen de las estadísticas de regresión de este modelo.

Cuadro 37 Estadísticas de regresión del modelo (4.9)

Resumen

Estadísticas de la regresión

Coefficiente de correlación múltiple	0.945
Coefficiente de determinación R^2	0.894
R^2 ajustado	0.890
Error típico	0.027
Observaciones	36

ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	0.203759855	0.203759855	285.5935593	4.10188E-18
Residuos	34	0.024257673	0.000713461		
Total	35	0.228017528			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad
Intercepción	-0.172279024	0.022310475	-7.721889724	5.56702E-09
ADAPSQR	0.027315646	0.001616357	16.89951358	4.10188E-18

Este modelo, demuestra que existe una relación lineal entre el área de albura al Dap en cm^2 y el volumen de albura en m^3 . Ello implica que la sola medición del área de albura al Dap en cm^2 , es suficiente como un indicador de la cantidad de albura en volumen existente en un árbol de G.

arborea Roxb, lo cual evitaría la destrucción total del árbol para cuantificar el volumen de albura (m^3). El modelo (4.9) no se desarrolló con datos de árboles en *libre crecimiento*.

La figura 21 muestra la curva de regresión ajustada para este modelo, así como en las figuras 17a y 18a del anexo 1 se muestran los residuos e histograma de distribución de los mismos

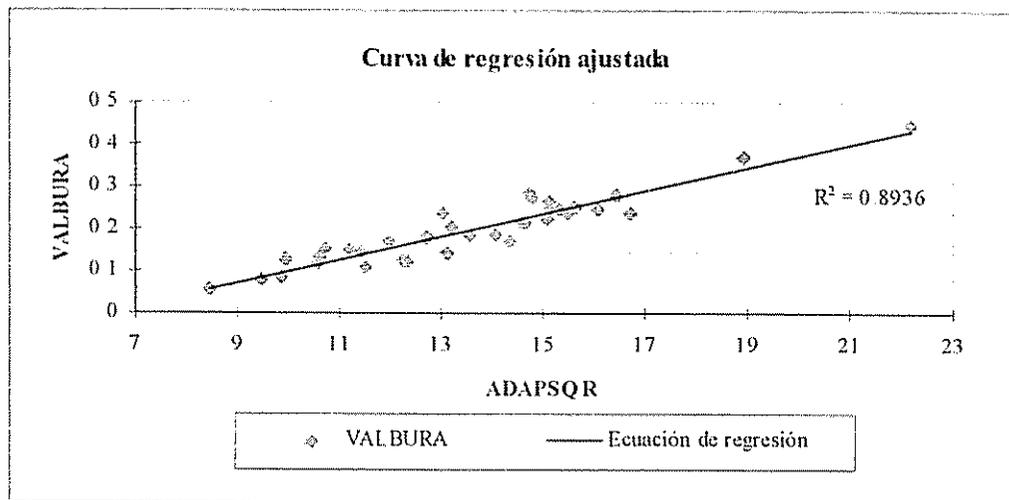


Figura 21 Curva de regresión ajustada del modelo (4.9)

4.2.7 Otras relaciones en *G. arborea* Roxb.

4.2.7.1 Relación entre el peso del follaje (kg) y el área a la base de la copa viva (cm^2).

Como en el caso de *T. grandis* L., esta relación resultó ser muy débil, probándose con intercepto y con transformaciones de logaritmo natural, raíz cuadrada y el recíproco. El coeficiente de regresión es menor a 0.37 ($P < 0.05$). Rose y Salazar (1983), encontraron que la biomasa formada después de podada una cerca viva, está relacionada en forma lineal con el área total a la altura de la poda. Esto no sucedió así en este estudio, ya que solamente fue tomada en cuenta el peso del follaje en kilogramos y no el total de la biomasa (follaje + ramas)

4.3 Resumen de los modelos obtenidos en ambas especies.

El cuadro 38 presenta un resumen de todos los modelos desarrollados en este estudio, tanto para *T. grandis* L., como para *G. arborea* Roxb.

Cuadro 38 Modelos de predicción desarrollados para el peso del follaje(kg) y volumen de albura (m³) en *T. grandis* L. y *G. arborea* Roxb.

Especie	Modelo	Ecuación	R ²
<i>T. grandis</i> L.	4.1	$\ln P_{\text{follaje}} = -2.375 + 1.211 (\ln A_{\text{adap}})$	0.796
<i>T. grandis</i> L.	4.2	$P_{\text{follaje}} = -16.693 + 4.993 A_{\text{abcv}}^{1/2}$	0.718
<i>T. grandis</i> L.	4.3	$\ln P_{\text{follaje}} = 0.888 + 0.6888 (\ln A_{\text{pnt}})$	0.686
<i>T. grandis</i> L.	4.4	$\ln P_{\text{follaje}} = 5.893 + 0.716 (\ln V_{\text{pnt}})$	0.791
<i>T. grandis</i> L.	4.5	$\ln V_{\text{albura}} = -6.380 + 0.863 (\ln A_{\text{adap}})$	0.717
<i>G. arborea</i> Roxb.	4.6	$P_{\text{follaje}} = -3.95 + 0.012 A_{\text{adap}}$	0.923
<i>G. arborea</i> Roxb.	4.7	$\ln P_{\text{follaje}} = -1.668 + 1.042 (\ln A_{\text{abcv}})$	0.793
<i>G. arborea</i> Roxb.	4.8	$V_{\text{albura}} = -0.104 + 0.109 (\ln P_{\text{follaje}})$	0.734
<i>G. arborea</i> Roxb.	4.9	$V_{\text{albura}} = -0.172 + 0.027 (A_{\text{adap}}^{1/2})$	0.894

Referencias

ln = Logaritmo natural

R² = Coeficiente de determinación

P_{follaje} = Peso del follaje (kg)

V_{albura} = Volumen de albura (m³)

A_{adap} = Área de albura al Dap (cm²)

A_{abcv} = Área de albura a la base de la copa viva (cm²)

A_{pnt} = Área del penúltimo anillo al Dap (cm²)

4.4 Aplicación de los modelos a la TMV.

Los modelos (4.1), (4.2), (4.6) y (4.7), son buenos predictores del peso del follaje a partir de área de albura, existiendo una relación lineal entre las variables incluidas en los modelos. Esta relación lineal confirma la aplicación de la TMV en los cuatro modelos, tanto para *T. grandis* L., como para *Gmelina arborea* Roxb. Así también, los modelos (4.5) y (4.9) predicen el volumen albura a partir de área de albura al Dap, los cuales mantienen una relación lineal, los cuales confirman que no solamente la relación entre área de albura con el peso del follaje es proporcional (1:1), sino

que también con el volumen de albura. Por lo tanto, se rechaza la primera hipótesis (nula) planteada en esta investigación.

4.5 Comportamiento del peso del follaje (kg) y área de albura al Dap (cm²) en plantaciones con manejo bajo competencia *menor* y *fuerte*.

La diferencia de edades dentro de las plantaciones muestreadas, no permitió comparar estadísticamente las diferencias entre parcelas caracterizadas bajo competencia *menor* y *fuerte*. Sin embargo, hubo dos parcelas de *G. arborea* Roxb., de la misma edad sujetadas a regímenes diferentes de manejo, y por ende, distintos niveles de competencia. En el cuadro 39 se presentan las diferencias en promedio del peso del follaje (kg) y área de albura al Dap (cm²) en estas plantaciones. Para *T. grandis* L., no fue posible compararlos por no tener parcelas de la misma edad. Cada promedio proviene de seis árboles individuales.

Cuadro 39 Una comparación entre el promedio del *Pfollaje* y *Aadap* para *G. arborea* Roxb., bajo las condiciones de crecimiento muestreadas

Parcela	Edad (años)	Condición de crecimiento	Peso follaje (kg) *	Peso follaje (kg) **	Área albura al Dap (cm ²) *	Área albura al Dap (cm ²) **
002M	8	Sin raleo (competencia extrema)	12.25	17	155.29	198.61
215L	7	Con manejo bajo competencia <i>menor</i>	22.25	29.5	230.61	267.79
020J	7	Con manejo bajo competencia <i>fuerte</i>	18.25	22.25	159.76	190.38
Sta. Marta	8	Libre crecimiento	69.25	73	618.61	663.25

* = Promedios tomando en cuenta dominantes, codominantes y suprimidos (Clase diamétrica alta, media y baja)

** = Promedios tomando en cuenta únicamente dominantes y codominantes (Clase diamétrica alta y media)

Al comparar el peso de follaje entre ambos tipos de competencia (*menor* y *fuerte*) y a la vez tomando en cuenta las tres clases diamétricas (alta, media y baja), para lo cual se hizo una prueba

de t , se encontró que no existen diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.05$) entre ambos tipos de competencia, tanto para peso de follaje (kg) como para el área de albura al Dap (cm^2). Sin embargo, se hizo otra prueba de t en la cual se eliminaron los árboles de clase baja (suprimidos), en la cual para el peso de follaje hubieron diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.05$) así como también para el área de albura al Dap ($P < 0.07$). La presencia de árboles suprimidos dentro de una plantación no permite, estadísticamente, diferenciar el peso de follaje y área de albura entre rodales bajo competencia *menor* y *fuerte*. Sin embargo, al eliminar del promedio general los árboles suprimidos, se denotan diferencias entre ambos tipos de manejo. Cabe recordar que los árboles suprimidos dentro de una plantación no son de ningún interés para el forestal, cuando sus objetivos de la plantación es madera de aserrío, debido a que su crecimiento diametral es pobre; sin embargo, tales árboles siempre capturan nutrientes del suelo más que energía lumínica de su entorno, los cuales pueden ser *aprovechados* de manera más eficiente, en crecimiento diametral, los árboles codominantes y dominantes. Ello muestra que la permanencia de árboles suprimidos en una plantación no tiene ninguna justificación de mantenerse en la misma. Por lo tanto la tendencia en el manejo de plantaciones debe ser siempre en mantener árboles dominantes y codominantes, eliminando siempre aquellos que se consideren suprimidos.

En este ejemplo, las plantaciones *sin raleo* (*competencia extrema*) y bajo competencia *fuerte* son muy similares en cuanto al área de albura al Dap (cm^2) (*Aadap*), ya que solamente existe una diferencia de 4.47 cm^2 entre ambas. No así en cuanto al peso del follaje (kg) (*Pfollaje*), en el cual hubo una diferencia de seis kg entre ambas condiciones de crecimiento. Por lo tanto, en *G. arborea* Roxb., el crecimiento dado en parcelas *sin raleo* (*competencia extrema*) y con manejo bajo competencia *fuerte* son similares, ello si tomamos en cuenta las diferencias en área de albura (4.47 cm^2).

Las diferencias entre manejo bajo competencia *menor* y *fuerte* para *G. arborea* Roxb., en cuanto al *Aadap* es de 70.85 cm^2 . En cuanto al *Pfollaje* se observa una diferencia de 4.67 kg . Con base en lo anterior se determina que no es tanto la cantidad de follaje activo que se encuentre en el árbol, sino más bien, cuanto de ese follaje, aporta carbohidratos para el crecimiento diametral, ya que estos 4.67 kg marcan una gran diferencia en crecimiento en área basal (66.38 cm^2),

comparado con los seis kilogramos de diferencia que hay entre las plantaciones *sin raleo* (*competencia extrema*) y con manejo bajo competencia *fuerte*. En este último caso los seis kilogramos de diferencia no se traduce en grandes aumentos de área basal de albura (crecimiento en diámetro), pues los carbohidratos adicionales se destinan para suplir las demandas para respiración, crecimiento de follaje y raicillas, y crecimiento de ramas. O sea, en plantaciones de *G. arborea* Roxb., con manejo bajo una competencia *menor*, incrementos módicos en el peso de follaje (kg) se traducen en incrementos mayores en diámetro.

Plantaciones bajo una competencia *mayor* tienden a tener con el tiempo un fuste limpio (sin follaje vivo) cada vez mayor, manteniendo un mismo largo de copa. Por lo tanto, el tamaño relativo de la copa con respecto a la altura total del árbol es cada vez menor, conforme va creciendo en altura el árbol. Ello implica que la mayor parte de carbohidratos producidos son destinados para actividades de respiración y producción de follaje y raicillas, quedando una mínima parte para crecimiento diametral. Esta situación, a ningún productor forestal de madera de aserrío le conviene tener, ya que lo que se busca es que se propicie y estimule el crecimiento diametral de los árboles en una plantación, lo cual solamente se logra manteniendo un manejo oportuno, o sea, mantener al máximo condiciones de competencia *menor*, favoreciendo el desarrollo y crecimiento de follaje y evitando la recesión de copas.

4.6 Implicaciones de los modelos desarrollados.

Habiendo desarrollado modelos de predicción para el peso del follaje (kg) y volumen de albura (m^3) para *T. grandis* L., y *Gmelina arborea* Roxb., y su aplicación a la TMV, se estudiaron algunas implicaciones preliminares de algunos de los modelos. Se analiza el comportamiento de las variables utilizadas más frecuentemente en las ecuaciones desarrolladas, comparando entre sí aquellas parcelas que se identificaron con una competencia *menor* y *fuerte*. El propósito de este esfuerzo es dar algunas pautas iniciales que sean de base en el desarrollo de estrategias adecuadas para el manejo de plantaciones de estas especies que favorezcan su incremento promedio anual en diámetro.

Los modelos que se desarrollaron tuvieron de base cuatro condiciones de crecimiento, como lo son plantaciones *sin raleo* (*competencia extrema*), con manejo bajo competencia *menor* y *fuerte* y árboles *creciendo libremente*. No en todos los modelos se incluyeron datos de árboles en libre crecimiento, debido a que el proceso de análisis de regresión no calificaron para ser incluidos al mismo. A continuación se discuten las implicaciones de los principales modelos en cuanto al desarrollo de estrategias de manejo para plantaciones cuyo objetivo es madera de aserrío. En esta discusión se hace énfasis en la importancia del peso de follaje (kg).

En todas las figuras de este acápite, cada punto de las mismas, representa un árbol individual. Para los árboles bajo una competencia *menor* y *fuerte* se incluyen 12 árboles por tipo de competencia, en el cual seis son codominantes y seis dominantes. Así mismo, se incluyen dos árboles *sin raleo* (*competencia extrema*) y dos en *libre crecimiento*.

4.6.1 Implicaciones en *T. grandis* L.

Para la formulación de las implicaciones, tanto para *T. grandis* L., como para *G. arborea* Roxb., de aquí en adelante se elaboraron gráficos comparativos, para árboles individuales, en el cual fueron tomados en cuenta árboles dominantes y codominantes.

La figura 22 muestra una comparación del área de albura al Dap (cm²) con respecto al peso de follaje entre manejo bajo competencia *menor* y *fuerte*. Para manejo bajo competencia *menor* el peso de follaje (kg) supera los 25 kilogramos y con tendencia a aumentar conforme aumenta el área del albura al Dap. Con manejo bajo competencia *fuerte*, la relación entre el cambio del peso de follaje con respecto al área de albura (cm²) es mucho menor que el manejo bajo competencia *menor*. En árboles de plantaciones con manejo bajo competencia *fuerte*, la cantidad de follaje se ubica en la mayoría de los casos entre 10 a 25 kg. Puede observarse que los árboles que han estado *sin raleo* (*competencia extrema*) siguen un comportamiento similar o igual que aquellos que se encuentran bajo una competencia *fuerte*.

Para los árboles en *libre crecimiento*, el peso de follaje (kg) se presentó superior. Sin embargo, en cuanto al área de albura, ésta tiende a mantenerse como en aquellos árboles bajo una competencia *menor*, es decir, que por más que se duplique el peso de follaje, los incrementos en área de albura serán muy similares.

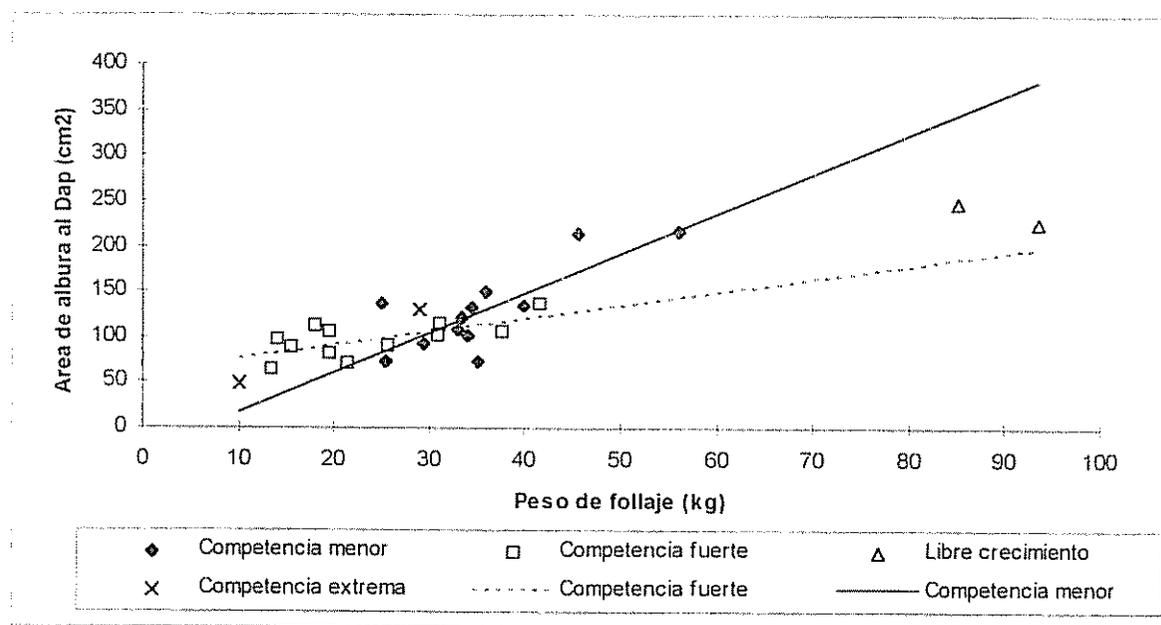


Figura 22 Relación preliminar para árboles individuales entre peso de follaje (kg) y área de albura al Dap (cm^2), en plantaciones *sin raleo* (competencia *extrema*), con manejo bajo competencia *menor y fuerte* y árboles en *libre crecimiento*, para *T. grandis* L.

El área del penúltimo anillo al Dap, (Figura 23) con respecto al peso de follaje (kg) presenta tendencias de crecimiento diferentes en plantaciones con manejo bajo competencia *menor y fuerte*. En ambos casos la relación entre un aumento en el follaje y área del penúltimo anillo al Dap es positivo; Sin embargo, la diferencia se ubica en la magnitud de cambio, la cual es mayor en los árboles que hayan recibido un manejo bajo competencia *menor*. Por ejemplo, en los árboles muestreados, 40 kilogramos de follaje en un árbol de manejo bajo competencia *menor* es capaz de producir un incremento diametral al Dap de área alrededor de los 60 cm^2 . En contraste aquellos árboles manejo bajo competencia *fuerte*, produjeron un incremento diametral al Dap en área de

apenas unos 35 cm^2 . Para los árboles *sin raleo* (competencia *extrema*), en cuanto al área del penúltimo anillo, manifiesta ser sensible a la competencia, ya que aunque mantiene pesos de follaje similares a los árboles bajo una competencia *menor*, el área del penúltimo anillo resulta ser bajo ($>17 \text{ cm}^2$) para este caso. Así también, los árboles en *libre crecimiento*, mantienen áreas del penúltimo anillo de crecimiento muy similares a la de árboles bajo una competencia *menor*, a pesar que la cantidad de follaje (90 kg) es más del doble que la media (35 kg) de los árboles bajo una competencia *menor*. O sea, que a nivel de árboles en *libre crecimiento*, la tasa de crecimiento de follaje en peso (kg) se mantiene casi igual al promedio del peso de follaje de los árboles bajo una competencia *menor*.

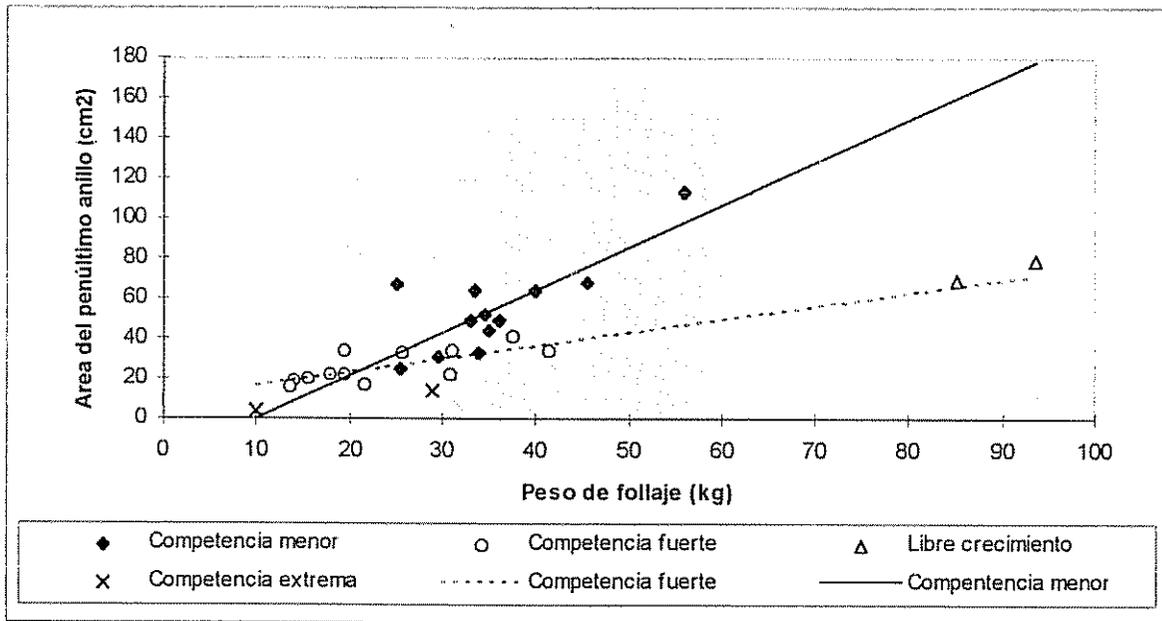


Figura 23 Relación preliminar para árboles individuales entre el peso del follaje (kg) y el área del penúltimo anillo al Dap (cm^2) en plantaciones *sin raleo* (competencia *extrema*), con manejo bajo competencia *menor* y *fuerte* y en árboles con *libre crecimiento*, para *T. grandis* L.

El comportamiento del área de albura al Dap, y volumen de albura total con respecto al peso de follaje, son similares (Figura 24). Con manejo bajo competencia *menor* los árboles muestran un mayor aumento de volumen del penúltimo anillo (m^3) al aumentar el peso de follaje (kg). Con manejo bajo competencia *fuerte* la tasa de cambio es menor. Por ejemplo, 40 kilogramos de follaje en árboles con manejo bajo competencia *menor*, presentaron un volumen del penúltimo

anillo (m^3) alrededor de 0.05 m^3 , en cambio, con manejo bajo competencia *fuerte* los árboles tuvieron un volumen del penúltimo anillo (m^3) de apenas de 0.04 m^3 . Por lo tanto, un mismo peso de follaje (kg) no indica un mismo crecimiento en volumen, ya que ello dependerá del estado de competencia en que se encuentre el árbol individual (grado de recesión de copas). Los árboles *sin raleo* (competencia *extrema*), en cuanto al volumen del penúltimo anillo, tienen un comportamiento muy similar a los árboles bajo una competencia *fuerte*, en cambio, los árboles en *libre crecimiento*, al igual que los casos anteriores, tiende a mantener un volumen de albura muy similar a aquellos árboles bajo una competencia *menor*, aunque sus pesos de follaje (árboles en *libre crecimiento*) duplican a aquellos árboles bajo una competencia *menor*

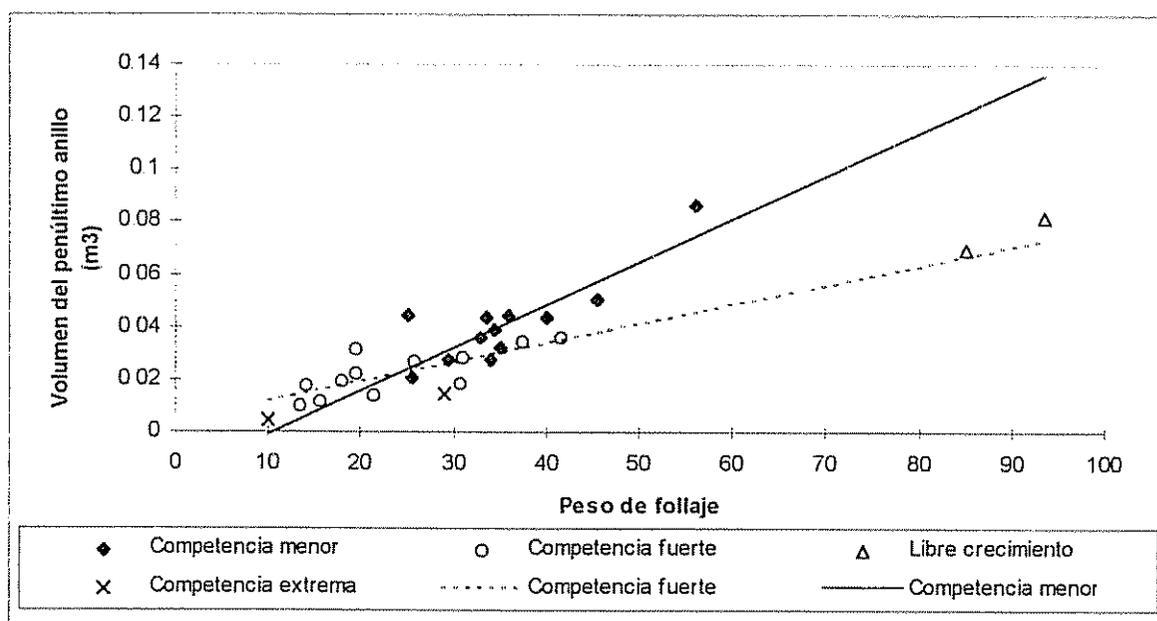


Figura 24 Relación preliminar para árboles individuales entre el volumen del penúltimo anillo (m^3) con el peso de follaje (kg) en plantaciones *sin raleo* (competencia *extrema*), con manejo bajo competencia *menor* y *fuerte* y en árboles con *libre crecimiento*, para *T. grandis* L.

Comparando el área de albura al Dap (cm^2) para ambos tipos de manejo (bajo competencia *menor* y *fuerte*) con el Dap (Figura 25), se denota que, para los árboles con manejo bajo competencia *menor*, los incrementos en área del albura son mayores, tanto en su magnitud como en su

velocidad de cambio ($>$ pendiente) No así para aquellos árboles con manejo bajo competencia *fuerte*, lo cual es mucho menor (en magnitud y tasa de cambio). A la vez, se demuestra que en árboles menores de 14 cm en diámetro, el área basal al Dap es casi en su totalidad albura. Con los espaciamientos usados actualmente (3 x 3 m) la competencia parece iniciar cuando los árboles tienen unos 11 - 12 cm de diámetro. Los árboles *sin raleo* (competencia *extrema*) y en *libre crecimiento*, siguen las mismas tendencias que los casos anteriores

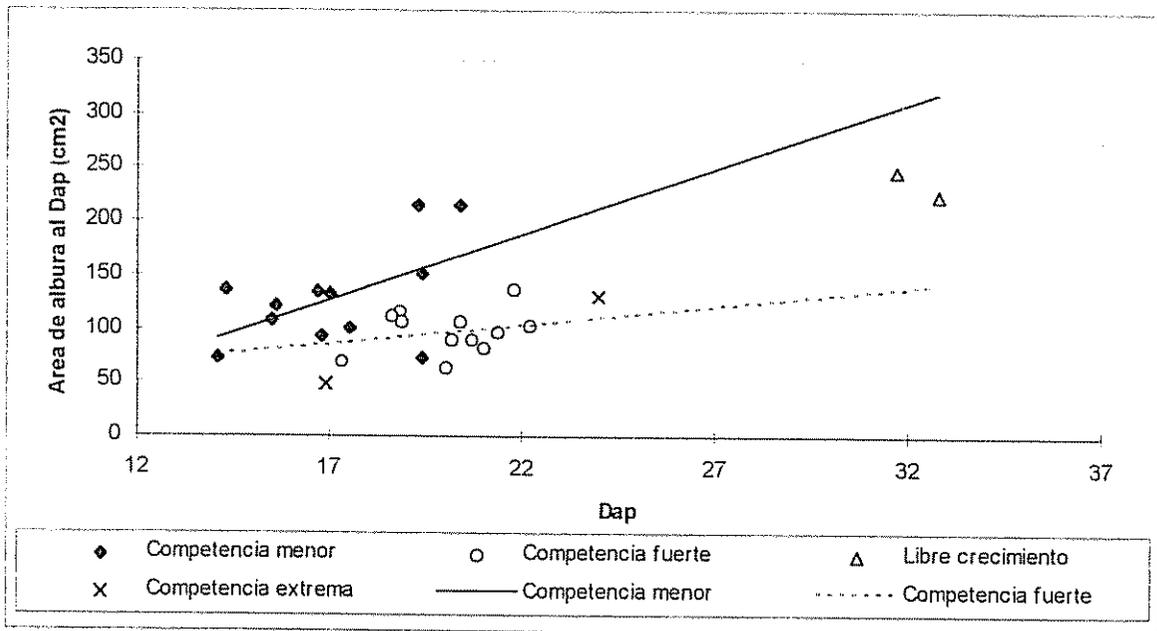


Figura 25 Relación preliminar para árboles individuales entre el área de albura al Dap (cm^2) con el Dap en plantaciones *sin raleo* (competencia *extrema*), con manejo bajo competencia *menor* y *fuerte* y en árboles bajo *libre crecimiento*, para *T. grandis* L

La Figura 26 muestra las diferencias en volumen total de albura (m^3) entre manejo bajo competencia *menor* y *fuerte* con respecto al peso de follaje (kg). La razón por la cual los árboles con manejo bajo competencia *fuerte* presentan un mayor volumen de albura, pero con menor tasa de cambio ($<$ pendiente), es debido a que en promedio su altura (18.45 m) (se incluyen solamente dominantes y codominantes) es mayor que el promedio de altura (14.93 m) de los árboles con manejo bajo competencia *menor*; el volumen de albura relaciona con el diámetro y altura de los árboles. Debido a estas diferencias en altura, los árboles de manejo bajo competencia *fuerte* muestran un mayor volumen de albura que los de manejo bajo competencia *menor*.

Sin embargo, es importante recordar que en estos mismos árboles, la tasa de crecimiento en diámetro es mayor en los árboles con manejo bajo competencia *menor* y que hay mayor producción de albura por el mismo peso de follaje. Esto demuestra que los árboles de *T. grandis* L., de manejo bajo competencia *fuerte*, tienen requerimientos energéticos mayores para mantener viva toda esa albura, limitando el crecimiento que pudiera darse en diámetro. En contraste, los árboles con manejo bajo competencia *menor*, pueden invertir una mayor proporción de los carbohidratos producidos en incrementos diametrales. Los árboles *sin raleo* (competencia *extrema*) en cuanto al peso de follaje, mantienen un comportamiento similar a aquellos árboles bajo una competencia *fuerte*.

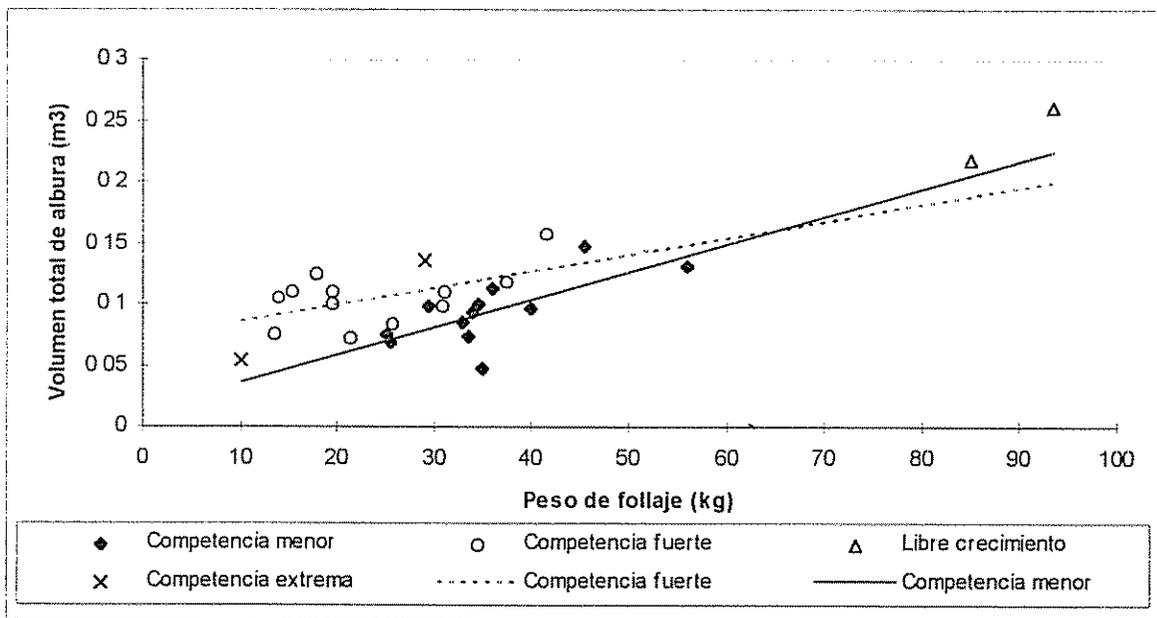


Figura 26 Relación preliminar para árboles individuales entre el volumen total de albura (m^3) con el peso del follaje (kg) en plantaciones *sin raleo* (competencia *extrema*), con manejo bajo competencia *menor* y *fuerte* y en árboles de *libre crecimiento*, para *T. grandis* L.

Con base en el modelo (4.3), se hizo una proyección para el peso del follaje (kg) requerido para sostener un incremento en diámetro predicho. En este caso, se determinó que el IMA en Dap para los árboles clasificados como dominantes (clase alta) y codominantes (clase media), con manejo bajo competencia *menor* es de 1.78 cm con base en los datos reales obtenidos. Tomando en cuenta

este incremento diametral al Dap, se calcularon diferentes áreas de dichos anillos y sus respectivos volúmenes. El cuadro 40 muestra los pesos de follaje requeridos. Esto se modela bajo el supuesto que el incremento (espesor de anillo) es constante año con año (1.78 cm)

En plantaciones con *competencia fuerte* una proporción grande de los carbohidratos se dedica a la formación de raicillas, ramas y a la respiración. Mientras más severa la competencia, menos carbohidratos serán disponibles para impulsar incrementos mayores en diámetro. Por otro lado, aquellas plantaciones que han experimentado *menos competencia*, hay más energía disponible para invertir en incremento diametral, por lo que pequeños cambios en el aumento del follaje, representan aumentos significativos en área de albura (cm²) (Cuadro 40) a la altura de pecho

Cuadro 40 Aumento de peso de follaje (kg) proyectado con base a un espesor de anillo constante en plantaciones de *T. grandis* L

P-anual	Espanillo	Dintpnt	Dextpnt	Apnt	Pfollaje (Mod 4.3)	Incfollaje
1	1.78	10	13.56	65.87	43.48	9.54
2	1.78	13.56	17.12	85.78	52.16	8.68
3	1.78	17.12	20.68	105.7	60.23	8.07
4	1.78	20.68	24.24	125.59	67.57	7.34
5	1.78	24.24	27.8	139.39	72.88	5.31
6	1.78	27.8	31.36	165.41	81.99	9.11

Referencias

P-anual = Período anual completo de crecimiento.

Espanillo = Espesor del penúltimo anillo al Dap (cm)

Dintpnt = Diámetro interior del penúltimo anillo al Dap (cm)

Dextpnt = Diámetro exterior del penúltimo anillo al Dap (cm)

Apnt = Área del penúltimo anillo al Dap (cm²)

Pfollaje = Peso de follaje (kg) pronosticado por el modelo (4.3) y (4.4)

Incfollaje = Incremento anual de follaje (kg) pronosticado (del modelo 4.3)

Las figuras 27 y 28 muestran el comportamiento de crecimiento que tendría el peso de follaje, a partir de un diámetro de 10 cm, y un incremento en diámetro constante año con año (1.78 cm de espesor de anillo). Este incremento se calculó a partir de 16 árboles de *T. grandis* L., clasificados con un manejo bajo competencia *menor* y además, pertenecen a las clases de copa: dominantes y codominantes. Estas figuras ilustran la importancia del aumento constante de follaje en el manejo de las plantaciones, cuando el objetivo de las mismas es para madera de aserrío.

Este análisis demuestra que la composición del follaje, tanto su tamaño como su peso son importantes. Un manejo que permite la expansión de la copa incidirá en árboles de mayor diámetro, ya que es evidente que el follaje es la maquinaria fotosintética productora de carbohidratos. Evidentemente no es suficiente darle más amplitud a la copa, tanto en peso (kg) como en volumen, ya que, si esta expansión ocurre después de una fuerte recesión de copas, la misma no sería capaz de generar los diámetros esperados al final del turno.

En la figura 28 el volumen del penúltimo anillo (m^3), denota el mismo comportamiento suscitado por el área del penúltimo anillo de crecimiento al Dap, lo cual afirma que tanto el volumen del penúltimo anillo (m^3) como su área al Dap son homeostáticos con relación al peso de follaje (kg)

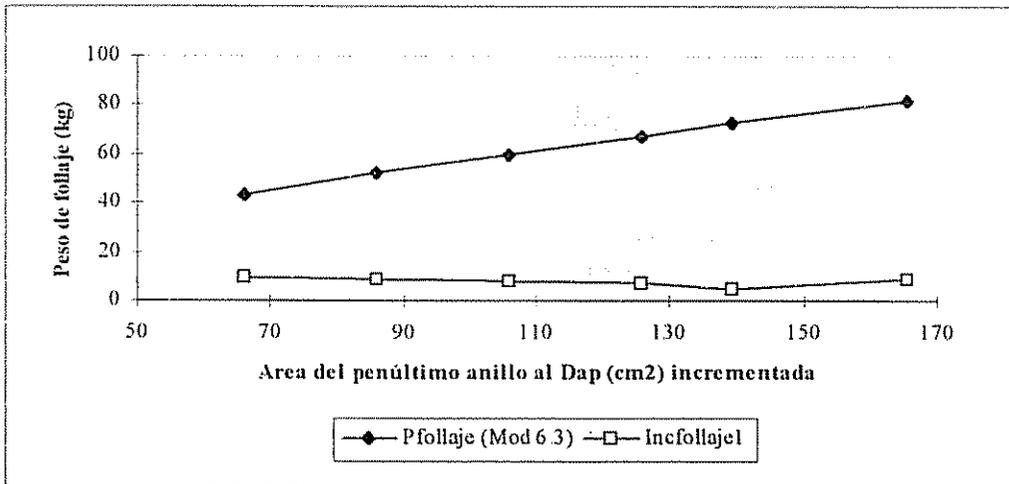


Figura 27 Área del penúltimo anillo al Dap (cm^2) incrementada anualmente y su requerimiento en peso de follaje (kg) para lograr dichos incrementos. Se asumió un incremento (espesor de anillo) de 1.78 cm por año

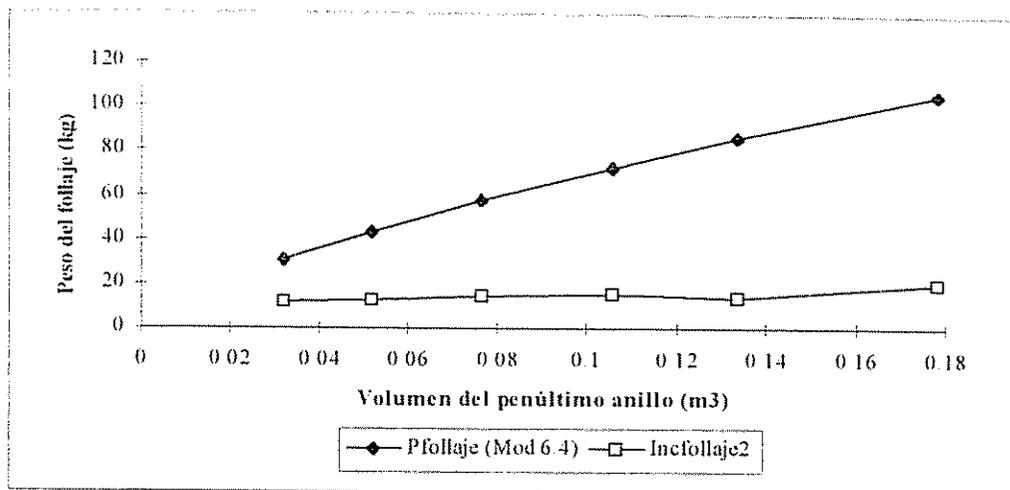


Figura 28 Volumen del penúltimo anillo (m^3) incrementada anualmente y su requerimiento en peso de follaje (kg) para lograr dichos incrementos. Se asumió un incremento (espesor de anillo) de 1.78 cm por año.

4.6.2 Implicaciones en *G. arborea* Roxb.

En la figura 29, puede observarse que para ambos tipos de manejo (bajo competencia *menor* y *fuerte*), se mantiene la misma tasa de cambio en área de albura (cm^2) por unidad de peso de follaje (kg), pero, los incrementos en área de albura con manejo bajo competencia *menor* son mayores que los incrementos dados en árboles con manejo bajo competencia *fuerte*, con una misma cantidad de follaje en peso (kg). Este hallazgo es consistente con la correlación alta ($R^2 = 0.923$) entre peso de follaje (kg) y área de albura al Dap en el modelo (4.6); es decir, se esperaría que las líneas fueran paralelas. Por ejemplo, con manejo bajo competencia *menor* 24 kilogramos de follaje se relacionan con alrededor de 250 cm^2 de albura al Dap, mientras que para los árboles con manejo bajo competencia *fuerte* esos mismos 24 kilogramos de follaje se relaciona con menos de 200 cm^2 de albura al Dap. Los árboles *sin raleo* (competencia *extrema*), en cuanto al área de albura al Dap, siguen un comportamiento similar a aquellos árboles que se encuentran bajo una competencia *fuerte*.

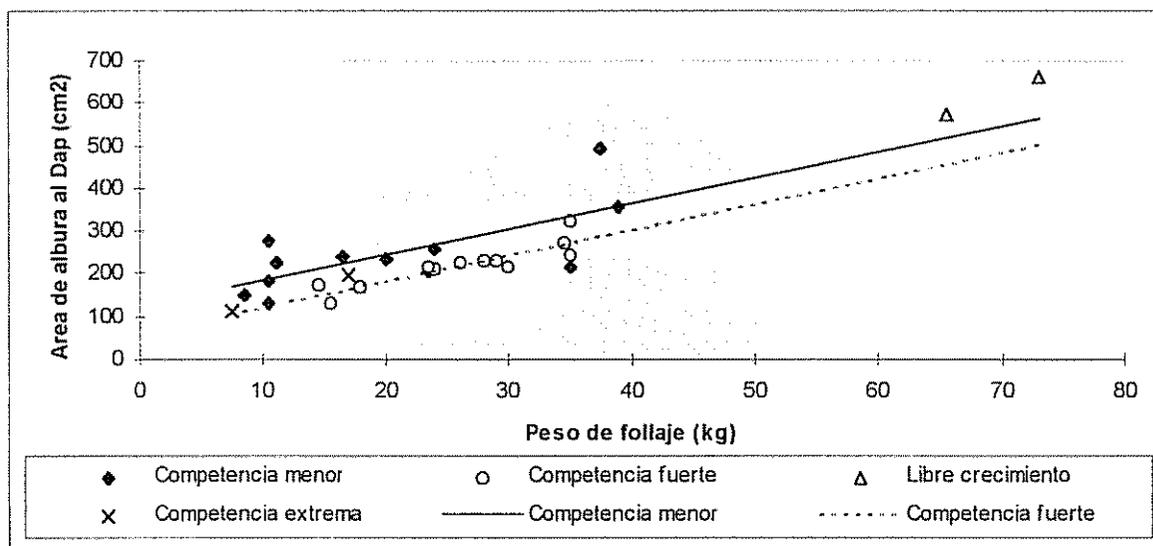


Figura 29 Relación preliminar para árboles individuales entre el área de albura al Dap (cm^2) con el peso de follaje (kg) en plantaciones *sin raleo* (competencia *extrema*), con manejo bajo competencia *menor* y *fuerte* y en árboles de *libre crecimiento*, para *G. arborea* Roxb

La diferencia entre manejo bajo competencia *menor* y *fuerte* radica en que por un mismo peso de follaje (kg), los aumentos en área de albura al Dap (cm^2) son mucho mayores con manejo bajo competencia *menor* que bajo competencia *fuerte*. Por ejemplo, la figura 30, muestra que con alrededor de 24 kilogramos de follaje, los árboles con manejo bajo competencia *menor* tienen un incremento diametral en área (cm^2) de aproximadamente 90 cm^2 , por el contrario, con los árboles bajo manejo *oportuno*, el incremento diametral en área (cm^2) es alrededor de 50 cm^2 . Ello demuestra una vez más, la importancia de la biomasa de follaje en el árbol y su ubicación en relación con la parte inferior del fuste. Si se deja una recesión fuerte de copas, las pérdidas en incremento diametral serían muy significativas. Los árboles *sin raleo* (competencia *extrema*), al igual que el caso anterior, mantienen un comportamiento muy similar a aquellos árboles bajo una competencia *fuerte*.

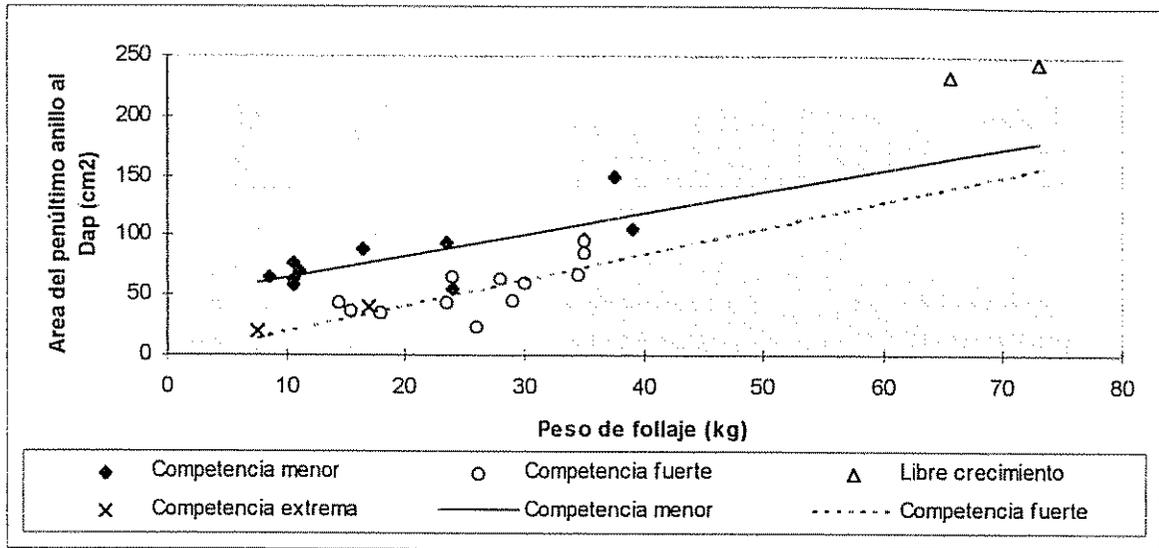


Figura 30 Relación preliminar para árboles individuales del área del penúltimo anillo al Dap (cm^2) con el peso del follaje (kg) en plantaciones *sin raleo* (competencia *extrema*), con manejo bajo competencia *menor* y *fuerte* y en árboles bajo *libre crecimiento*, para *G. arborea* Roxb

El volumen del penúltimo anillo (m^3), mantiene las mismas tendencias que el área del penúltimo anillo al Dap con relación al peso de follaje (kg) (Figura 31). Esto implica que, plantaciones con manejo bajo competencia *menor* tienen más capacidad de producir un incremento volumétrico mayor que aquellas plantaciones con manejo bajo competencia *fuerte*, donde en ambos casos, se desarrolla con una misma cantidad de follaje en peso (kg). Por lo tanto, se hace necesario que la copa [largo (m), área de proyección (m^2) y su peso (kg)], sean celosamente manejadas con el fin de evitar al máximo la pérdida de follaje por recesión de copas. Los árboles *sin raleo* (competencia *extrema*), al igual que el caso anterior, mantienen un comportamiento muy similar a aquellos árboles bajo una competencia *fuerte*

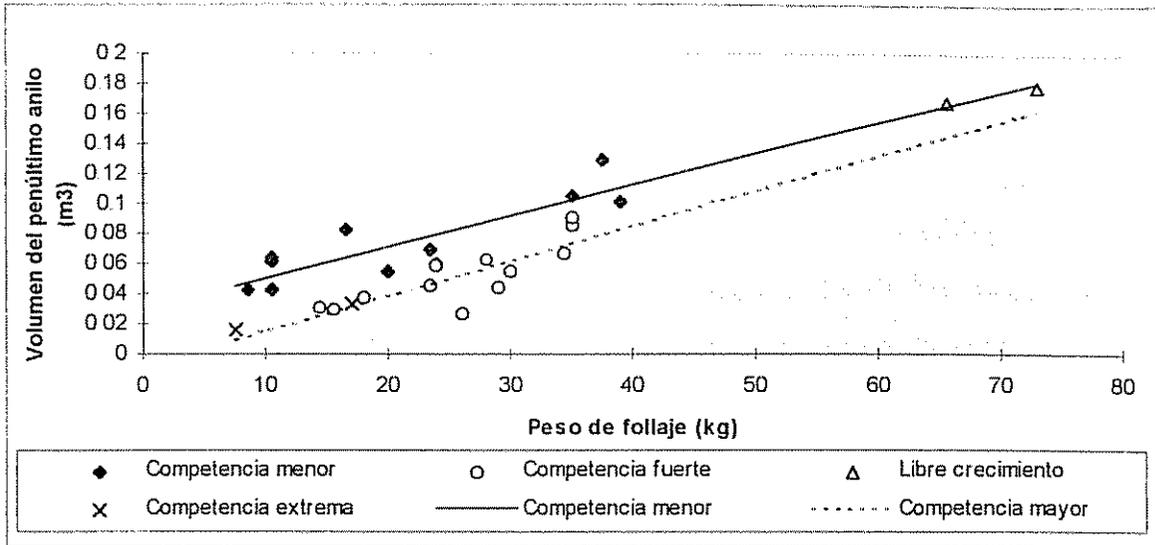


Figura 31 Relación preliminar para árboles individuales entre el volumen del penúltimo anillo (m^3) con el peso del follaje (kg) en plantaciones *sin raleo* (competencia *extrema*), con manejo bajo competencia *menor* y *fuerte* y en árboles de *libre crecimiento*, para *G. arborea* Roxb.

Conforme aumenta el Dap así aumenta progresivamente el área de albura (cm^2) al Dap, en la cual cada aumento en área es mayor con respecto al anterior, tal como se muestra en la Figura 32. Esto demuestra que en diámetros menores de 15 cm, el área basal es albura en su totalidad.

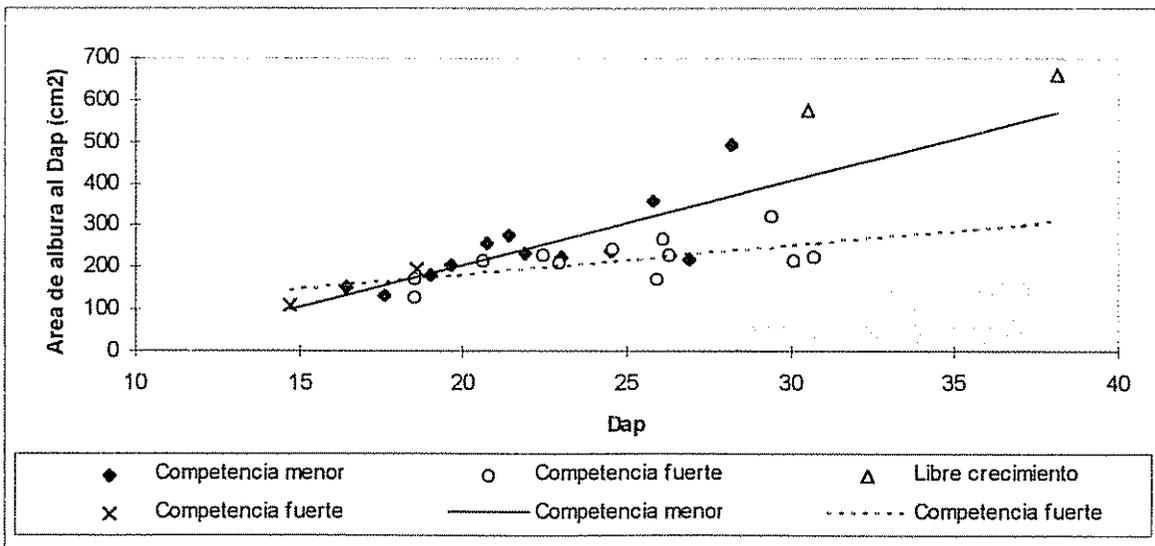


Figura 32 Relación preliminar para árboles individuales entre el área de albura al Dap (cm^2) con el Dap en plantaciones *sin raleo* (competencia *extrema*), con manejo bajo competencia *menor* y *fuerte* y en árboles de *libre crecimiento*, para *G. arborea* Roxb.

Tanto para árboles con manejo bajo competencia *menor y fuerte*, las tasas de cambio en volumen de albura (m^3) por unidad de peso de follaje (kg) son iguales, pero su magnitud resultante (volumen de albura) es diferente, tal como se muestra en la figura 33. Esto demuestra, que un descuido en el inicio de la plantación, en términos de pérdida de follaje por recesión de copas, repercute en un menor incremento en volumen de albura (m^3) y/o área de albura al Dap (cm^2). La altura promedio para los árboles con manejo bajo competencia *menor* era de 19.35 m y para los de manejo bajo competencia *fuerte* 21.18 m (solamente se tomaron en cuenta árboles dominantes y codominantes). Lo que más influyó para que los árboles de manejo bajo competencia *menor* manifiesten un mayor volumen en albura (m^3) fue el área de albura al Dap (cm^2), que en los árboles con manejo bajo competencia *menor y fuerte*, fue de 248.68 y 219.89 cm^2 respectivamente. Para *G. arborea* Roxb, en árboles *sin raleo* (competencia *extrema*), aunque mantiene pesos de follaje muy similares a los árboles con manejo, su volumen total de albura, es inferior ($< 0.02 m^3$), que aquellos que han recibido algún manejo bajo competencia *menor o fuerte*. Así también, los árboles en *libre crecimiento* manifiestan tener volúmenes de albura muy similares a los árboles bajo competencia *menor y fuerte*, pero, con pesos de follaje mayores (más del doble) que el promedio de peso de follaje de los árboles bajo competencia (*menor y fuerte*).

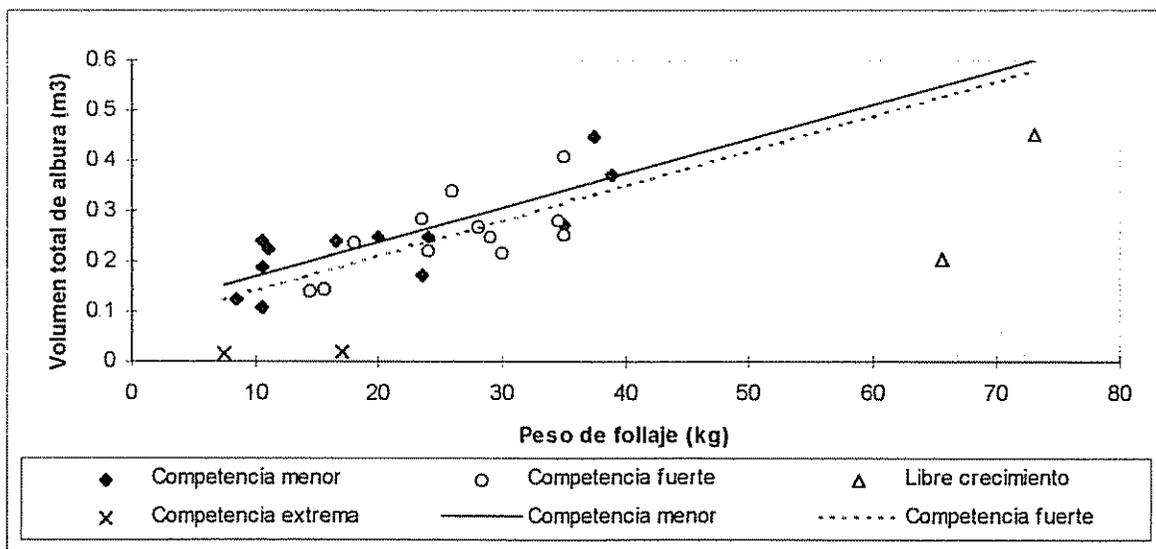


Figura 33 Relación preliminar para árboles individuales entre el volumen de albura total (m^3) con el peso del follaje (kg) en plantaciones *sin raleo* (competencia *extrema*), con manejo bajo competencia *menor y fuerte* y en árboles bajo *libre crecimiento*, para *G. arborea* Roxb

En *G. arborea* Roxb., no hubieron modelos con una relación fuerte entre el peso de follaje (kg) con el área del penúltimo anillo de crecimiento al Dap (cm^2) ni con el volumen del penúltimo anillo, lo cual no permitió hacer proyecciones con estas variables como se hicieron para *T. grandis*

L

5. CONCLUSIONES

- La teoría del modelo vascular (TMV) si aplicó entre el área de albura al Dap (cm^2), el área de albura a la base de la copa viva (cm^2) y el volumen total de albura (m^3), con el peso del follaje en kilogramos en árboles de *T. grandis* L., y *G. arborea* Roxb.
- Las ecuaciones desarrolladas para predecir el peso del follaje (kg) y volumen de albura (m^3), mantienen una relación lineal entre ellas, tanto para los modelos simples como para los múltiples. Por lo tanto, dichas ecuaciones, son buenos predictores para la estimación de peso de follaje (kg) y volumen de albura (m^3), donde sus R^2 fueron entre 0.68 y 0.923, cuyos parámetros fueron altamente significativos ($P < 0.02$)
- En *T. grandis* L., existe una relación linear entre el área del penúltimo anillo al Dap con el peso del follaje (kg), mientras que en *G. arborea* Roxb., esta relación fue débil, sin embargo, se necesita conocer ese comportamiento a través del tiempo para evaluar si es o no un buen criterio, que permita anticipar el incremento diametral en el siguiente período de crecimiento.
- En este estudio, tanto para *T. grandis* L., como para *G. arborea* Roxb., se encontró contrario a la mayoría de los resultados que se encuentran en la literatura, en la que el área de albura al Dap mostrado en los modelos [$\ln Pfollaje = -2.375 + 1.211(\ln Aaadap)$; (4.1)] y [$Pfollaje = -3.95 + 0.012Aaadap$; (4.6)] respectivamente, fue un mejor predictor del peso de follaje (kg) que el área de albura a la base de la copa viva [$Pfollaje = -16.693 + 4.993 Aabcv^{1/2}$; (4.2) y $\ln Pfollaje = -1.668 + 1.042(\ln Aabcv)$; (4.7)].
- Es necesario que el largo de fuste limpio requerido para el final del turno, sea definido (podas adecuadas) en las primeras etapas de crecimiento, ya que como se demostró en este estudio, el tamaño de la copa (peso en kilogramos, largo y área de proyección) deben de manejarse cuidadosamente, evitando al máximo que exista una recesión prematura de la copa por competencia intraespecífica

- Para que una copa se mantenga ó vaya aumentando con la edad, debe permitírsele crecer lo más libremente posible, sin permitir recesión de copas, lo cual se logra haciendo raleos oportunos de alrededor 50% de entresaque con base al número de árboles. Un descuido en el manejo, podría causar la recesión de copas y disminuir su tamaño con respecto a la altura del árbol, lo cual implicaría una reducción en el crecimiento diametral de los árboles del rodal.
- Con base en los resultados de este estudio, queda claro que el desarrollo de la copa [peso del follaje (kg), largo de copa (m) y área de copa (m²)] se debería favorecer desde los primeros años de la plantación sin permitir una recesión de copas. Esta medida es importante para que aumente en forma significativa el diámetro durante cada período de crecimiento anual. En plantaciones cuyo objetivo es producir madera para aserrío, un manejo oportuno es más crítico.
- El área del penúltimo anillo de crecimiento al Dap (cm²), con base en los modelos desarrollados tanto para *T. grandis* L., da las pautas necesarias para considerar que dicha área podría ser un buen criterio para anticipar la *capacidad* de respuesta en crecimiento diametral. Sin embargo, en *G. arborea* Roxb., esta relación fue débil, pero significativa en sus parámetros.
- Los modelos [$\ln Pfollaje = 0.888 + 0.6888 (\ln Apnt) ;(4.3)$], [$\ln Pfollaje = 5.893 + 0.716 (\ln Vpnt) ;(4.4)$], [$\ln Valbura = -6.380 + 0.863 (\ln Aadap) ;(4.5)$] y [$\ln Pfollaje = -1.668 + 1.042 (\ln Aabcv) ;(4.7)$] fueron desarrollados con datos de árboles provenientes de plantaciones *sin raleo* (*competencia extrema*), con manejo bajo *competencia menor* y *fuerte* y árboles en *libre crecimiento*. Los modelos [$\ln Pfollaje = -2.375 + 1.211 (\ln Aadap) ;(4.1)$], [$Pfollaje = -16.693 + 4.993 Aabcv^{1/2} ;(4.2)$], [$Pfollaje = -3.95 + 0.012 Aadap ;(4.6)$], [$Valbura = -0.104 + 0.109 (\ln Pfollaje) ;(4.8)$], [$Valbura = -0.172 + 0.027 (Aadap)^{1/2} ;(4.9)$] con excepción de árboles en libre crecimiento, se desarrollaron con datos de árboles bajo las condiciones de competencia mencionadas anteriormente

- Los árboles de plantaciones *sin raleo* (*competencia extrema*), en la relación entre peso de follaje (kg) con el área del albura al Dap (cm^2), área del penúltimo anillo al Dap (cm^2) y volumen del penúltimo anillo (m^3), tienen un comportamiento muy similar (*casi igual*) con aquellos árboles ubicados bajo una competencia *fuerte*, tanto para *T. grandis* L., como en *Gmelina arborea* Roxb. Así también, en todas las implicaciones desarrolladas para *T. grandis* L., y *Gmelina arborea* Roxb., los árboles en *libre crecimiento* mostraron ser superiores en cuanto al peso de follaje (kg) y área de albura al Dap (cm^2)
- Las mediciones en parcelas permanentes deben de estandarizarse, ello, no solamente en los tipos de formularios a utilizar para la toma de datos (sistema MIRA del CATIE), sino que también las mediciones de los árboles en el campo (p.e., se recomienda marcar el Dap con pintura permanente), para evitar en futuras mediciones errores de medición. Las mediciones en parcelas permanentes, deben ser celosamente supervisadas por el investigador, ya que en algunos casos, segundas ó terceras personas, realizan las mismas sin tener en cuenta principios básicos de medición forestal.

6. RECOMENDACIONES

- Para investigaciones posteriores similares a ésta, se recomienda cortar el follaje en *T. grandis* L., justo antes de la antesis, es decir, al momento en que se abre el capullo floral. En Guanacaste, Costa Rica, el mes de agosto es adecuado para evaluar el follaje, ya sea en peso ó área foliar. En *G. arborea* Roxb., es recomendable evaluar el follaje en la primera semana de septiembre, cuando éste llega a su máximo desarrollo.
- Un seguimiento periódico sobre el área en cm^2 , del penúltimo anillo de crecimiento, área de albura y el peso de follaje en kilogramos podrían señalar las pautas para predecir la capacidad de respuesta al raleo en un momento determinado. Las mediciones se sugiere hacerlas al Dap con un barreno de incrementos, para así calcular el área de albura y del penúltimo anillo, lo cual permitirá monitorear árboles individuales a través del tiempo. Esto evitará voltear el árbol, lo cual permitiría dicho seguimiento.
- Se recomienda mantener parcelas permanentes en plantaciones con y *sin raleo* (*competencia extrema*), manteniendo siempre un record actualizado de datos de crecimiento, grabando cuidadosamente los mismos, tanto en papel (carpetas) como en discos magnéticos (diskets). Así también, llevar un historial completo de todas las actividades que se realicen en cada una de las parcelas permanentes, tanto antes de una actividad de manejo como después de ella (p.e. raleos).

7. BIBLIOGRAFÍA

- ALBREKTSON, A. 1984. Sapwood basal area and needle mass of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) trees in Central Sweden. *Forestry* 57(1):35-43
- BARRANTES, J. A.; LIAO, A.; ROSALES, A. 1985. Atlas climatológico de Costa Rica. San José, Costa Rica, IMM/MAG/CORENA. P. irr.
- BATSCHLET, E. 1978. Matemáticas básicas para biocientíficos: biólogos, médicos, veterinarios, bioquímicos, etc. Trad. por Mary Sol de Mora Charles. Madrid, España, Dossat. p. 362-364
- BERNINGER, F.; NIKINMAA, E. 1994. Foliage area - sapwood area relationships of Scots pine (*Pinus sylvestris*) trees in different climates. *Can. J. For. Res.* 24:2263-2268.
- BIBLIOTECA ATRIUM DE LA MADERA. 1992. La madera. Barcelona, España, Oceano. v.1, p. 5, 6 y 34 (Colección técnica de bibliotecas profesionales)
- CATIE. 1993. Manejo de plantaciones forestales: guía técnica para el extensionista forestal. Ed. G. Galloway. CATIE. Serie Técnica. Manual Técnico no. 7. 59 p.
- CENTRO CIENTIFICO TROPICAL. 1969. Mapa ecológico: según la clasificación de zonas de vida del mundo de L. R. Holdridge, República de Costa Rica. San José, Costa Rica. Esc. 1:750000. Color.
- CHAVES, E.; FONSECA, W. 1991. Teca (*Tectona grandis* L. F.) especie de árbol de uso múltiple en América Central. CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico no. 179. 47 p.
- CHINCHILLA, V. (ed.). 1987. Atlas cantonal de Costa Rica. San José, Costa Rica, IFAM. 396 p.
- CLAIR, J.B. 1993. Family differences in equations for predicting biomass and leaf area in Douglas-Fir (*Pseudotsuga menziesii* var. *menziesii*). *Forest Science* 39(4):743-755
- ESPINOSA BANCALARI, M. A.; PERRY, D. A.; MARSHALL, J. D. 1986. Leaf area - sapwood area relationships in adjacent young Douglas-fir stands with different early growth rates. *Can. J. For. Res.* 17:174-180.
- FAO. 1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento. Estudio FAO: Montes 22/2. 80 p.

- FERREIRA, P.; PEREZ, J. 1995. Regresión lineal simple y múltiple. In Notas de clase del curso de Estadística. Turrialba, C R., CATIE/Escuela de Postgrado. 44 p.
- FINEGAN, B. 1995. Fenología, polinización y diseminación de diásporas. In Notas de clase del curso Bases Ecológicas para la Silvicultura. Turrialba, Costa Rica, CATIE / Escuela de Postgrado. 15 p.
- FLORES, E.M. 1994. La planta: estructura y función. 2 ed. Cartago, Costa Rica, Editorial Tecnológica de Costa Rica. 501 p.
- FONT QUER, P. 1985. Diccionario de botánica. Barcelona, España, Labor. 1244 p.
- FOWNES, J.H.; HARRINGTON, R.A. 1992. Allometry of woody biomass and leaf area in five tropical multipurpose trees. *Journal of Tropical Forest Science* 4(4):317-330.
- FURNIVAL, G.M. 1961. An index for comparing equations used in constructing volume tables. *Forest Science* 7(4):337-341.
- GALLOWAY, G. 1995. Dinámica de rodales. In Notas de clase del curso Silvicultura de Plantaciones Forestales. Turrialba, C R., CATIE/Escuela de Postgrado. 15 p. (mimeo).
- GONZALEZ, T.; BONILLA, L.; RIVERA, D. 1979. Propiedades y usos de la madera de teca (*Tectona grandis* L.) creciendo en Quepos, Costa Rica. San José, Universidad de Costa Rica, Laboratorio de Productos Forestales. 12 p.
- GOWER, S.T.; GRIER, C.C.; VOGT, D.J.; VOGT, K.A. 1987. Allometric relations of deciduous (*Larix occidentalis*) and evergreen conifers (*Pinus contorta* and *Pseudotsuga menziesii*) of the Cascade Mountains in central Washington. *Can. J. For. Res.* 17:630-634.
- GRIER, C.C.; WARING, R.H. 1974. Conifer foliage mass related to sapwood area. *Forest Sci.* 20:205-206.
- GUJARATI, D. 1993. Econometría 2 ed. Trad. Victor Manuel Mayorga Torrado. México, McGraw-Hill. 597 p.
- HORNTVEDT, R. 1993. Crown density of spruce trees related to needle biomass. *Forest Ecology and Management* 59:225-235.
- HUNGERFORD, R. 1986. Estimation of foliage area in dense Montana lodgepole pine stands. *Can. J. For. Res.* 17:320-324.
- JIMENEZ, F. 1995. El agua y la producción vegetal. In Notas del curso de Agrometeorología. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 50 p.

- KAUFMANN, M R ; TROENDLE, C C 1981 The relationship of leaf area an foliage biomass to sapwood conducting area in four subalpine forest tree species. *Forest Sci.* 27:477.
- KIKER-SNOWMAN, T D ; WILSON, B F 1988. Total wood, sapwood, and heartwood in branch bases of three conifers. *Can. J For Res* 18:1332-1336.
- KRAMER, P J ; KOZLOWSKI, TT 1979 Physiology of woody plants. USA, Academic Press 811 p
- KUTSCHA, N P ; SACHS, I B 1962 Color test for differentiating heartwood and sapwood in certain softwood tree species. USDA. For. Serv For. Prod. Lab. No. 2246.
- LÄNGSTRÖN, B ; HELLQVIST, C 1991. Effects of different pruning on growth and sapwood area of Scots pine. *For. Ecol Manage.* 44:239-254.
- MÄKELÄ, A 1986 Implications of the pipe model theory on dry matter partitioning and heighth growth in trees. *J Theor. Biol.* 123:103-120.
- MARGOLIS, H A ; GAGNON, R R ; POTHIER, D ; PINEAU, M 1988. The adjustment of growth, sapwood area, heartwood area, and sapwood saturated permeability of balsam fir after different intensities of pruning. *Can. J. For. Res* 18:723-727.
- MORATAYA MONTENEGRO, R A 1993 Anatomía, propiedades físicas y algunos usos sugeridos de la madera de seis especies forestales frecuentes en el municipio de la Libertad, Petén, Guatemala. Tesis Ing Agr Guatemala Universidad de San Carlos de Guatemala 171 p.
- MURILLO, O ; VALERIO, J 1991. Melina (*Gmelina arborea* Roxb): especie de árbol de uso múltiple en América Central. CATIE Serie Técnica. Informe Técnico no 181 69 p
- O'HARA, K ; VALAPPIL, N I 1995. Sapwood - leaf area prediction equations for multi-aged ponderosa pine in western Montana and centra Oregon. *Can J For Res* 25:1553-1557.
- OLIVER, C D ; LARSON, B C 1986. Forest stand dynamics. Biological Resource Management Series. United States, McGraw-Hill 467 p.
- REAL ACADEMIA ESPAÑOLA 1992. Diccionario de la lengua española. 21 ed Madrid, España, UNIGRAF. 1513 p.
- RIVERA, D ; BONILLA, L ; VARGAS, E 1982. Estudio de las características y propiedades de *Gmelina arborea* Roxb. San José, Universidad de Costa Rica, Laboratorio de Productos Forestales 10 p.

- ROBICHAUD, E ; METHEVEN, I.R. 1992. The applicability of the pipe model theory for the prediction of foliage biomass in trees from natural, untreated black spruce stands. *Can. J For Res* 22:1118-1123
- ROGERS, R ; HINCKLEY, T.M. 1979. Foliar weight and area related to current sapwood area in oak. *Forest Sci* 25:298-303.
- ROSE, D.; SALAZAR, R. 1983. Rendimiento de leña en árboles individuales de *Guazuma ulmifolia* Lam., en potreros en Hojancha, Guanacaste, Costa Rica. Turrialba, Costa Rica CATIE. 12 p
- RYAN, M. 1989. Sapwood volume for three subalpine conifers: predictive equations and ecological implications. *Can. J For Res* 19:1397-1401.
- _____. 1990. Growth and maintenance respiration in stems of *Pinus contorta* and *Picea engelmannii*. *Can J For Res* 20:48-57
- SAS INSTITUTE INC. 1985. SAS user's guide: Statistics. Cary, EE UU., 629 p.
- SHINOZAKI, K., YODA, K., HOZUMI, K.; KIRA, T. 1964. A quantitative analysis of plant form-the pipe model theory I. Basic analysis. *Jpn. J Ecol.* 14:97-105.
- SNEDECOR, W.G.; COCHRAN, W.G. 1981. Métodos estadísticos. Trad. J.A. Reinoso Fuller México, CECSA. 703 p
- SNELL, J.A.K.; and BROWN, J.K. 1978. Comparison of tree biomass estimators - dbh and sapwood area. *Fores Sci* 24: 455-457.
- STEEL, R.D.G.; TORRIE, J.C. 1988. Bioestadística: principios y procedimientos. 2 ed. Trad. Ricardo Martínez. México, McGraw-Hill. 622 p
- TINEO BERMUDEZ, A.L. 1993. Polinomios ortogonales: notas de estudio. Turrialba, Costa Rica, CATIE, Consejo Estudiantil. 32 p
- UGALDE, L. 1995. Establecimiento y medición de parcelas de crecimiento en investigación y programas de reforestación con la metodología del sistema MIRA. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 50 p
- _____. 1993. Manejo de información forestal con el programa estadístico SYSTAT. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 51p
- VAN HEES, A.F.M.; BATERLINK, H.H. 1992. Needle area relationships of Scots pine in the Netherlands. *For Ecol Manage.* 58:19-31.

- VASQUEZ, W ; UGALDE, L. 1995. Rendimiento y calidad de sitio para *Gmelina arborea*, *Tectona grandis*, *Bombacopsis quinatum* y *Pinus caribaea* en Guanacaste, Costa Rica. Informe técnico no. 256, Turrialba, Costa Rica, FAO-CATIE. 33 p
- WARING, R.H ; GHOLZ, C C ; PLUMMER, M.L. 1977. Evaluating stem conducting tissue as an estimator of leaf area in four woody angiosperms. *Can. J Bot* 55:1474-1477.
- WEST, P.W.; WELLS, K.F. 1990. Estimation of leaf weight of standind trees of *Eucalyptus regnans*. *Can. J For Res* 20:1732-1738
- WHITEHEAD, D. 1978. The estimation of foliage area from sapwood basal area in Scots pine. *Forestry* 51:137-149.
- WILKINSON, L. 1990. SYSTAT: the system for statistics. Evanston, IL., Systat Inc 677 p

ANEXOS

Anexo 1

Distribución e histograma de los residuos estandarizados de los modelos desarrollados.

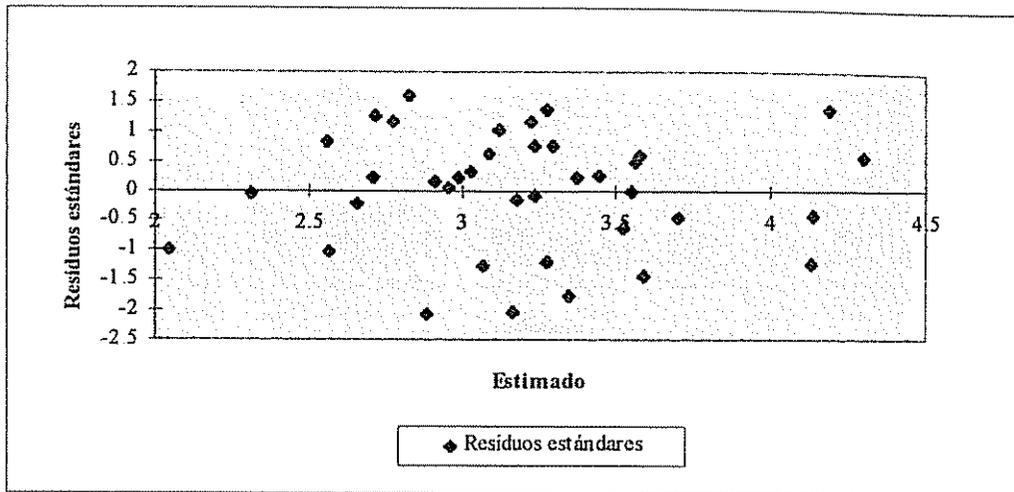


Figura 1a Distribución de los residuos estandarizados del modelo (4.1), para la relación entre el peso de follaje (kg) y el área de albura al Dap (cm^2) en *T. grandis* L.

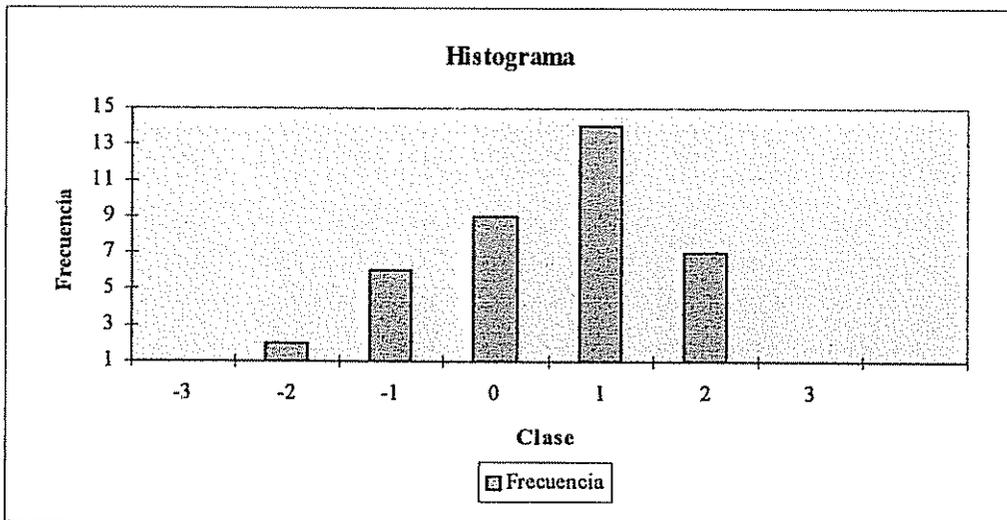


Figura 2a Histograma de la distribución de los residuos estandarizados del modelo (4.1), para la relación entre el peso de follaje (kg) y el área de albura al Dap (cm^2) en *T. grandis* L.

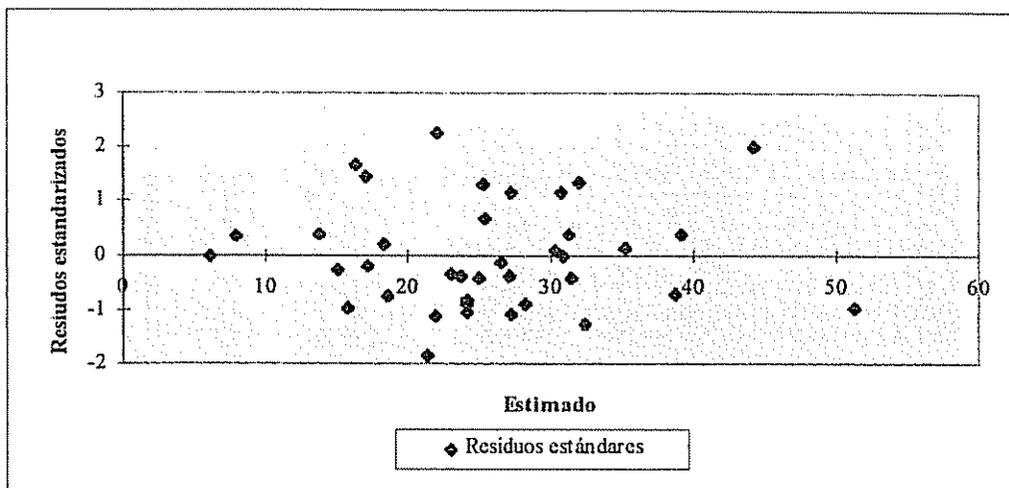


Figura 3a Residuos estandarizados de la regresión del modelo (4.2), para la relación entre el peso de follaje (kg) y el área de albura a la base de la copa viva (cm^2) en *T. grandis* L.

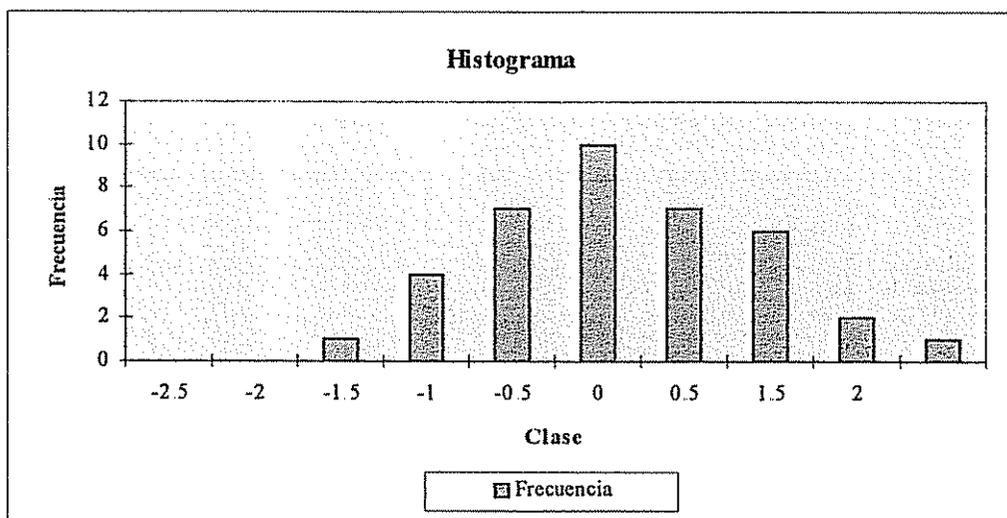


Figura 4a Histograma de los residuos estandarizados del modelo (4.2), para la relación entre el peso de follaje (kg) y el área de albura a la base de la copa viva (cm^2) en *T. grandis* L.

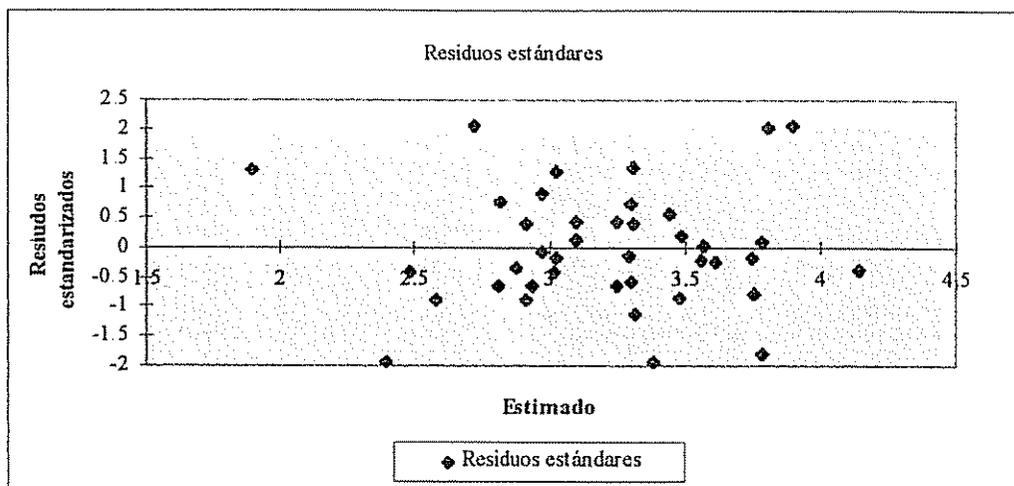


Figura 5a Distribución de los residuos estándares del modelo (4.3), para la relación entre el peso de follaje (kg) y el área del penúltimo anillo de crecimiento al Dap (cm^2) en *T. grandis* L.

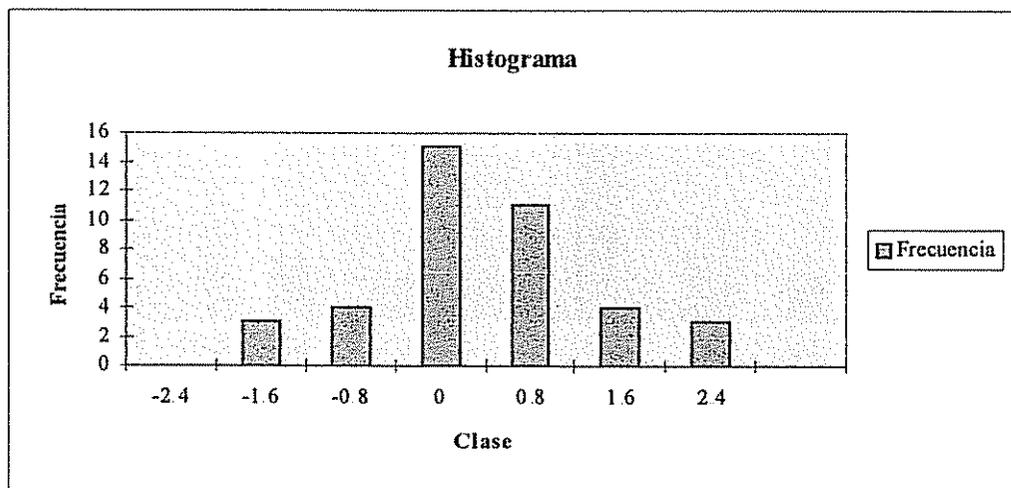


Figura 6a Histograma de los residuos estandarizados del modelo (4.3), para la relación entre el peso de follaje (kg) y el área del penúltimo anillo de crecimiento al Dap (cm^2) en *T. grandis* L.

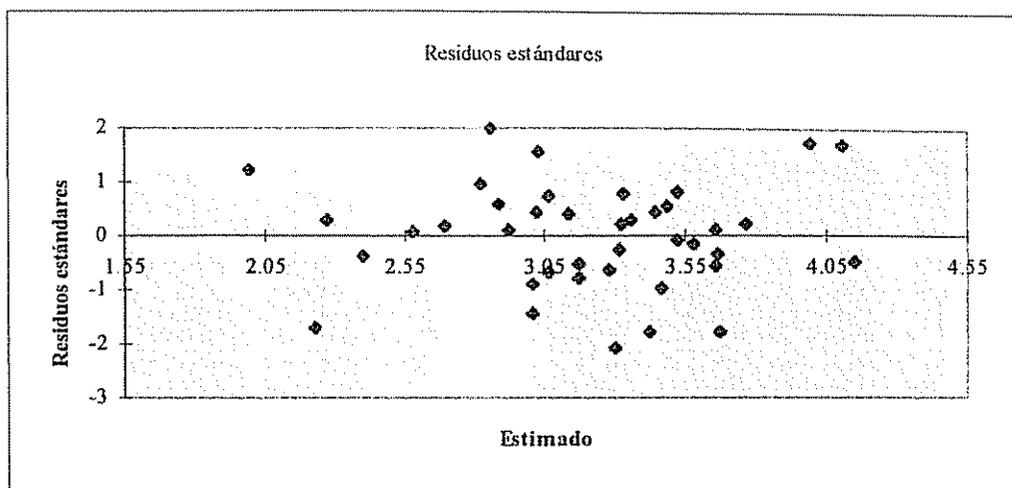


Figura 7a Distribución de los residuos estandarizados del modelo (4.4), para la relación entre el peso de follaje (kg) y el volumen del penúltimo anillo de crecimiento (m^3) en *T. grandis* L.

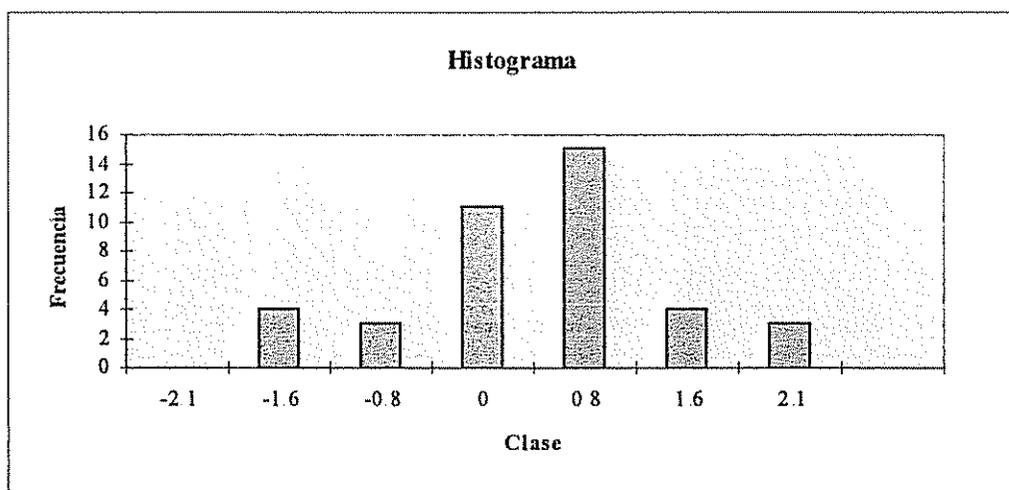


Figura 8a Histograma de los residuos estandarizados del modelo (4.4), para la relación entre el peso de follaje (kg) y el volumen del penúltimo anillo de crecimiento (m^3) en *T. grandis* L.

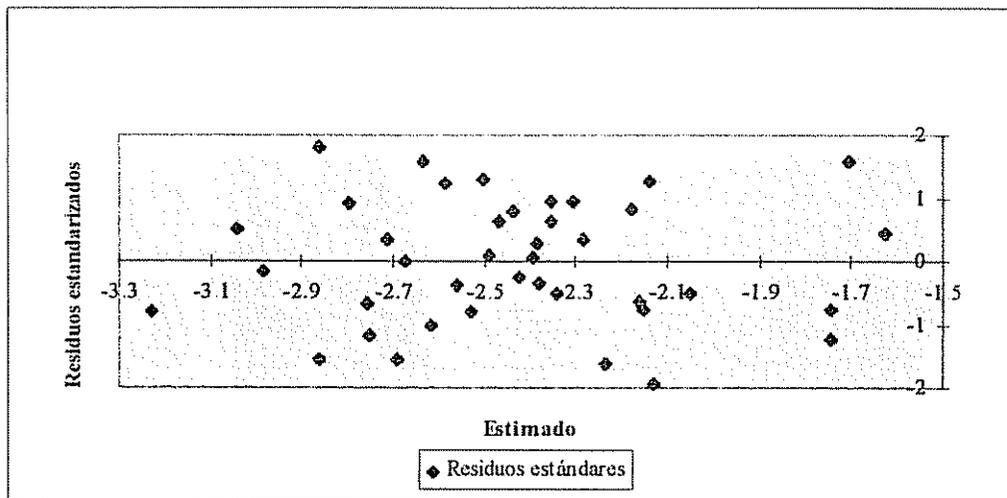


Figura 9a Distribución de residuos estandarizados del modelo (4.5), para la relación entre el volumen de albura (m^3) y el área de albura al Dap (cm^2) en *T. grandis* L.

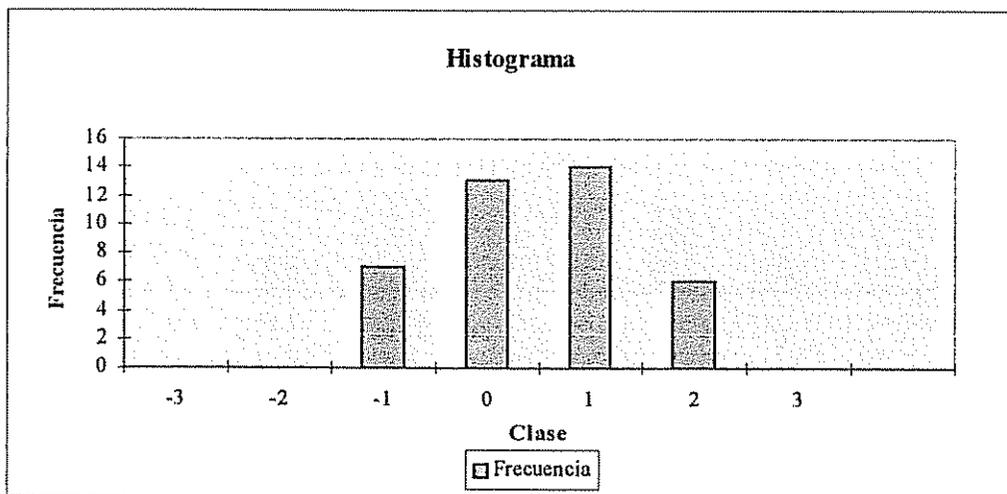


Figura 10a Histograma de distribución de los residuos estandarizados del modelo (4.5), para la relación entre el volumen de albura (m^3) y el área de albura al Dap (cm^2) en *T. grandis* L.

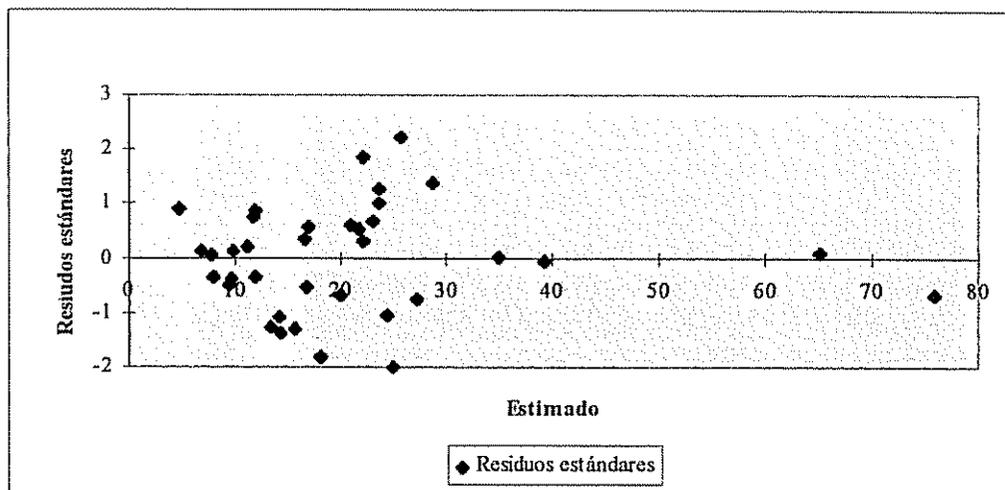


Figura 11a Distribución de los residuos estandarizados del modelo (4.6), para la relación entre el peso de follaje (kg) y el área de albura al Dap (cm^2) en *G. arborea* Roxb.

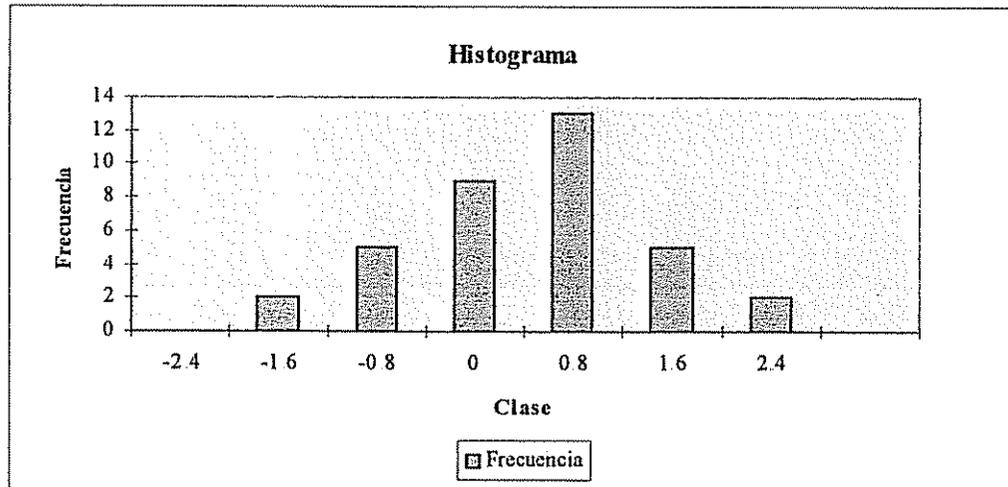


Figura 12a Histograma de la distribución normal de los residuos estandarizados del modelo (4.6), para la relación entre el peso de follaje (kg) y el área de albura al Dap (cm^2) en *G. arborea* Roxb.

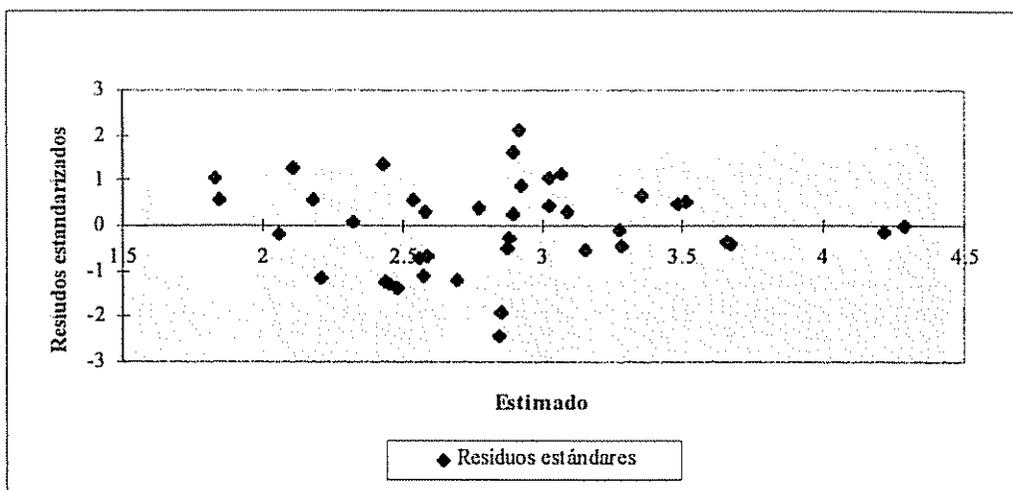


Figura 13a Distribución de los residuos estandarizados del modelo (4.7), para la relación entre el peso de follaje (kg) y el área de la albura al Dap (cm²) en *G. arborea* Roxb.

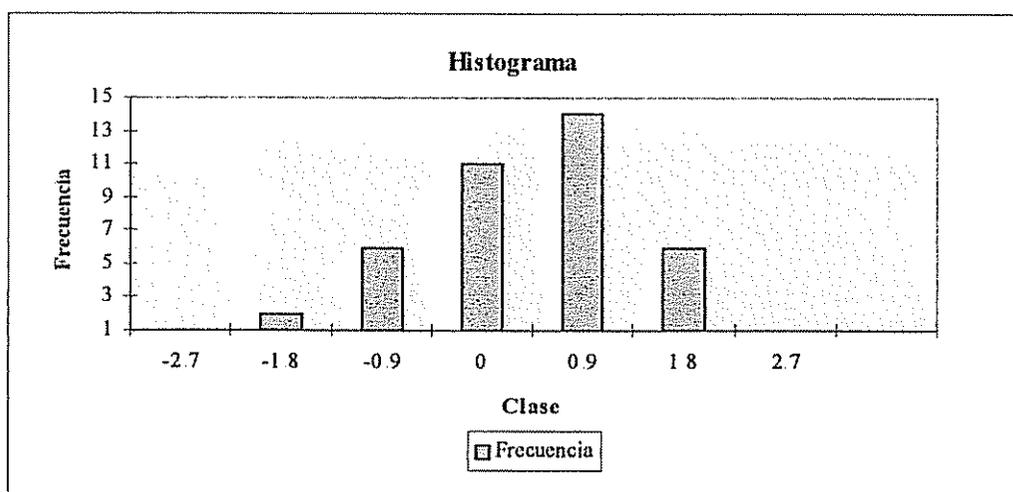


Figura 14a Histograma de la distribución normal de los residuos estandarizados del modelo (4.7), para la relación entre el peso de follaje (kg) y el área de la albura al Dap (cm²) en *G. arborea* Roxb

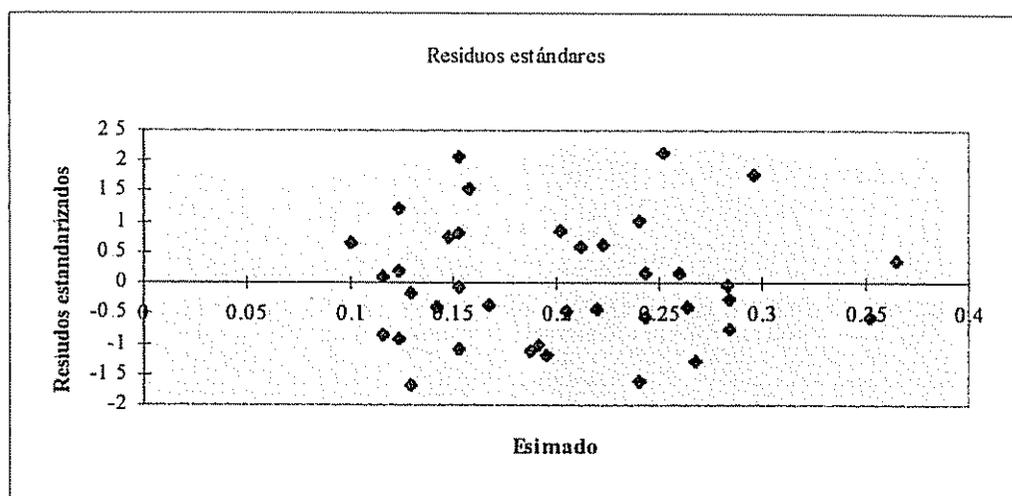


Figura 15a Distribución de los residuos estandarizados del modelo (4.8), para la relación entre el volumen total de albura (m^3) con el peso de follaje (kg) en *G. arborea* Roxb.

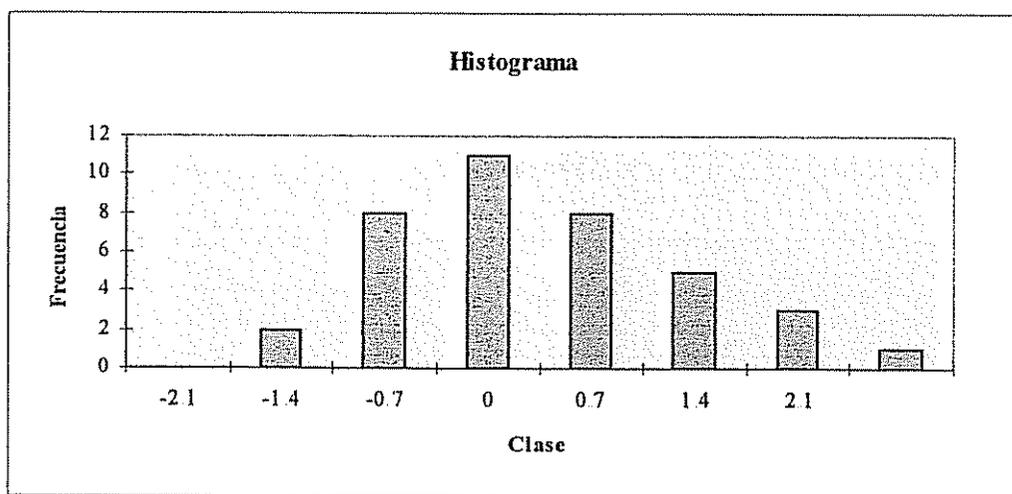


Figura 16a Histograma de los residuos estandarizados para el modelo (4.8), para la relación entre el volumen total de albura (m^3) con el peso de follaje (kg) en *G. arborea* Roxb.

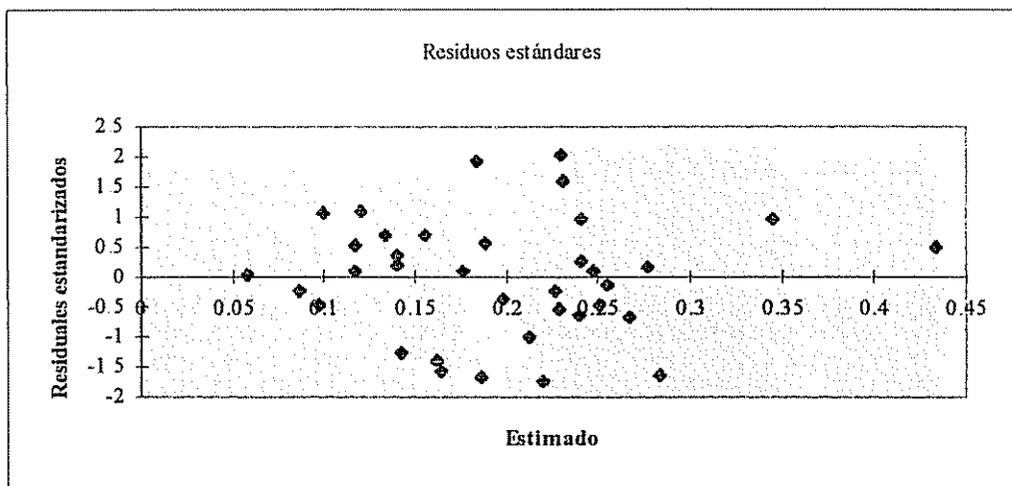


Figura 17a Residuos estandarizados del modelo (4.9), para la relación entre el volumen de albura (m^3) con el área de albura al Dap (cm^2) en *G. arborea* Roxb.

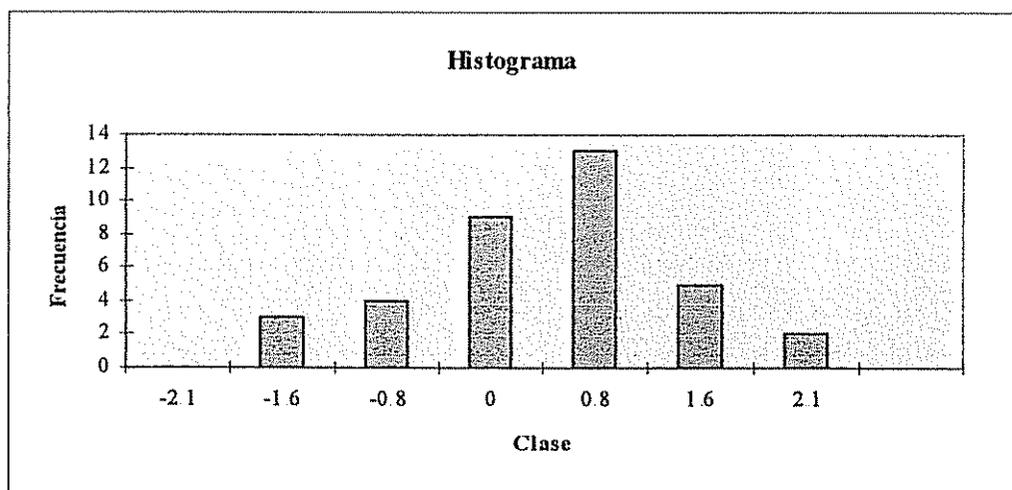


Figura 18a Histograma de los residuos estandarizados del modelo (4.9), para la relación entre el volumen de albura (m^3) con el área de albura al Dap (cm^2) en *G. arborea* Roxb.

Anexo 2

Matrices de las variables primarias de las especies estudiadas.

Na	NsArbol	PurceInS	EspecieS	ClasDiamsS	TipCompS	AreaCopa	LTotal	LJCV	Pfollaje	AADAP	AABCV	APntAni	AultAni	AniAlbu	Etdn	DAP	VAlbura	RadioCop	LargCopa	Vapnt
1	1 012J		Teca	Media	Fuerte	16.98	16.8	9.75	21.5	70.044	65.8322	16.5818	4.57103	4	10.3	17.3	0.072	2.324844	7.05	0.069832
2	2 012J		Teca	Baja	Fuerte	14.18	16.13	6.67	21	83.896	77.6073	18.9718	9.78363	5	10.3	15.8	0.0711	2.124532	9.46	0.081502
3	3 012J		Teca	Baja	Fuerte	27.8	14.8	8.65	23	97.971	80.8962	24.7872	10.9956	5	10.3	16.5	0.0835	2.974729	6.15	0.026955
4	4 012J		Teca	Alta	Fuerte	27.34	16.87	6.12	25.7	90.694	74.9742	32.8768	11.9889	5	10.3	20.7	0.0844	2.950016	10.75	0.018162
5	5 012J		Teca	Media	Fuerte	28.74	17.45	7.98	31	115.17	88.9721	33.6465	17.9778	5	10.3	18.8	0.1105	3.024603	9.47	0.034105
6	6 012J		Teca	Alta	Fuerte	25.96	16.81	6.68	30.8	102.62	90.7922	22.2307	22.6622	5	10.3	22.2	0.0986	2.8746	10.13	0.035874
7	7 034J		Teca	Baja	Fuerte	16.98	15.75	7.44	25	103.01	96.8476	43.3914	26.8528	4	10.3	16.4	0.0854	2.324844	8.31	0.022031
8	8 034J		Teca	Baja	Fuerte	6.83	13.61	8.7	6	38.453	20.7345	8.9241	8.44894	5	10.3	12	0.0329	1.474468	4.91	0.017607
9	9 034J		Teca	Alta	Fuerte	17.39	17.12	5.23	37.5	106.22	90.321	40.99	20.8602	4	10.3	20.4	0.1185	2.352745	11.89	0.014872
10	10 034J		Teca	Alta	Fuerte	28.74	22	9.14	41.5	136.12	125.444	33.5523	17.6244	5	10.3	21.8	0.1573	3.024603	12.86	0.017829
11	11 034J		Teca	Media	Fuerte	26.42	18.95	8.65	19.5	106.39	67.2067	34.108	18.938	4	10.3	18.9	0.1102	2.899956	10.3	0.033214
12	12 034J		Teca	Media	Fuerte	21.65	17.6	9.55	18	112.56	66.9632	22.1973	19.8609	5	10.3	18.6	0.1242	2.625149	8.05	0.005903
13	37 013J		Teca	Alta	Fuerte	12.72	20.3	10.6	19.5	81.43	49.1346	22.3309	17.8423	4	11.3	21	0.1005	2.012188	9.7	0.006278
14	38 013J		Teca	Alta	Fuerte	12.56	19.1	9.66	14	96.769	49.6923	18.9674	25.5176	5	11.3	21.4	0.1049	1.999493	9.44	0.007485
15	39 013J		Teca	Media	Fuerte	10.18	11.8	11.44	15.5	89.347	59.9731	19.9037	13.6267	5	11.3	20.2	0.1106	1.80011	0.36	0.015539
16	40 013J		Teca	Media	Fuerte	14.02	12.2	9.73	13.5	63.712	40.4638	16.3108	15.6452	5	11.3	20	0.0756	2.112511	2.47	0.028535
17	41 013J		Teca	Baja	Fuerte	8.42	12.8	9.67	10.5	76.961	58.1117	10.0924	19.1559	5	11.3	17	0.1035	1.637122	3.13	0.031412
18	42 013J		Teca	Baja	Fuerte	4.33	13.25	10.05	10	59.164	42.2467	11.6239	5.9592	5	11.3	17.5	0.0872	1.174002	3.2	0.018987
19	43 001J		Teca	Baja	Menor	9.48	13.6	3.01	25	137.55	77.1656	67.081	39.0187	3	4.08	14.3	0.0759	1.737118	10.59	0.0113
20	44 001J		Teca	Alta	Menor	10.32	13.9	2.67	33.5	122.17	92.4494	64.3243	30.7386	3	4.08	15.6	0.0738	1.812445	11.23	0.009671
21	45 001J		Teca	Alta	Menor	14.02	14.05	3.6	40	134.23	95.5046	63.6174	33.6603	3	4.08	16.7	0.0971	2.112511	10.45	0.043454
22	46 001J		Teca	Baja	Menor	7.79	14.5	2.61	16	58.929	46.1108	37.3438	14.9462	3	4.08	11.8	0.0399	1.574685	11.89	0.04344
23	47 001J		Teca	Baja	Menor	11.01	14.72	2.72	21	67.073	63.2718	30.931	20.2142	3	4.08	12.2	0.0488	1.872056	12	0.050604
24	48 001J		Teca	Media	Menor	16.51	15.2	3.04	35	72.1	59.3762	43.7173	28.3824	2	4.08	14.1	0.0475	2.292443	12.16	0.08625
25	49 002J		Teca	Media	Menor	10.9	15.2	5.67	33	108.07	70.5211	48.6143	22.6195	3	4.08	15.5	0.0856	1.86268	9.53	0.021017
26	50 002J		Teca	Media	Menor	15.38	15.3	5.56	34.5	132.95	123.441	52.3469	30.7484	4	4.08	17	0.0996	2.212602	9.74	0.0441
27	51 002J		Teca	Alta	Menor	15.62	15.4	7.89	45.5	215.24	185.229	67.6131	67.2931	4	4.08	19.3	0.1468	2.229798	7.51	0.026316
28	52 002J		Teca	Baja	Menor	10.9	15.5	4.72	19	78.414	67.1281	20.6089	19.7057	3	4.08	13.5	0.0377	1.86268	10.78	0.022128
29	53 002J		Teca	Alta	Menor	14.15	15.75	6.42	56	215.95	149.226	112.679	49.6923	3	4.08	20.4	0.1311	2.122283	9.33	0.015523
30	54 002J		Teca	Baja	Menor	11.37	15.9	6.57	22.5	86.7	69.5472	33.1753	13.0691	4	4.08	13.4	0.0663	1.902415	9.33	0.025636
31	61 219L		Teca	Media	Menor	10.15	17.1	5.68	34	101.79	77.4954	33.193	17.858	4	7.17	17.5	0.0928	1.797455	11.42	0.019022
32	62 219L		Teca	Alta	Menor	17.8	17.32	6.94	25.5	73.349	45.3961	24.9679	19.5523	3	7.17	19.4	0.0689	2.380318	10.38	0.017467
33	63 219L		Teca	Media	Menor	14.42	18.25	6.77	29.5	93.117	71.063	30.7876	20.1828	4	7.17	16.8	0.098	2.142435	11.48	0.044338
34	64 219L		Teca	Alta	Menor	23.97	18.4	6.22	36	150.79	108.197	49.3153	20.6089	4	7.17	19.4	0.1139	2.762225	12.18	0.032295
35	65 219L		Teca	Baja	Menor	17.98	18.8	6.68	26	51.247	45.5426	20.819	11.6868	4	7.17	16	0.0487	2.392324	12.12	0.035912
36	66 219L		Teca	Baja	Menor	9.19	20	5.8	16	66.704	37.2515	17.97	13.1849	5	7.17	13.7	0.0543	1.710341	14.2	0.038924
37	75 003M		Teca	Baja	SinRaico	8.68	20.35	10	29	47.878	24.3159	4.304	2.17556	7	18.2	16.9	0.0337	1.662206	10.35	0.027583
38	76 003M		Teca	Alta	SinRaico	15.9	20.4	9.85	29	130.46	92.8264	14.4121	23.8762	7	18.2	24	0.1367	2.249695	10.55	0.027307
39	77 StaMarta		Teca	Alta	LibreCrec	32.17	20.7	6.57	85	246.8	118.124	69.4137	55.4002	4	10.1	31.7	0.2175	3.200005	14.13	0.014289
40	78 StaMarta		Teca	Alta	LibreCrec	52.81	21.2	4.5	93.5	225.18	204.518	79.1033	51.6479	4	10.1	32.8	0.2609	4.099993	16.7	0.004257

Cuadro 1a Matriz de variables primarias de *Tectona grandis* L.

Nº	NºArbol	ParcelaS	EspecieS	ClasDiamS	TipCompS	AreaCopa	LTotal	LBCV	FFollaje	AADAP	AABCV	AFPMAm	AUIHAm	AntiAlbu	Edad	RadioCop	LargCopn	AFollar	Valbuena	DAP	Vapmt
1	13	020J	Melina	Baja	Fuente	12.88	20.2	14.52	12	125.66	37.385	38.5533	2.47402	5	7.17	2.024804	5.68	51.238	0.1522	17.4	0.035
2	14	020J	Melina	Alta	Fuente	32.17	20	10.3	35	245.3	165.32	94.9549	22.4369	5	7.17	2.200005	9.7	134.85	0.2523	24.6	0.085
3	15	020J	Melina	Alta	Fuente	19.63	19.95	12.77	24	212.96	82.066	65.973	22.235	4	7.17	2.499685	7.18	79.334	0.222	22.9	0.059
4	16	020J	Melina	Baja	Fuente	16.26	14.95	11.45	8.5	71.369	28.651	18.237	5.29163	3	7.17	2.275021	3.5	46.095	0.0594	15.3	0.012
5	17	020J	Melina	Media	Fuente	10.17	17.95	11.25	15.5	131	78.406	36.7567	14.363	4	7.17	1.799225	6.7	49.383	0.1458	18.5	0.03
6	18	020J	Melina	Media	Fuente	20.34	16	10.1	14.5	172.25	59.023	42.8357	14.1039	5	7.17	2.544489	5.9	71.702	0.1419	18.5	0.031
7	19	014J	Melina	Media	Menor	4.91	15.8	10	10.5	132.32	40.212	59.2878	17.97	3	4.17	1.250161	5.8	28.213	0.108	17.6	0.042
8	20	014J	Melina	Media	Menor	15.2	14.6	8.65	8.5	152.21	76.341	65.6751	31.6026	3	4.17	2.199616	5.95	59.036	0.123	16.4	0.043
9	21	014J	Melina	Alta	Menor	26.42	16.3	9.35	23.5	206.47	90.659	94.6858	29.6332	3	4.17	2.899956	6.95	95.029	0.1738	19.6	0.069
10	22	014J	Melina	Alta	Menor	15.55	18.5	12.05	10.5	183.78	66.091	76.4489	24.1039	3	4.17	2.224796	6.45	63.238	0.1879	19	0.064
11	23	014J	Melina	Baja	Menor	9.54	15.5	9.8	7.5	89.968	35.814	42.7257	18.4019	3	4.17	1.742606	5.7	42.171	0.081	12.9	0.03
12	24	014J	Melina	Baja	Menor	7.69	13.55	7.4	8	97.13	51.404	50.5974	16.6014	3	4.17	1.564546	6.15	38.881	0.0849	13.4	0.031
13	25	017J	Melina	Media	Menor	13.2	20	14.21	11	227.45	59.251	189.605	86.4784	3	5.17	2.049803	5.79	52.755	0.2232	23	0.171
14	26	017J	Melina	Baja	Menor	10.9	18.89	13.5	8	112.56	52.025	40.99	10.3044	4	5.17	1.86268	5.39	44.271	0.132	17.6	0.035
15	27	017J	Melina	Alta	Menor	16.62	20.6	12.55	16.5	240.14	78.878	88.5283	41.0921	3	5.17	2.300067	8.05	77.116	0.2382	24.5	0.082
16	28	017J	Melina	Baja	Menor	8.55	19.15	13.9	10.5	114.92	46.182	57.397	10.3732	3	5.17	1.649712	5.25	37.071	0.1502	17.4	0.049
17	29	017J	Melina	Media	Menor	13.56	19.4	13	10.5	278.62	57.805	70.3974	41.4043	4	5.17	2.062188	6.4	56.922	0.24	21.4	0.061
18	30	017J	Melina	Alta	Menor	48.4	22.6	14.2	19.1	492.01	140.64	150.09	50.0202	4	5.17	3.925073	7.02	147.58	0.4469	28.2	0.129
19	31	025J	Melina	Alta	Fuente	34.47	20.1	15.32	6.5	99.314	41.218	44.0786	63.7176	6	11.1	1.974664	4.78	44.334	0.1283	18.1	0.012
20	32	025J	Melina	Baja	Fuente	12.25	20.1	16.32	26	224.12	115.29	23.132	19.2796	6	11.1	4.44995	9.38	207.35	0.3412	30.7	0.027
21	33	025J	Melina	Alta	Fuente	62.21	23.7	17.5	18	170.24	71.252	36.0499	12.9885	5	11.1	3.637601	5.7	118.84	0.2359	25.9	0.038
22	34	025J	Melina	Media	Fuente	41.57	25.2	16.32	8	224.12	115.29	23.132	19.2796	6	11.1	4.44995	9.38	207.35	0.3412	30.7	0.027
23	35	025J	Melina	Baja	Fuente	6.6	24	16.35	18	143.61	53.494	30.1594	6.22033	6	11.1	1.449429	7.65	42.054	0.1736	21	0.033
24	36	025J	Melina	Media	Fuente	48.4	22	14.1	29	228.58	79.734	44.5223	56.667	6	11.1	3.925073	7.9	157.18	0.2478	26.3	0.044
25	55	027J	Melina	Baja	Fuente	8.63	19.7	13.25	15	130.5	56.761	27.0511	23.9135	4	7.08	1.657412	6.45	43.306	0.1494	17.4	0.024
26	56	027J	Melina	Baja	Fuente	11.31	20.4	13	19.5	174.3	79.836	42.3114	34.9012	4	7.08	1.897389	7.4	56.847	0.2034	19.2	0.039
27	57	027J	Melina	Baja	Fuente	16.11	22	14.27	34.5	270.37	81.556	67.1517	39.5429	4	7.08	2.264503	8.38	80.497	0.2142	20.6	0.054
28	58	027J	Melina	Alta	Fuente	16.98	19.9	11.52	30	215.6	93.934	60.3344	33.2833	4	7.08	2.324844	8.38	80.497	0.2142	20.6	0.054
29	59	027J	Melina	Media	Fuente	16.62	21.5	13.65	28	229.02	90.478	64.2359	43.9824	4	7.08	2.300067	7.85	75.728	0.2667	22.4	0.062
30	60	027J	Melina	Alta	Fuente	35.41	23.4	13.3	35	322.33	168.23	85.6007	12.7941	4	7.08	3.357284	10.1	147.67	0.4089	29.4	0.091
31	67	215L	Melina	Alta	Menor	18.97	21.2	11.36	39	358.29	144.32	106.28	78.4457	5	7.17	2.457303	9.84	97.266	0.3707	25.8	0.101
32	68	215L	Melina	Alta	Menor	19.83	24.5	12.35	35	218.38	124.35	97.4838	46.0932	4	7.17	2.512386	11.8	115.05	0.274	26.9	0.106
33	69	215L	Melina	Baja	Menor	17.35	19.8	13.4	10	162.36	76.49	49.1876	29.1148	4	7.17	2.350038	6.4	67.685	0.1788	18.9	0.044
34	70	215L	Melina	Media	Menor	12.34	20.7	11.42	24	258.89	96.133	64.5579	53.4386	5	7.17	1.981904	9.28	71.423	0.2496	20.7	0.06
35	71	215L	Melina	Media	Menor	6.33	21.9	10.86	20	235.6	102.14	55.518	30.7877	5	7.17	1.419472	11.04	55.967	0.2496	21.9	0.055
36	72	215L	Melina	Baja	Menor	25.47	17.6	12.2	9.5	150.11	58.709	47.7523	28.942	4	7.17	2.847341	5.4	80.078	0.125	19.2	0.038
37	73	002M	Melina	Alta	SinRaleo	8.68	18.5	13.91	17	198.61	51.247	39.5213	26.6781	5	8	1.662206	4.59	34.172	0.1859	18.6	0.033
38	74	002M	Melina	Baja	SinRaleo	6.27	17.5	14.09	7.5	111.97	29.028	20.9054	6.29105	5	8	1.412729	3.41	22.652	0.1197	14.7	0.016
39	79	SanRafael	Melina	Alta	LibreCrec	58.08	16	3.41	65.5	573.97	283.5	232.979	91.939	3	8	4.299702	12.59	237.79	0.3293	30.5	0.168
40	80	SanRafael	Melina	Alta	LibreCrec	84.13	16.2	3.81	73	663.25	303.79	244.684	130.406	3	8	5.174883	12.39	302.42	0.3798	38.1	0.178

Matriz de variables primarias de *Gmelina arborea* Roxb.

Cuadro 2a

Anexo 3

Formulario para la toma de datos de árboles, antes y después del volteo

DATOS GENERALES

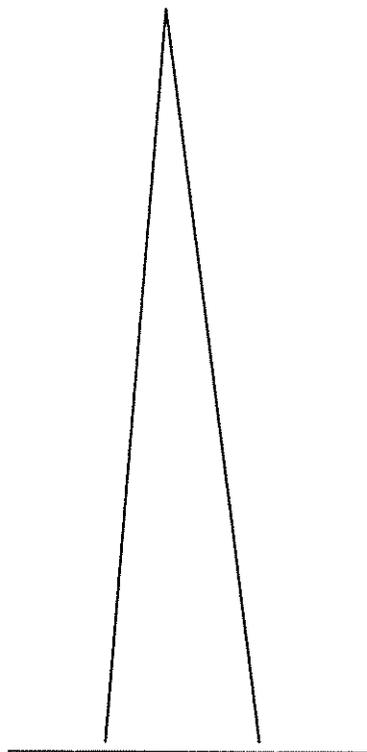
No. de árbol	
Parcela No.	
Especie	
Clase de diámetro	
Tipo de manejo	

ARBOL EN PIE

Dap			
Altura Total			
Altura a la base de la copa viva	BCV1=		BCV2=
Ancho de copa		por	

ARBOL VOLTEADO

Diámetro base copa viva	BCV1=		BCV2=	
Largo total				
Largo a la base copa viva	LBCV1=		LBCV2=	
Peso de follaje (Kg)				
Ramas	DiamBasal	Largo (m)		



Anexo 4

Juego de formularios Sistema MIRA

Medición de árboles en secciones para elaborar tablas de volumen

MEDICION DE ARBOLES EN PIE

Indicaciones para el uso del formulario

No. de Casilla	Código de variable	Información
1	CoPaís	Código del país, use la guía de mediciones.
2	CoExp	Código del experimento, use la numeración seriada de Madeleña para cada país.
3	CoProy	Código del proyecto o unidad, use la primera letra del nombre del proyecto.
4	NsRep	Anote a cual repetición pertenece la parcela si se trata de un ensayo.
5	CoTrat	Código de tratamiento, use un máximo de ocho letras para describirlo, siga la descripción del capítulo 6 de la guía.
6	FechPln	Anote la fecha de establecimiento (día,mes,año).
7	FechMed	Anote la fecha de medición (día,mes,año).
8	NsSitio	Número de sitio, use la numeración dada a cada sitio en el país según regiones (ver mapa adjunto).
9	Nslote	Número de lote, use el nombre del lote dentro del sitio de trabajo.
10	NmSitio	Anote el nombre del sitio.
11	TipDi	Anote el código correspondiente para indicar que diámetro se esta midiendo.
12	NsRotac	Anote el número de rotación de la parcela medida.
13	CoEspec	Anote las primeras cuatro letras del género y las dos primeras letras de la especie.
14	NmEspec	Anote el nombre científico de la especie.
15	NoArbOri	Anote el número de árboles originales.
16	NoArbViv	Anote el número de árboles vivos.
17	Espac1	Anote el espaciamiento original en cm.
18	CoFac1	Anote el código de tres letras correspondiente al factor uno y dé el nombre.
19	NsNiv1	Indique el número del nivel de ese factor y su nombre.
20	NsFac2	Anote el código de tres letras correspondiente al factor dos y dé el nombre.
21	NsNiv2	Indique el número del nivel de ese factor y su nombre.
22	CoFac3	Anote el código de tres letras correspondiente al factor tres y dé el nombre.
23	NsNiv3	Indique el número del nivel de ese factor y su nombre.
24		Indique el nombre de los anotadores.
25		Anote las observaciones que considere importantes.
26	Nsarb	Indique el número seriado de cada árbol que mide.
27	NsEje	Si tiene varios ejes y los esta midiendo indique a que número de ejes se refiere la medición.
28	Di	Anote el diámetro en mm y sin decimales.
29	Altot	Anote la altura en dm y sin decimales.
30	CoForm	Use cada columna para describir una de las características del árbol anotadas al pie del formulario y ponga una marca en la casilla correspondiente a cada árbol.
31-32-33		Son columnas especiales para cualquier otra variable que se considere necesario medir.

Deje en blanco las variables cuando no existe información.

Añada los números de los ejes después del número del árbol. Trate cada eje como un árbol individual, para medición o para calificación de forma de fuste y defectos. Generalmente, los ejes se numeran del más grueso hasta el más delgado.

Llene con el código -99 los valores en la medición para árboles muertos o volteados, y con -88 para árboles vivos pero que no se midieron.

Indicaciones para el uso del formulario

No. de Casilla	Código de variable	Información
1	CoPaís	Código del país, use la guía de mediciones.
2	CoExp	Código del experimento, use la numeración seriada de Madeleña para cada país.
3	CoProy	Código del proyecto o unidad, use la primera letra del nombre del proyecto.
4	NsRep	Anote a cual repetición pertenece la parcela si se trata de un ensayo.
5	CoTrat	Use un máximo de ocho letras para describirlo, siga la descripción del capítulo 6 de la guía.
6	FechPln	Anote la fecha de plantación (día,mes,año).
7	FechMed	Anote la fecha de medición (día,mes,año).
8	NsSitio	Número de sitio, use la numeración dada a cada sitio en el país según regiones (ver mapa en la guía de mediciones).
9	NsLote	Número de lote, use el número del lote dentro del sitio de trabajo.
10	NmSitio	Anote el nombre del sitio.
11	NsRotac	Anote el número de rotación de la parcela medida.
12	CoEspec	Anote las cuatro primeras letras del género y las dos primeras letras de la especie.
13	NmEspec	Anote el nombre científico de la especie, use la guía mediciones.
14	TipDi	Anote tipo de diámetro se esta midiendo: P=dap, B=basal del eje.
15	TipCos	Anote el código respectivo: T= cosecha total del árbol, C= cosecha de la copa.
16	UniPe	Anote el código respectivo: 1=Kg, 2=g, 3=lb, 4=onza.
17	DiRaCmr	Anote el diámetro mínimo comercial de las ramas en mm.
18	DiFoMax	Anote el diámetro máximo comercial del follaje en mm.
19	DiCmrEje	Anote el diámetro mínimo comercial del eje en mm.
20	NoArbOri	Anote el número de árboles originales en la parcela.
21	NoArbViv	Anote el número de árboles vivos en la parcela.
22	Espaci	Anote el espaciamiento inicial en cm.
23	CaFac1	Anote el código de tres letras correspondiente al factor uno y de su nombre.
24	NsNiv1	Indique el número de nivel de ese factor y de su nombre.
25	CoFac2	Anote el código de tres letras correspondiente al factor dos y de su nombre.
26	NsNiv2	Indique el número de nivel de ese factor y de su nombre.
27	CoFac3	Anote el código de tres letras correspondiente al factor tres y de su nombre.
28	NsNiv3	Indique el número de nivel de ese factor y de su nombre.
29		Indique el nombre de los anotadores.
30		Anote las observaciones que considere importantes.
31	NsArb	Indique el número seriado de cada árbol que mide.
32	NsEje	Si el árbol tiene más de un eje y esta midiendo la producción por eje, anote el número respectivo del eje.
33	Di	Anote el diámetro en mm del eje a 1.3m, sin decimales
34	AlTot	Anote la altura total del eje en cm, sin decimales.
35	AlCmr	Anote la altura comercial del eje en dm, sin decimales.
36	PeFu	Anote el peso del eje o fuste.
37	PeRa	Anote el peso de las ramas.
38	PeFo	Anote el peso del follaje.
39		Anote en esta columna cualquier otra variable que mida.

Deje en blanco las variables cuando no existe información. Añada los números de los ejes después del número del árbol. Trate cada eje como un árbol individual, para medición o para calificación de forma de fuste y defectos. Generalmente, los ejes se numeran del más grueso hasta el más delgado.

Llene con el código -99 los valores en la medición para árboles muertos o volteados y con -88 para árboles vivos pero que no se midieron.

