



REVISTA FORESTAL
MESOAMERICANA
KURÚ

Tecnología de madera de
plantaciones forestales:

FICHAS TÉCNICAS

Recepción: marzo 2010
Aceptación: diciembre 2010

Róger Moya Roque
Freddy Muñoz Acosta
Cynthia Salas Garita
Alexander Berrocal Jiménez
Laura Leandro Zúñiga
Edwin Esquivel Segura

Editorial Corporación Garro y Moya
ISBN: 978-9968-9643-3-3
2010

Referencia bibliográfica completa del libro

Moya Roque, R; Muñoz Acosta, F; Salas Garita, C; Berrocal Jiménez, A; Leandro Zúñiga, L; Esquivel Segura, E. 2010. Tecnología de madera de plantaciones forestales: Fichas técnicas. (en línea). Revista Forestal Mesoamericana Kurú 7(18-19):207 p. (Editorial Corporación Garro y Moya, ISBN: 978-9968-9643-3-3). (Incluye 11 fichas técnicas). Disponible en www.tec.ac.cr/revistaforestal

Editorial Corporación Garro y Moya, S.A.
Tels.: (506) 2272-6204 / 8836-7085
Email: Imoya30@hotmail.com

Revista Forestal Mesoamericana Kurú

Comité Editorial

Braulio Vílchez A., M.Sc., Director.

Luis Guillermo Moya, M.Sc.

Marcela Arguedas, M.Sc.

Dagoberto Arias, Ph.D.

Robin L. Chazdon, Ph.D.

Edwin Canessa, Ph.D.

Asistente de edición: Vilma Vargas.

674.97286

T255t

Tecnología de madera de plantaciones forestales : Fichas técnicas / Róger A. Moya Roque... [et al.]. – Cartago, Costa Rica : Corporación Garro y Moya, 2011.
207 p. ; il.

ISBN: 978-9968-9643-3-3

Incluye 10 fichas técnicas de especies maderables y una ficha comparativa.

Disponible en: www.tec.ac.cr/revistaforestal

1. *Acacia mangium*. 2. *Alnus acuminata*. 3. Aprovechamiento. 4. Aserrío. 5. *Bombapcosis quinata*. 6. Costa Rica. 7. *Cupressus lusitanica*. 8. Desempeño y calidad del aserrío. 9. Durabilidad de trozas. 10. Escuela de Ingeniería Forestal. 11. Especies de árboles maderables. 12. Fichas técnicas. 13. *Gmelina arborea*. 14. Instituto Tecnológico de Costa Rica. 15. Macroscopía de la madera. 16. Madera de plantaciones forestales. 17. Microscopía de la madera. 18. Muestreo. 19. Plantaciones forestales. 20. Preservación de la madera. 21. Propiedades físicas de la madera. 22. Propiedades químicas de la madera. 23. Secado al aire de la madera. 24. Secado al horno de la madera. 25. *Swietenia macrophylla*. 26. Tecnología de la madera. 27. *Tectona grandis*. 28. *Terminalia amazonia*. 29. *Terminalia oblonga*. 30. Trabajabilidad de la madera. 31. Transporte de la madera. 32. Troceo. 33. *Vochysia guatemalensis*. I. Moya Roque, Róger A. II. Muñoz Acosta, Freddy. III. Salas Garita, Cynthia. IV. Berrocal Jiménez, Alexander. V. Leandro Zúñiga, Laura. VI. Esquivel Segura, Edwin.

Edición y confección de fichas técnicas: Nancy Gamboa Badilla, M.Sc.

Diseño y diagramación: Ing. Carlos Picado Guevara

Prohibida la reproducción total o parcial de esta obra sin la debida autorización por escrito de la Editorial Corporación Garro y Moya, S.A. Cite esta obra según las especificaciones internacionalmente normalizadas, presentes en las diferentes partes del libro.

Contenido

	Pág.
Presentación	10
Resumen	11
Abstract	13
Introducción / Agradecimientos	15
Metodología aplicada	16
1. Especies seleccionadas y ubicación geográfica	16
2. Muestreo	16
3. Aprovechamiento	18
4. Troceo, transporte y durabilidad de trozas	19
5. Descripción general y macroscópica de la madera	19
6. Descripción microscópica de la madera	19
7. Propiedades físicas de la madera	19
8. Propiedades mecánicas de la madera	21
9. Propiedades químicas de la madera	22
10. Desempeño y calidad de aserrío de la madera	22
11. Secado al aire de la madera	22
12. Secado al horno convencional	22
13. Preservación	23
14. Durabilidad	24
15. Trabajabilidad	24
<i>Acacia mangium (acacia)</i>	27
Aprovechamiento de plantaciones	28
Troceo, transporte y durabilidad de las trozas	29
Descripción general y macroscópica de la madera.....	30
Descripción microscópica de la madera	31
Propiedades físicas de la madera	32
Propiedades mecánicas de la madera	33
Propiedades químicas de la madera	34
Desempeño y calidad de aserrío de la madera	35
Secado al aire de la madera	36
Secado al horno de la madera	37
Preservación de la madera	38
Durabilidad de la madera	39
Trabajabilidad de la madera	40
<i>Alnus acuminata (jaúl)</i>	42
Aprovechamiento de plantaciones	43
Troceo, transporte y durabilidad de las trozas	44
Descripción general y macroscópica de la madera.....	45
Descripción microscópica de la madera	46
Propiedades físicas de la madera	47

Propiedades mecánicas de la madera	48
Propiedades químicas de la madera	49
Desempeño y calidad de aserrío de la madera	50
Secado al aire de la madera	51
Secado al horno de la madera	52
Preservación de la madera	53
Durabilidad de la madera	54
Trabajabilidad de la madera	55
<i>Bombapcosis quinatum (pochote)</i>	57
Aprovechamiento de plantaciones	58
Troceo, transporte y durabilidad de las trozas	59
Descripción general y macroscópica de la madera.....	60
Descripción microscópica de la madera	61
Propiedades físicas de la madera	62
Propiedades mecánicas de la madera	63
Propiedades químicas de la madera	64
Desempeño y calidad de aserrío de la madera	65
Secado al aire de la madera	66
Secado al horno de la madera	67
Preservación de la madera	68
Durabilidad de la madera	69
Trabajabilidad de la madera	70
<i>Cupressus lusitanica (ciprés)</i>	72
Aprovechamiento de plantaciones	73
Troceo, transporte y durabilidad de las trozas	74
Descripción general y macroscópica de la madera.....	75
Descripción microscópica de la madera	76
Propiedades físicas de la madera	77
Propiedades mecánicas de la madera	78
Propiedades químicas de la madera	79
Desempeño y calidad de aserrío de la madera	80
Secado al aire de la madera	81
Secado al horno de la madera	82
Preservación de la madera	83
Durabilidad de la madera	84
Trabajabilidad de la madera	85
<i>Gmelina arborea (melina)</i>	87
Aprovechamiento de plantaciones	88
Troceo, transporte y durabilidad de las trozas	89
Descripción general y macroscópica de la madera.....	90
Descripción microscópica de la madera	91

Propiedades físicas de la madera	92
Propiedades mecánicas de la madera	93
Propiedades químicas de la madera	94
Desempeño y calidad de aserrío de la madera	95
Secado al aire de la madera	96
Secado al horno de la madera	97
Preservación de la madera	98
Durabilidad de la madera	99
Trabajabilidad de la madera	100
<i>Swietenia macrophylla (caoba)</i>	102
Aprovechamiento de plantaciones	103
Troceo, transporte y durabilidad de las trozas	104
Descripción general y macroscópica de la madera.....	105
Descripción microscópica de la madera	106
Propiedades físicas de la madera	107
Propiedades mecánicas de la madera	108
Propiedades químicas de la madera	109
Desempeño y calidad de aserrío de la madera	110
Secado al aire de la madera	111
Secado al horno de la madera	112
Preservación de la madera	113
Durabilidad de la madera	114
Trabajabilidad de la madera	115
<i>Tectona grandis (teca)</i>	117
Aprovechamiento de plantaciones	118
Troceo, transporte y durabilidad de las trozas	119
Descripción general y macroscópica de la madera.....	120
Descripción microscópica de la madera	121
Propiedades físicas de la madera	122
Propiedades mecánicas de la madera	123
Propiedades químicas de la madera	124
Desempeño y calidad de aserrío de la madera	125
Secado al aire de la madera	126
Secado al horno de la madera	127
Preservación de la madera	128
Durabilidad de la madera	129
Trabajabilidad de la madera	130
<i>Terminalia amazonia (amarrillón)</i>	132
Aprovechamiento de plantaciones	133
Troceo, transporte y durabilidad de las trozas	134
Descripción general y macroscópica de la madera.....	135

Descripción microscópica de la madera	136
Propiedades físicas de la madera	137
Propiedades mecánicas de la madera	138
Propiedades químicas de la madera	139
Desempeño y calidad de aserrío de la madera	140
Secado al aire de la madera	141
Secado al horno de la madera	142
Preservación de la madera	143
Durabilidad de la madera	144
Trabajabilidad de la madera	145
<i>Terminalia oblonga (surá)</i>	147
Aprovechamiento de plantaciones	148
Troceo, transporte y durabilidad de las trozas	149
Descripción general y macroscópica de la madera.....	150
Descripción microscópica de la madera	151
Propiedades físicas de la madera	152
Propiedades mecánicas de la madera	153
Propiedades químicas de la madera	154
Desempeño y calidad de aserrío de la madera	155
Secado al aire de la madera	156
Secado al horno de la madera	157
Preservación de la madera	158
Durabilidad de la madera	159
Trabajabilidad de la madera	160
<i>Vochysia guatemalensis (cebo)</i>	162
Aprovechamiento de plantaciones	163
Troceo, transporte y durabilidad de las trozas	164
Descripción general y macroscópica de la madera.....	165
Descripción microscópica de la madera	166
Propiedades físicas de la madera	167
Propiedades mecánicas de la madera	168
Propiedades químicas de la madera	169
Desempeño y calidad de aserrío de la madera	170
Secado al aire de la madera	171
Secado al horno de la madera	172
Preservación de la madera	173
Durabilidad de la madera	174
Trabajabilidad de la madera	175
Comparación entre las 10 especies.....	177
Conclusiones.....	202
Bibliografía.....	205

Contenido de Cuadros

Pág.

Cuadro 1. Condiciones y manejo aplicado a las plantaciones forestales muestreadas de las 10 especies maderables de plantación de Costa Rica	17
Cuadro 2. Rangos generales de clasificación de maderas por peso específico básico utilizado en las 10 especies maderables de plantaciones forestales de Costa Rica	20
Cuadro 3. Rangos generales de clasificación por contracciones totales utilizados en las 10 especies maderables de plantaciones forestales de Costa Rica	21
Cuadro 4. Clasificación de la madera preservada según uso y riesgo esperado de servicio para las 10 especies maderables de plantaciones forestales de Costa Rica	24
Cuadro 5. Cuadro de clasificación utilizado en los ensayos de trabajabilidad para las 10 especies maderables de plantaciones forestales de Costa Rica	25
Cuadro 6. Comparación de las características de aprovechamiento, troceo, transporte y durabilidad de trozas de 10 especies maderables estudiadas provenientes de plantaciones de Costa Rica	178
Cuadro 7. Comparación de la descripción general de la madera de 10 especies maderables estudiadas provenientes de plantaciones de Costa Rica	179
Cuadro 8. Comparación de la descripción macroscópica de la madera de 10 especies maderables estudiadas provenientes de plantaciones de Costa Rica	181
Cuadro 9. Clave dicotómica macroscópica de 10 especies maderables estudiadas provenientes de plantaciones de Costa Rica	183
Cuadro 10. Comparación de las características de los vasos de la madera de 10 especies estudiadas provenientes de plantaciones de Costa Rica	184
Cuadro 11. Comparación de las características de las fibras y parénquima radial de la madera de 10 especies estudiadas provenientes de plantación de Costa Rica	185
Cuadro 12. Comparación de las características del parénquima axial de la madera de 10 especies estudiadas provenientes de plantación de Costa Rica	186
Cuadro 13. Clave dicotómica microscópica de las 10 maderas estudiadas provenientes en la reforestación de Costa Rica	187
Cuadro 14. Comparación de las propiedades físicas de 10 especies maderas estudiadas provenientes de plantación de Costa Rica	188

Cuadro 15. Comparación de las propiedades mecánicas en condición seca (12% de contenido de humedad) de la madera de 10 especies estudiadas provenientes de plantación de Costa Rica	189
Cuadro 16. Comparación de las propiedades mecánicas en condición verde de la madera de 10 especies estudiadas provenientes de plantación de Costa Rica	190
Cuadro 17. Comparación de las propiedades químicas de la madera de 10 especies estudiadas provenientes de plantación de Costa Rica	192
Cuadro 18. Comparación de las características de aserrío de 10 especies maderables estudiadas provenientes de plantación de Costa Rica	193
Cuadro 19. Comparación de las propiedades secado al aire de 10 especies maderables estudiadas provenientes de plantación de Costa Rica	195
Cuadro 20. Comparación de los parámetros en el secado de 10 especies maderables estudiadas provenientes de plantación de Costa Rica en madera de 25 mm de espesor	196
Cuadro 21. Comparación de la clasificación de defectos antes y después del secado presente de 10 especies estudiadas provenientes de plantación de Costa Rica	196
Cuadro 22. Comparación de las propiedades de preservación por inmersión-difusión y vacío-presión de 10 especies maderables estudiadas provenientes de plantación de Costa Rica	198
Cuadro 23. Comparación de la resistencia ante hongos e insectos de 10 especies maderables estudiadas provenientes de plantación de Costa Rica	199
Cuadro 24. Comparación de la trabajabilidad de la madera de 10 especies estudiadas provenientes de plantación de Costa Rica	200

Contenido de Figuras

Pág.

Figura 1. Ubicación geográfica de las diferentes plantaciones muestreras en Costa Rica	16
Figura 2. Tipos de corte utilizados en la operación de corta de árboles en plantaciones forestales	18
Figura 3. Forma de obtener las muestras en la determinación de las propiedades físicas	20
Figura 4. Esquema de corte utilizado en la obtención de las muestras para las propiedades mecánicas de la madera	21
Figura 5. Patrón de corte aplicado en la obtención de la madera aserrada para el secado convencional	23

PRESENTACIÓN

En los últimos años la industria maderera se ha sometido a una inminente transformación, debido a que de manera paulatina ha dejado de recibir materia prima proveniente de bosques naturales para abrirle las puertas a la madera procedente de plantaciones forestales. Este hecho ha conllevado a un determinante cambio del sector forestal, el cual abarca desde los procesos industriales primarios y secundarios, hasta los mecanismos de comercialización de los productos forestales y en algunos casos otros recursos provenientes del bosque. En este escenario, tanto la academia como los diferentes centros de investigación de la región, se han visto en la necesidad de generar nuevo conocimiento sobre el procesamiento de especies maderables cultivadas en plantaciones forestales. Es por eso que el proyecto de investigación MADERHAS (Maderas de reforestación hacia la sostenibilidad), desarrollado en la Escuela de Ingeniería Forestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica y establecido en el año 2007, se dio a la tarea de estudiar 10 especies forestales de uso común en plantaciones de Costa Rica. Lo anterior con la finalidad de generar conocimiento científico y tecnológico necesario para una exitosa transformación de la madera proveniente de estos cultivos arbóreos.

La obra **“Tecnología de madera de plantaciones forestales: fichas técnicas”** es el medio por el cual diversos autores especializados, dan a conocer información tecnológica para ser utilizada por el sector forestal e industrial costarricense, con el propósito de optimizar la utilización de la madera de las especies estudiadas. El contenido del libro cubre áreas técnicas que van desde el aprovechamiento forestal y el rendimiento en aserrío hasta información sobre el comportamiento de las especies en procesos de secado y preservación. Además, extensa información referente a las descripciones de la anatomía de la madera de cada una de las especies, sus propiedades físicas, mecánicas y químicas, así como datos fundamentales sobre durabilidad y trabajabilidad.

El libro está compuesto por 11 fichas técnicas, de las cuales 10 pertenecen a cada especie estudiada. En las fichas técnicas de cada especie, se organiza la información de manera general en cuadros de fácil lectura y observación de los datos y análisis desarrollados por los autores. Adicionalmente se presenta una gama de fotografías capturadas durante las investigaciones, como muestra visual de los principales resultados obtenidos. Cabe destacar que la última ficha técnica de la obra es una comparación de todas las características y atributos de las 10 especies de estudio, una valiosa herramienta que puede ser empleada para la toma de decisiones en la selección de especies a utilizar para un fin determinado o bien los procesos adecuados a los cuales se puede someter una o varias de las especie maderables descritas. El libro no puede considerarse como un texto tradicional de tecnología de la madera, sino más bien como una herramienta para ser usada en el procesamiento de la madera de las especies *Acacia mangium*, *Alnus acuminata*, *Bombacopsis quinata*, *Cupressus lusitanica*, *Gmelina arborea*, *Swietenia macrophylla*, *Tectona grandis*, *Terminalia amazonia*, *Terminalia oblonga* y *Vochysia guatemalensis*.

Considero que **“Tecnología de madera de plantaciones forestales: fichas técnicas”** hace referencia a un importante hecho: utilizar información veraz sobre las propiedades de la madera y aplicar la tecnología adecuada para el procesamiento, secado y preservación de la madera, permite obtener de manera sostenible resultados de alta calidad en los productos forestales obtenidos de madera cosechada en plantaciones. Este importante señalamiento apunta a un futuro promisorio para el sector forestal, así como para el aprovechamiento y conservación de los recursos naturales y su biodiversidad.

Nancy Gamboa Badilla, M.Sc.
Escuela de Ingeniería Forestal
Instituto Tecnológico de Costa Rica
Agosto 2011

Tecnología de madera de plantaciones forestales: Fichas técnicas

Resumen

La industria maderera de Costa Rica se abastece principalmente de productos de plantaciones forestales, aunque curiosamente los consumidores nacionales perciben este tipo de maderas de baja calidad y de propiedades inferiores. Para paliar esa percepción, el proyecto denominado MADERHAS (Maderas de Reforestación Hacia la Sostenibilidad), de la Escuela de Ingeniería Forestal del ITCR, generó información técnica concerniente a las propiedades físicas, mecánicas y químicas, así como su comportamiento en el aprovechamiento, aserrío, secado, preservado y las operaciones en la elaboración de productos, cuya materia prima es originaria de ese tipo de plantaciones. Se presenta a manera de fichas técnicas, datos e información confiable sobre 10 especies maderables provenientes de plantaciones forestales; ofreciendo a los consumidores y al sector forestal costarricense e internacional, elementos técnicos y de apoyo en la toma de decisiones acertadas, especialmente cuando las personas seleccionen alguna de las especies evaluadas en este estudio; procurando en todo momento, que los consumidores elijan correctamente las especies de acuerdo con sus expectativas y necesidades reales. En Costa Rica muchas especies forestales han sido probadas en condiciones de reforestación, esto para diversas variedades de especies nativas y exóticas. En este estudio fueron seleccionadas 10 especies tropicales de rápido crecimiento, de uso común en plantaciones por su valor comercial: *Acacia mangium* (acacia), *Alnus acuminata* (jaúl), *Bombacopsis quinata* (pochote), *Cupressus lusitanica* (ciprés), *Gmelina arborea* (melina), *Swietenia macrophylla* (caoba), *Tectona grandis* (teca), *Terminalia amazonia* (amarrillón), *Terminalia oblonga* (surá) y *Vochysia guatemalensis* (cebo). De

estas, tres son especies exóticas (teca, melina y acacia) y las restantes siete son nativas. Para cada especie se evaluaron 13 variables que van desde características propias del aprovechamiento del árbol a aquellas que son intrínsecas de la madera, tales como: descripción general, propiedades macro y microscópicas, propiedades mecánicas y químicas, propiedades en el secado y la preservación, desempeño en el aserrío y trabajabilidad. Estas variables fueron cuantificadas mediante muestreos de plantaciones forestales con edades entre 9 y 13 años, densidades de 338 a 575 árboles/ha y diferentes intensidades de manejo. En todos los casos se utilizaron árboles de un segundo raleo. La determinación de las propiedades físicas, mecánicas y químicas se realizó con una muestra de nueve árboles de plantación y específicamente se extrajo material a 1,30 m de altura de la base del árbol. Para el resto de las propiedades, se utilizó el material remanente de estos árboles, o bien, se extrajeron nuevos árboles. En la etapa de aprovechamiento, los mayores tiempos de corta se encontraron en los individuos de *Terminalia amazonia* y de *Terminalia oblonga*, debido a que estos desarrollan gambas muy extendidas, lo que dificulta un adecuado direccionamiento de la caída del árbol. *Bombacopsis quinata* posee

números agujijones en el fuste, lo que dificulta la manipulación de las trozas y *Cupressus lusitanica* desarrolla gran cantidad de ramas, que obstaculiza el desrame. Las 10 especies de maderas tropicales evaluadas no desarrollaron elementos anatómicos que puedan afectar los procesos industriales. Con base en las propiedades físicas y mecánicas, *Alnus acuminata*, *Bombapcosis quinata*, *Cupressus lusitanica*, *Gmelina arborea*, *Vochysia guatemalensis* y *Swietenia macrophylla* se clasificaron como maderas de moderado peso específico y de moderada resistencia mecánica. En las 10 especies evaluadas, la madera presentó la propiedad química ligera acidez, la cual no interfiere con el futuro desempeño de la madera con respecto a esa propiedad. En *Acacia mangium* y *Tectona grandis*, se observó altos contenidos de extractivos que pueden afectar el uso de adhesivos, si no se usan los productos y procedimientos adecuados. En el proceso de aserrío se presentaron torceduras producto de las tensiones de crecimiento en todas las especies evaluadas, aunque de mayor gravedad en *Terminalia amazonia* y *Acacia mangium*. Los rendimientos obtenidos fueron normales para el tamaño de las trozas evaluadas en las 10 especies. Se encontró que el secado de la madera de *Gmelina arborea*, *Acacia mangium* y *Vochysia guatemalensis* requiere tiempos prolongados y que durante el mismo, aparecen nuevos defectos en las tablas, por lo que se debe extremar los cuidados en esta etapa de industrialización. Para el resto de las especies, los tiempos de secado y el desarrollo de defectos mostraron valores similares a otras especies de bosques naturales. La preservación con presión en madera de albura fue posible en todas las especies evaluadas (excepto en *Cupressus lusitanica*); no así en madera de duramen. La preservación con inmersión difusión se logró en todas las especies, tanto para madera de albura como de duramen, excepto el *Cupressus lusitanica*, que solo permitió la impregnación de la albura. De acuerdo con los resultados obtenidos, *Alnus acuminata* y *Vochysia guatemalensis* se clasificaron como madera de baja durabilidad, mientras que *Tectona grandis* y *Acacia mangium* como maderas de alta durabilidad. El resto de las especies se clasificó como de mediana durabilidad. La madera de *Alnus acuminata*

presentó problemas en aspectos de trabajabilidad. De manera general, se puede afirmar que los problemas de trabajabilidad en operaciones como el lijado, el taladrado y el escopleado, se incrementan en la medida que aumenta el peso específico básico de la madera.

Palabras clave: *Acacia mangium*, *Alnus acuminata*, Aprovechamiento, Aserrío, *Bombapcosis quinata*, Costa Rica, *Cupressus lusitanica*, Desempeño y calidad de aserrío, Durabilidad de trozas, Fichas técnicas, *Gmelina arborea*, Macroscópica de la madera, Madera de plantaciones forestales, Microscópica de la madera, Muestreo, Plantaciones forestales, Preservación, Propiedades físicas y mecánicas de la madera, Propiedades químicas de la madera, Secado al aire, Secado al horno, *Swietenia macrophylla*, Tecnología de madera, *Tectona grandis*, *Terminalia amazonia*, *Terminalia oblonga*, Trabajabilidad, Transporte, Troceo, *Vochysia guatemalensis*.

Forest Plantation Wood Technology: Technical sheets

Abstract

Costa Rican forest products Industry is supplied mainly by raw material from forest plantations, although local consumers see these products as low quality and poor property ones. In order to change this perception, Forestry Engineering School project MADERHAS (Reforestation woods towards sustainability) generates technical information concerning physical, mechanical and chemical properties as well as in utilization, sawmilling, drying, preservation and all the operations concerning product manufactory, using raw material produced in forest plantations. Reliable data and information on 10 wood species from forest plantations is presented by means of technical sheets providing technical knowledge and support to the consumer and the local and foreign forest sector for decision making, when they choose one of the included species giving them elements for the correct selection according to their real needs and expectations. Many different native and introduced species were tried in plantation conditions in Costa Rica. In this study, 10 fast growth tropical species of commercial interest were selected: *Acacia mangium* (acacia), *Alnus acuminata* (alder), *Bombacopsis quinata* (pochote), *Cupressus lusitanica* (ciprés), *Gmelina arborea* (melina), *Swietenia macrophylla* (mahogany), *Tectona grandis* (teak), *Terminalia amazonia* (amarillón), *Terminalia oblonga* (surá) and *Vochysia guatemalensis* (cebo). Three (teak, melina and acacia) are introduced and the remaining are native. Sampled plantations ranged from 9 to 13 years old and densities from 338 to 575 trees/ha, with different management intensities. Initial spacing was 3 x 3 m., and initial density de 111 trees/ha. In all cases second thinning trees were selected. Physical, mechanical and chemical properties

were obtained from 9 trees for each plantation at a "d" (1.30 m. from base) height. The remaining material was used to determine other properties. If necessary other trees were used to complete the study. Thirteen study variables are included in the 10 technical sheets □ logging, transport, log durability, general and macroscopic description of wood, microscopic description, physical, mechanical and chemical properties, sawmilling quality and performance, air drying, kiln drying, preservation, durability and workability. The book includes 2 sections that summarize comparative data of species in a series of tables, conclusions and recommendations.

The most relevant conclusions are:

- *Terminalia amazonia* and *T. oblonga* produced longer logging times because they have large buttresses which makes it difficult to guide the tree felling.

- *Bombacopsis quinata* and *Cupressus lusitanica* transport is affected due to spikes and pruning cuts due to branch size.

- Wood anatomy of these species is typical for planted trees under tropical conditions which do not develop anatomical features that have an effect on later industrial processes.

- *Alnus acuminata*, *Bombacopsis quinata*, *Cupressus lusitanica*, *Gmelina arborea*, *Vochysia guatemalensis* and *Swietenia macrophylla* are species with moderate specific gravity and mechanical strength.

- Chemical analysis showed a slight acidity in wood which will not affect its properties. *Acacia mangium* and *Tectona grandis*, are species with high extractives content which may affect gluing performance if the right adhesives are not used or suitable procedures are not followed.

- Concerning sawmilling performance, as expected some twisted wood due to growth tension is produced in all species from which *T. Amazonia* and *A. mangium* are the most troublesome.

- Sawmilling yield was normal for the size of the logs.

- *Gmelina arborea*, *Acacia mangium*, and *Vochysia guatemalensis* showed long drying periods with many drying defects which call for especial attention during this part of the process. For the remaining species drying time and defect development is comparable to other natural forest species.

- Pressure treatment showed no heartwood penetration and sapwood penetration was possible in all species but *Cupressus lusitanica*. Dip-diffusion treatment showed good penetration in all species but *C. lusitanica* in which only sapwood was penetrated.

- *Alnus acuminata* and *Vochysia guatemalensis* showed low durability while *Tectona grandis* and *Acacia mangium* showed the highest one. The remaining species showed moderate durability.

- *A. acuminata* showed some workability problems with an increase in sanding, drilling and chiseling problems as specific gravity increases.

Key Words: *Acacia mangium*, *Alnus acuminata*, sawmilling, *Bombacopsis quinata*, Costa Rica, *Cupressus lusitanica*, Sawing quality and performance, Log durability, Technical sheets, *Gmelina arborea*, Wood macroscopic, Forest plantation wood, Wood microscopic, Sampling, Forest plantations, Preservation, Physical and mechanical properties of wood, Air drying, Kiln drying, *Swietenia macrophylla*, Wood technology,

Tectona grandis, *Terminalia Amazonia*, *Terminalia oblonga*, Workability, Transport, Logging, *Vochysia guatemalensis*.

INTRODUCCIÓN

Actualmente el mercado e industria maderera costarricense se abastecen en un alto porcentaje de madera proveniente de especies de plantación y en un porcentaje, cada vez menor, de maderas cosechadas en el bosque natural. A pesar de esta iniciativa, las primeras experiencias en los procesos de comercialización de las especies de plantación no han dado los resultados esperados, debido a que el consumidor asocia esta madera como de baja calidad, propiedades inferiores y con algunos problemas en procesos industriales.

Un aporte de **Maderas de Reforestación Hacia la Sostenibilidad (MADERHAS)** llevado a cabo en la Escuela de Ingeniería Forestal del Instituto tecnológico de Costa Rica, es dar a conocer las propiedades físicas, mecánicas y químicas, comportamiento en procesos de secado y preservación, aprovechamiento forestal, rendimiento en aserrío, descripciones anatómicas, durabilidad y trabajabilidad de algunas especies de uso común a nivel nacional bajo el régimen de plantaciones. La necesidad de información para la transformación primaria y secundaria de estas especies por parte del sector forestal e industrial costarricense, es cada vez más relevante, ya que forma parte del conocimiento básico tecnológico, industrial y comercial de cualquier especie forestal maderable.

Los resultados obtenidos con *Acacia mangium*, *Alnus acuminata*, *Bombacopsis quinata*, *Cupressus lusitanica*, *Gmelina arborea*, *Swietenia macrophylla*, *Tectona grandis*, *Terminalia amazonia*, *Terminalia oblonga* y *Vochysia guatemalensis*, indican que éstas especies tienen propiedades aceptables para su procesamiento y utilización. Además se estima que con la tecnología existente en Costa Rica es posible procesar, secar y preservar estas especies tanto de raleos y por supuesto de cosecha final.

Países desarrollados como Estados Unidos de América, Canadá, Alemania, Finlandia, Chile, Suecia, para citar algunos, le han dado a la madera, una amplia utilización como material de construcción,

diseñando y construyendo estructuras en madera de envergadura considerable. La clave ó éxito de estos países es que le han dado a la madera un manejo tecnológico y sostenible en todas sus etapas.

No obstante, todavía se presentan vacíos de conocimiento, de éstas y otras potenciales especies, respecto a sus características y propiedades, por lo que ha sido difícil la introducción, aceptación y posicionamiento de estas maderas en productos de mayor valor agregado. Una forma de mitigar esta desventaja es desarrollar nuevas opciones productivas mediante la diversificación de productos madereros y bajo el concepto de productos de ingeniería en maderas, lo que es vital para incursionar competitivamente en nuevos mercados. Por lo que, conocer las propiedades de las especies, es fundamental y una forma de incentivar el uso de un recurso renovable y reutilizable como lo es la madera procedente de plantaciones, disminuyendo de esta forma las presiones políticas y ambientales sobre los bosques naturales nativos.

Agradecimientos

Especial agradecimiento al personal técnico y administrativo del Centro de Investigación en Integración Bosque Industria, entre el personal técnico: Carlos Olivares Gutiérrez, Adrián Gutiérrez Hernández, Rodrigo Víquez Vega, José María Jiménez Quesada, Robert Cubero Abarca, José Antonio Córdoba Artavia, Rodrigo Quesada Siles y Xinia Cerdas Segura. A las empresas Maderas cultivadas de Costa Rica S.A. Precious Woods of Central América (MACORI), Ecodirecta Groups and Ganadera Barza S.A. Escuela de Agricultura y Ganadería del Trópico Húmedo, (EARHT), BARCA S.A. por el suministro del material de estudio. Así mismo, el agradecimiento por el apoyo financiero a la Vicerrectoría de Investigación y Extensión del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

METODOLOGÍA APLICADA

1. Especies seleccionadas y ubicación geográfica

En Costa Rica se ha reforestado con una gran variedad de especies nativas y algunas introducidas. No obstante, un grupo aproximado de 15 especies ha presentado buen crecimiento, producción y desarrollo en plantaciones forestales. De ellas, en el presente estudio se seleccionaron 10 especies tropicales de rápido crecimiento en plantaciones y de interés comercial en Costa Rica. Las especies analizadas fueron *Acacia mangium* (acacia), *Alnus acuminata* (jaúl), *Bombacopsis quinata* (pochote), *Cupressus lusitanica* (ciprés), *Gmelina arborea* (melina), *Swietenia macrophylla* (caoba), *Tectona grandis* (teca), *Terminalia amazonia* (amarrillón), *Terminalia oblonga* (surá) y *Vochysia guatemalensis* (cebo). En este grupo de especies, tres son exóticas (teca, melina y acacia) y las restantes siete nativas.

La ubicación geográfica de las plantaciones muestreadas cambió entre las especies. En la parte central del país, correspondiente a especies de altura, se ubican las plantaciones de las cuales se extrajo el material para analizar las especies *A. acuminata* y *C. lusitanica*. En la región con clima tropical seco, Pacífico Norte de Costa Rica, se ubican las plantaciones de las que se obtuvo el material de las especies *S. macrophylla*, *B. quinata* y *T. oblonga*. Las plantaciones de las especies *T. grandis*, *G. arborea* y *V. guatemalensis* estaban ubicados en una región con clima tropical húmedo a muy húmedo. Por su parte, las plantaciones de *T. amazonia* y *Acacia mangium* se ubican en la región del Pacífico sur y central de Costa Rica, con clima tropical seco a lo largo de un periodo de cuatro meses.

2. Muestreo

Selección de árboles y muestreo dentro del árbol

Las plantaciones muestreadas presentaban rangos de edad entre 9 y 13 años, densidades entre 338 a 575 árboles/ha y diferentes intensidades de manejo, los cuales son detallados en el cuadro 1. En todas las plantaciones, el espaciamiento inicial fue de 3 x 3 m, significando una densidad inicial de 1 111 árboles/ha. En la selección de los árboles a



Figura 1. Ubicación geográfica de las diferentes plantaciones muestreadas en Costa Rica.

muestrear se establecieron dos parcelas temporales, distribuidas en un área de aproximadamente 1 hectárea representativa de toda la plantación. En ella fueron tomados los datos de diámetro a 1,30 m de altura del suelo (d), altura total de los árboles y altura de inicio de la copa. Posteriormente con los datos de diámetro se confeccionó la distribución de frecuencia acumulada de los diámetros presentes en la plantación muestreada y se dividió en tres partes correspondientes a los terciles de la distribución. Tres categorías de dominancia respecto al diámetro fueron establecidas: grueso, medio y delgado. En cada categoría se seleccionaron tres árboles al azar, dando como resultado nueve árboles por cada plantación. Se tuvo el cuidado de que los árboles fueran rectos, sin bifurcaciones y sin daños visibles.

Para cada uno de los árboles seleccionados fueron cortados dos discos de 4 cm de espesor a la altura “d” (1,30 m de la base) y posteriormente fueron cortadas dos trozas: una en el tramo comprendido entre la base del árbol y el “d” y la segunda troza entre “d” y una altura de 2,5 cm. Estas dos trozas fueron utilizadas en la determinación de las propiedades mecánicas de la madera y un disco en las propiedades físicas y químicas de la madera. El resto del árbol hasta alcanzar un diámetro de 13 cm fue cortado en trozas con un largo de 2,5 m para ser utilizadas en la evaluación de otras propiedades de la madera, tales como el aserrío, el secado y la preservación.

Cuadro 1. Condiciones y manejo aplicado a las plantaciones forestales muestreadas de las 10 especies maderables de plantación de Costa Rica.

Especie	Edad (años)	Densidad de plantación (árboles/ha)	Altura total (m)	Diámetro altura de pecho (cm)	Manejo
<i>Acacia mangium</i>	9	556	17,1	20,5	A la edad de 4 años fue aplicado un raleo del 50% de los árboles existentes.
<i>Alnus acuminata</i>	9	338	19,0	26,7	Se aplicaron limpiezas anuales de la vegetación arbustiva y a las edades de 3 y 6 años se ejecutaron raleos de mantenimiento.
<i>Bombacopsis quinata</i>	15	240	24,5	31,3	Fue aplicado un raleo sanitario y un raleo del 50% a la edad de 7 años
<i>Cupressus lusitanica</i>	18	408	19,24	28,02	Se aplicaron limpiezas anuales de la vegetación arbustiva y a las edades de 6 y 10 años se ejecutaron raleos de mantenimiento.
<i>Gmelina arborea</i>	12	320	20,4	26,12	Raleo sanitario y un raleo de 50% a la edad de 4 y 8 años
<i>Swietenia macrophylla</i>	10	480	16,7	21,5	Fue aplicado un raleo sanitario y un raleo del 50% a la edad de 8 años.
<i>Tectona grandis</i>	13	475	21,85	30,2	Recibieron las primeras prácticas de mantenimiento (raleos y podas) a la edad de 6 años.
<i>Terminalia amazonia</i>	14	452	21,40	22,59	Fue aplicado un raleo sanitario y dos raleos del 50% a la edad de 5 y 9 años.
<i>Terminalia oblonga</i>	10	495-575	20,70	18,50	Fue aplicado un raleo sanitario y un raleo del 50% a la edad de 8 años.
<i>Vochysia guatemalensis</i>	8	515	22,7	18,5	A la edad de 4 años fue aplicado un raleo del 50% de los árboles existentes.

3. Aprovechamiento

La operación de aprovechamiento se aplicó en un área representativa (1 hectárea) de cada plantación, en todas las plantaciones se aplicó un segundo raleo. Para la corta de los árboles se utilizó una motosierra Husqvarna 55 y fueron evaluados los siguientes aspectos:

Facilidad de corte: se realizó una entrevista a los operarios encargados de la corta de los árboles, donde emitieran su opinión, de acuerdo con su experiencia sobre la facilidad o no del corte de los árboles. Así mismo, se observó y anotó el tipo de corte aplicado en el momento del volteo de los árboles: a) de dirección abierta, conocido como tradicional, b) de dirección abierta con ángulo de abertura grande y c) de dirección revés o "Humboldt" (Figura 2).

Caída natural y cambio de dirección de caída: la caída natural se evaluó de manera visual y por medio de preguntas a operarios, en las que se consultó si los árboles presentaban una caída natural definida. El cambio de dirección de caída es referido a la facilidad o no de cambiarla.

Fisonomía del fuste: la fisonomía del fuste de cada una de las especies se evaluó mediante la observación de las siguientes características: rectitud, torceduras, presencia de nudos, achatamiento, conicidad, porcentaje de curvatura.

Desafilado de sierras: se midió el grado de desafilado que producía en las sierras cada una de las especies.

Susceptibilidad a quebraduras: se evaluó por la presencia de quebraduras al momento de caer el árbol.

Trozas por árbol: la cantidad de trozas por árbol se calculó promediando el número de trozas obtenido de un árbol durante las operaciones de corta y el raleo de la plantación.

Frecuencia de ramas y operación de desrame: fue contado el número de ramas desde la base del árbol hasta la altura comercial, posteriormente se calculó la frecuencia de ramas (ramas/metro lineal de troza). En la operación de desrame se evaluó la facilidad y la rapidez de esta operación, considerando la frecuencia y el grueso de las ramas.



Figura 2. Tipos de corte utilizados en la operación de corta de árboles en plantaciones forestales.

4. Troceo, transporte y durabilidad de trozas

Troceo: fue evaluado por la observación de la operación, considerando las facilidades que presentó la especie al hacer el corte transversal en el fuste.

Acarreo: primeramente se cuantificó el transporte por el peso de una troza con una longitud de 2,5 m y un diámetro de 20 cm, que corresponde al peso que puede transportar una persona de forma manual. Para ello fue necesario calcular la densidad en condición verde y el volumen de la troza con las dimensiones antes mencionadas. Igualmente se evaluó la necesidad de cargar trozas con animales o equipo especializado.

Apilado: se determinaron las facilidades de realizar esta actividad con el uso de fuerza humana o con equipos especializados. Así como el aspecto de conformación de la pila.

Durabilidad de trozas: durante el aprovechamiento, se dejaron dentro de la plantación diez trozas de cada especie. A los 6 y 12 meses de permanecer en el sitio, se realizaron observaciones acerca de la degradación de la madera por hongos, insectos, presencia de rajaduras y otros daños o defectos en las trozas.

5. Descripción general y macroscópica de la madera

La descripción general de la madera (color de la madera, marcación entre albura y duramen, textura, brillo, olor, sabor, grano y densidad) y la estructura macroscópica fueron consideradas usando como referencia los términos establecidos por Espinosa y León (2001). Además, se consultaron los términos usados por la Asociación Internacional de Anatomistas de las Maderas Latifoliadas (IAWA, 1989) y los criterios de la Comisión Pan-Americana de Normas (COPAN, 1974). Así mismo, el color de la madera fue dado con base en la tabla de colores de Munsell, la cual es utilizada para establecer los colores de suelo (Mac Corporation, 1994).

6. Descripción microscópica de la madera

La descripción microscópica de la madera fue desarrollada utilizando las normas de la Asociación Internacional de Anatomistas de las Maderas Latifoliadas (IAWA, 1989). En la preparación de las láminas se realizaron cortes histológicos de 12-17 μm de espesor en los planos transversal, tangencial y radial. Estos cortes fueron pegados en láminas con bálsamo de Canadá (Johansen, 1940) y observados en el microscopio de luz para elaborar la descripción. Los elementos anatómicos que fue necesario medir, se prepararon por medio de imágenes digitales y luego con la ayuda del software Imagen Tool© desarrollado por el Health Science Center de la Universidad de Texas (UTHSCSA, 2006) se midieron.

7. Propiedades físicas

Sobre el disco cortado transversalmente a 1,30 m de altura a partir de la base del árbol, se determinaron las propiedades físicas. Una sección diametral del disco fue cortada con un ancho de 3 cm y posteriormente separada en la médula, por lo que se obtuvieron dos muestras, una de la parte norte y otra de la parte sur del disco (Figura 3). En los sobrantes del disco se cortaron dos muestras para la determinación de la contracción tangencial y radial.

Las propiedades físicas evaluadas se determinaron siguiendo los lineamientos D-2395-02, D-143-94 y D-5865-04 de los Estándares Americanos de Pruebas de Materiales (ASTM, 2003j, 2003k, 2003l) y las siguientes propiedades fueron evaluadas:

- Peso específico en tres condiciones: básico, seco al aire o al 12% de contenido de humedad y seco al horno.
- Densidad de la madera en tres condiciones: densidad verde, seca al aire o al 12% de contenido de humedad y seca al horno.
- Contenido de humedad en condición verde.
- Poder calórico en dos condiciones: verde y seco al aire o al 12% de contenido de humedad.
- Contracciones radial, tangencial, volumétrica en dos condiciones: de verde hasta un 2% de contenido de humedad y de verde hasta seca al horno, la primera se denomina normal y la segunda como total.
- Razón de Contracción tangencial/radial.

El valor del peso específico fue clasificado con base en la propuesta de Hess et al. (1950) para especies tropicales de México. El detalle de esta clasificación se presenta en el cuadro 2. Así mismo, las contracciones para cada una de las especies

y los índices de estabilidad (relación contracción tangencial y contracción radial) se clasificaron acorde con la propuesta de Barcenás (1985), detallado en el cuadro 3.

Cuadro 2. Rangos generales de clasificación de maderas por peso específico básico utilizado en las 10 especies maderables de plantaciones

Peso específico básico	Clasificación
≤ 0,20	Extremadamente liviana
0,20 – 0,25	Excesivamente liviana
0,25 – 0,30	Muy liviana
0,30 – 0,36	Liviana
0,36 – 0,42	Moderadamente liviana
0,42 – 0,50	Moderadamente pesada
0,50 – 0,60	Pesada
0,60 – 0,72	Muy pesada
0,72 – 0,86	Excesivamente pesada
≥ 0,86	Extremadamente pesada

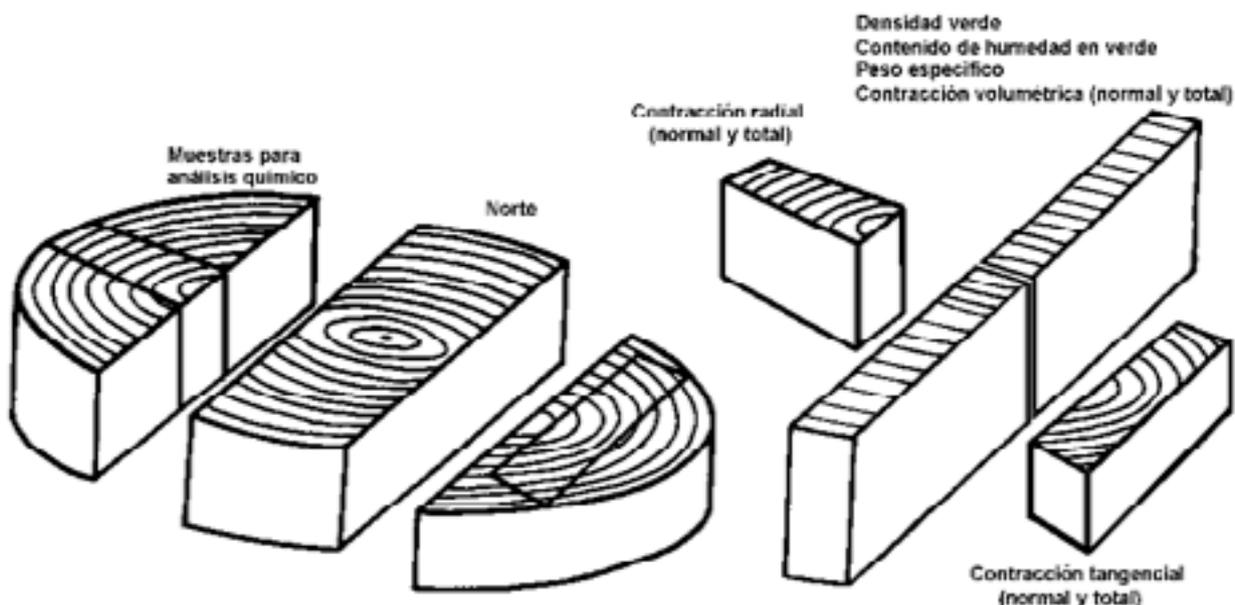


Figura 3. Forma de obtener las muestras en la determinación de las propiedades físicas.

Cuadro 3. Rangos generales de clasificación por contracciones totales utilizados en las 10 especies maderables de plantaciones forestales de Costa Rica.

Clasificación para contracción de la madera (%)			
	Tangencial	Radial	Volumétrica
Muy baja	0 - 3,5	0 - 2,0	0 - 5,5
Baja	3,6 - 5,0	2,1 - 3,0	5,6 - 8,0
Mediana	5,1 - 6,5	3,1 - 4,0	8,1 - 10,5
Alta	6,6 - 8,0	4,1 - 5,0	10,6 - 13,0
Muy alta	≥ 8,1	≥ 5,1	≥ 13,1

Clasificación para relación de contracción tangencial/contracción radial (%)	
(Índice de distorsiones y alabeos)	
Baja	1,0 - 1,7
Alta	1,71 - 2,3
Muy alta	≥ 2,3

Fuente: Barcenas, G. 1985.

8. Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas se evaluaron a partir de las dos trozas obtenidas de la base del árbol, a las cuales se les aplicó el patrón de corte establecido en el estándar D-5536-94 (ASTM 2003i). Para ello, en la parte central del árbol se cortaron bloques de tipo cruciforme con dimensiones de 6 cm x 6 cm de sección transversal, para luego obtener piezas de 5 cm x 5 cm o bien piezas de 2,5 cm x 2,5 cm (Figura 4). Las propiedades mecánicas determinadas fueron módulo de ruptura (MOR) y módulo de elasticidad en flexión estática (MOE), esfuerzo máximo en compresión paralela a la fibra, esfuerzo máximo en compresión perpendicular a la fibra, esfuerzo máximo en tensión paralela a la fibra, esfuerzo máximo en cortante paralela a la fibra tangencial y radial, esfuerzo máximo en tensión perpendicular a la fibra tangencial y radial, esfuerzo máximo en clivaje tangencial y radial, dureza janka axial y lateral y esfuerzo en extracción de clavos axial y lateral. Todos estos esfuerzos de la madera se determinaron siguiendo las normas

o estándares ASTM D -143-94 (ASTM 2003k), en madera bajo dos condiciones de humedad, seca al 12% de contenido de humedad denominado seca al aire y en condición verde.

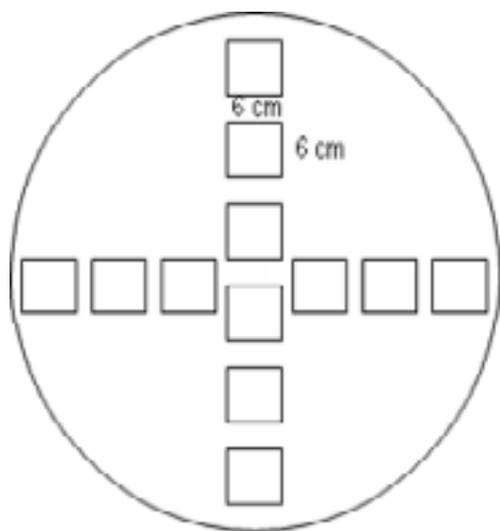


Figura 4. Esquema de corte utilizado en la obtención de las muestras para las propiedades mecánicas de la madera. Fuente: ASTM D-5536-94 (ASTM, 2003k).

9. Propiedades químicas

La determinación de las propiedades químicas se realizó a través de la extracción de aserrín, resultante de la obtención de los discos al diámetro “d” (Figura 2). El aserrín obtenido de los nueve árboles se aglomeró en tres grupos (árboles 1-2-3, árboles 4-5-6 y los árboles de 7-8-9). Para los análisis químicos se tomaron tres muestras por cada grupo de árboles. Los análisis químicos comprendieron los siguientes parámetros:

- Porcentaje de holocelulosa aplicando los procedimientos de Wise y Murphy (1946) y Erickson (1962).
- Porcentaje de lignina aplicando norma Tappi T 222 om-02 (Tappi, 2002) y norma ASTM D 1106 (ASTM, 2003a)
- Solubilidad en 1 % Hidróxido de Sodio (NaOH) aplicando estándar ASTM-D 1109-84 (ASTM, 2003e)
- Solubilidad en agua (fría y caliente) estándar ASTM-D 1110-84 (ASTM, 2003f)
- Solubilidad diclorometano (CH₂-Cl₂) estándar ASTM-D 1108-96 (ASTM, 2003d)
- Solubilidad en etanol-tolueno estándar ASTM-D 1107-96 (ASTM, 2003h)
- Contenido de cenizas estándar ASTM D 1102-84 (ASTM, 2003g)
- Contenido de sílice (SiO₂) metodología propuesta de Moore y Johnson (1967).
- Análisis químico de cenizas que comprende los macro y micro-nutrientes para ello utilizó la metodología de Sparks (1996).
- Determinación de pH utilizando la metodología de propuesta Moore y Johnson (1967).

10. Desempeño y calidad de aserrío

En el procesamiento se evaluó el desempeño de la especie por observación durante el proceso de aserrío de las trozas, para ello fue observado el desafilado de las sierras, la liberación de las tensiones de crecimiento o algún otro factor que afectara el aserrío de la trozas. Luego, el proceso de aserrío fue evaluado determinando la presencia de los siguientes defectos: rajaduras, grietas, arqueaduras, acanalado, alabeo y encorvadura. Para ello se utilizó la metodología sugerida por Hallock y Malcolm (1972) y Milota (1996). Además fue aplicado un estudio de rendimiento en las trozas, el cual comprende la relación en volumen de madera aserrada respecto al volumen de madera en troza.

11. Secado al aire

En el procesamiento se evaluó el desempeño de la especie por observación durante el proceso de aserrío de las trozas, para ello fue observado el desafilado de las sierras, la liberación de las tensiones de crecimiento o algún otro factor que afectara el aserrío de la trozas. Luego, el proceso de aserrío fue evaluado determinando la presencia de los siguientes defectos: rajaduras, grietas, arqueaduras, acanalado, alabeo y encorvadura. Para ello se utilizó la metodología sugerida por Hallock y Malcolm (1972) y Milota (1996). Además fue aplicado un estudio de rendimiento en las trozas, el cual comprende la relación en volumen de madera aserrada respecto al volumen de madera en troza.

12. Secado al horno convencional

El secado al horno fue realizado con madera de 2,5 cm de espesor por lo ancho, obtenido de trozas a las cuales se les aplicó el patrón de corte detallado en la figura 5. El proceso de secado fue conducido en un horno de 2 m³ de capacidad marca Nardi ®. Antes y después del secado, los defectos de rajaduras, grietas, arqueaduras, acanalado, alabeo y encorvadura fueron medidas. La medición de estos defectos se realizó con base en la metodología

sugerida por Hallock y Malcolm (1972) y Milota (1996). El control del contenido de humedad se basó en seis muestras testigos, las cuales fueron pesadas dos veces por día. Estas fueron usadas como referencia para realizar cambios tanto en la temperatura como en la humedad relativa dentro del horno. Tres muestras testigo y tres sondas se colocaron en ambos lados de la pila de madera a diferentes alturas (baja, media y alta). El programa de secado aplicado a cada una de las especies se detalla en cada una de las fichas de la madera

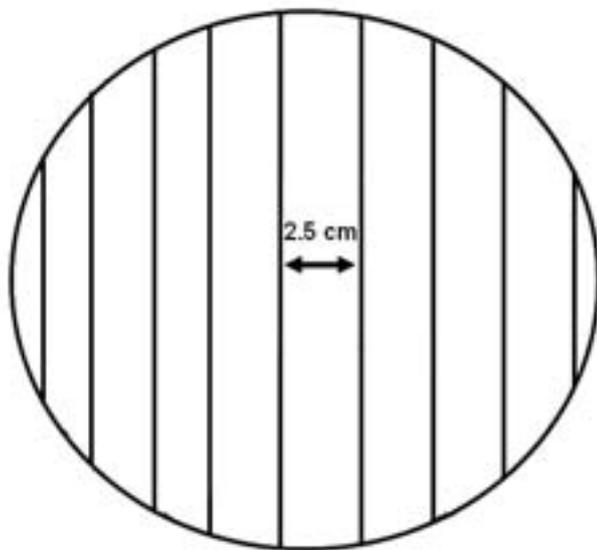


Figura 5. Patrón de corte aplicado en la obtención de la madera aserrada para el secado convencional

13. Preservación

La determinación de la preservación se dividió en dos métodos: (1) Método inmersión-difusión y (2) Sistema vacío-presión. En el primer método se prepararon muestras secas al aire con dimensiones de 7,5 cm de ancho y espesores de 1,25 cm, 2,50 cm, 3,75 cm, 5,00 cm, 6,25 cm y 7,50 cm. Estas muestras fueron sumergidas durante un minuto en la sustancia preservante compuesta por ácido bórico, borato de sodio y agua, con una concentración del 12%. Seguidamente, las muestras fueron cubiertas con plástico. Cada cuatro días, tres de las muestras se sacaron y se cortaron por la mitad, para medir la penetración y retención del preservante, siguiendo la metodología propuesta por Williams y Mauldin (1986). En el método de la preservación con vacío - presión, se utilizaron muestras al 12% de contenido de humedad y se utilizó una solución preservante al 2,8% de CCA-C, cuya composición es óxido de cobre (17%), óxido de cromo (44%) y óxido de arsénico (30%). A las muestras se les aplicó un vacío de 0,31 kg/cm² durante 30 minutos, luego se introdujo el preservante con una presión de 12 kg/cm² durante dos horas y como último paso se aplicó un vacío de 0,31 kg/cm² por un período de 10 minutos. La absorción se obtuvo por la diferencia del peso final y el peso inicial. La penetración se observó cortando las piezas en la parte transversal y por medio de una prueba colorimétrica y la aplicación de cromoazul. Este producto químico se torna azul oscuro en presencia de los óxidos de cobre contenidos en el CCA, entre más azul mayor penetración (FAO, 1986).

Cuadro 4. Clasificación de la madera preservada según uso y riesgo esperado de servicio para las las 10 especies maderables de plantaciones forestales de Costa Rica

Grupo	Descripción	Ejemplos	Retención (kg/m ³)
1	Maderas sobre el nivel del suelo y en ambientes ventilados	Cerchas, vigas, cielos, interiores, revestimientos, soleras superiores	3,5
2	Maderas en contacto con el suelo en exteriores y ambientes mal ventilados	Solares inferiores, pisos de terrazas, baños y cocinas, envigado de pisos	4,8
3	Maderas enterradas y empotradas, con alto costo de reposición	Postes de transmisión, envigados para minas, durmientes y poyos	9,6
4	Maderas enterradas y soportes aéreos expuestos	Postes para cercas, crucetas, empalizadas y rodrigones	6,5
5	Maderas expuestas a la acción de aguas dulces	Obras fluviales, muelles, embalses, embarcaciones y acueductos	9,6
6	Maderas expuestas a la acción de aguas marinas	Obras de contención, viveros marinos, muelles y embarcaciones	13,5
7	Maderas para torres de enfriamiento	Torres de enfriamiento	13,5

Fuente: INNC, 1992

14. Durabilidad

La durabilidad consistió de dos tipos: resistencia ante el ataque de termitas y resistencia al ataque de hongos. En el ataque de termitas no se realizó ningún tipo de ensayo específico para la mayoría de las especies, a excepción de la melina y la teca, en las que sí se realizaron ensayos utilizando la norma ASTM D-3345 (ASTM, 2003m). En el ensayo de durabilidad con hongos, se utilizaron las especies *Trametes versicolor* y *Pycnoporus sanguineus*. Los mismos fueron utilizados sobre un sustrato de suelo-bloque. De los árboles evaluados se tomaron muestras de madera cerca de la médula, a una distancia media entre médula-corteza, otra muestra próxima a la corteza y la última en la albura. Las dimensiones de las probetas fueron 2 cm x 2 cm x 2 cm. La metodología se trabajó

siguiendo la Norma ASTM designación D-2017-81 (ASTM, 2003c), para ensayos acelerados de resistencia natural a la pudrición.

15. Trabajabilidad

En la evaluación de la trabajabilidad, se utilizaron muestras secadas al horno en los ensayos de secado convencional y 30 tipos de muestras fueron utilizadas (10 muestras de corte transversal, 10 muestras de corte radial y 10 muestras de corte oblicuo). Los ensayos de trabajabilidad contemplaron las operaciones de cepillado, lijado, taladrado, moldurado, escopleado y torneado. Los ensayos se efectuaron siguiendo las especificaciones estipuladas en la Norma ASTM-D-1666-93 (ASTM, 2003b), con modificaciones propuestas para efectos de ensayos

de maderas tropicales “Normas de trabajabilidad del acuerdo de Cartagena”, adaptada para los ensayos de Costa Rica. Los criterios y clasificación se detallan en el siguiente cuadro.

Cuadro 5. Cuadro de clasificación utilizado en los ensayos de trabajabilidad para las 10 especies maderables de plantaciones forestales de Costa Rica

Tipo de ensayo	Categoría	Calificación	Descripción de parámetro evaluado y clasificación	
Cepillado	1	Excelente	80-100% del área libre de defectos	
	2	Buena	60- 80% del área libre de defectos	
	3	Aceptable	40- 60 % del área libre de defectos	
	4	Pobre	20- 40% del área libre de defectos	
	5	Muy pobre	0- 20% del área libre de defectos	
Lijado	1	Muy difícil	< 0,025 mm de remoción	
	2	Difícil	0,0251-0,05 mm de remoción	
	3	Poco difícil	0,051-0,075 mm de remoción	
	4	Fácil	0,0751-0,100 mm de remoción	
	5	Muy fácil	> 0,101 mm de remoción	
	1	Alta	> 37 °C	
	2	Media	34-37 °C	
	3	Baja	< 34 °C	
	1	Excelente	Sin rayas ni vellosidad	
	2	Muy Buena	Con muy pocas rayas y vellosidad	
	3	Buena	Con rayas y vellosidad por partes	
	4	Regula	Con rayas y vellosidad abundantes	
	5	Mala	Totalmente rayada o vellosa	
	Taladrado	1	Muy deficiente	< 0,1 mm espesor de viruta
		2	Deficiente	0,101-0,17 mm espesor de viruta
3		Poco eficiente	0,171-0,25 mm espesor de viruta	
4		Eficiente	0,251-0,32 mm espesor de viruta	
5		Muy eficiente	> 0,321 mm espesor de viruta	

Contin... Cuadro 5. Cuadro de clasificación utilizado en los ensayos de trabajabilidad

Tipo de ensayo	Categoría	Calificación	Descripción de parámetro evaluado y clasificación
Taladrado	1	Excelente	Sin defectos
	2	Muy buena	Con 1 o varios defectos, pero el daño no supera el 25% del área taladrada
	3	Buena	Con defectos de 1 o varios tipos pero el daño no supera el 50% del área y no es continuo
	4	Regular	Con 1 o varios defectos de hasta un 75% del área –daño continuo
	5	Mala	Con 1 o varios defectos que cubren más del 75% del área taladrada
Moldurado	1	Excelente	Sin defectos
	2	Muy buena	Con 1 o varios defectos, pero el daño no supera el 25% del área moldurada
	3	Buena	Con defectos de 1 o varios tipos pero el daño no supera el 50% del área y no es continuo
	4	Regular	Con 1 o varios defectos de hasta un 75% del área –daño continuo
	5	Mala	Con 1 o varios defectos que cubren más del 75% del área moldurada
Escopleado	1	Excelente	Sin defectos
	2	Muy buena	Con 1 o varios defectos, pero el daño no supera el 25% del área escopleada
	3	Buena	Con defectos de 1 o varios tipos pero el daño no supera el 50% del área y no es continuo
	4	Regular	Con 1 o varios defectos de hasta un 75% del área –daño continuo
	5	Mala	Con 1 o varios defectos que cubren más del 75% del área escopleada
Torneado	1	Excelente	Sin defectos
	2	Buena	Con 1 o varios defectos, pero el daño no supera el 25% del área
	3	Regular	Con defectos de 1 o varios tipos pero el daño no supera el 50% del área y no es continuo
	4	Mala	Con 1 o varios defectos de hasta un 75% del área –daño continuo
	5	Muy mala	Con 1 o varios defectos que cubren más del 75% del área

Cepillado: El área libre de defectos fue calculado de acuerdo a lo detallado en la norma ASTM-D-1666-93 (ASTM, 2003b).

Lijado: La norma no sugiere nada relacionado con el modo de clasificación del defecto, por lo que se estableció los parámetros detallados en el cuadro anterior.

Taladrado: La norma no sugiere nada sobre eficiencia del taladrado y facilidad del taladrado, tampoco refiere nada sobre tipos de broca. Debido a esto se está utilizando 4 condiciones: (1) Broca para metal 1000 rpm y 11,2 kg, (2) Broca para metal 500 rpm y 11,2 kg y (3) Broca para madera 1000 rpm y 11,2 kg y (4) Broca para madera 500 rpm y 11,2 kg. Para medir la penetración el espesor de la viruta fue calculado con $EV = D/T \times n \times N$, donde: EV= espesor de la viruta, D= profundidad en mm del taladrado, n= rpm y N= n° de hélices

Acacia

Nombre científico
***Acacia mangium* Willd.**

Familia
Fabaceae



Róger Moya Roque
Cynthia Salas Garita
Laura Leandro Zuñiga

Referencia bibliográfica de la Ficha Técnica nº 1

Moya Roque, R, Salas Garita, C; Leandro Zúñiga, L. 2010. Acacia: *Acacia mangium* Willd. Fabaceae. Ficha técnica 1. In Tecnología de madera de plantaciones forestales: Fichas técnicas. R. Moya R., [et al]. (en línea). Revista Forestal Mesoamericana Kurú 7(18-19):27-41. (Editorial Corporación Garro y Moya, (ISBN: 978-9968-9643-3-3). Disponible en www.tec.ac.cr/revistaforestal

1. Aprovechamiento de plantaciones

Característica	Descripción
Facilidad de corte y volteo	Moderadamente fácil de cortar ya que es una madera de dureza media.
Caída natural y cambio de dirección de caída	Generalmente, los árboles de esta especie son rectos. Cuando se presentan bifurcaciones y/o copa bastante desarrollada, es fácil dirigir la caída del árbol, en especial si se hace necesario evitar daños en árboles vecinos.
Desafilado de sierras	No se produce desafilado excesivo de las herramientas de corte, por lo que el mismo se considera normal para la dureza de la madera. No se presentan problemas relacionados con sustancias que se adhieran a los dientes o al cuerpo de la sierra y que afecten su desempeño.
Susceptibilidad a quebrantaduras	No se presentan este tipo de daños, no obstante se debe tener especial cuidado ya que esta especie tiende a rajarse en sentido longitudinal.
Fisonomía del fuste	En general son árboles rectos y de una forma cilíndrica muy regular, aunque en la primera troza se suelen presentar trozas con conicidad.
Trozas por árbol	La buena forma del fuste permite extraer entre 3 y 6 trozas por árbol, dependiendo de su edad; sin embargo, en presencia de bifurcaciones, esta cantidad disminuye notablemente.
Frecuencia de ramas y operación de desrame	Un manejo intensivo de las ramas, a través de la poda en edades tempranas, produce poca frecuencia de éstas en la parte baja del árbol; sin embargo, la abundancia es mayor en la parte superior, pero de poco diámetro. La frecuencia es de 2 a 5 ramas/metro lineal de troza. Esto permite que la operación de desrame sea rápida en la parte baja y ligeramente lenta en la parte alta del fuste.



Plantación de 9 años de edad con poco control de maleza



Corte de árboles de segundo raleo



Operación de troceo del árbol

Fotografías | Róger Moya

2. Troceo, transporte y durabilidad de las trozas

Característica	Descripción
Troceo	De moderada facilidad; no obstante, en árboles gruesos es necesario el uso de ganchos u otros aditamentos de aprovechamiento para movilizar las trozas durante el troceo.
Acarreo	Las trozas de 2,5 m de largo y 20 cm de diámetro, con una densidad en condición verde de 1060 kg/m ³ , poseen un peso aproximado de 84 kg. El acarreo de trozas al patio de acopio, con dimensiones menores a las señaladas, se puede realizar por medio de la fuerza humana; para diámetros mayores es necesario utilizar otros equipos o bien fuerza animal. En el acarreo de trozas con fuerza humana es necesario tener cuidado con la corteza, ya que es muy rugosa.
Apilado	Las trozas tienen poca facilidad de acomodo, pues la corteza es rugosa y no permite el desplazamiento entre una y otra; a pesar de ello, su excelente rectitud y forma facilitan esta operación. Las trozas gruesas y en especial las obtenidas de la parte inferior del árbol, son más difíciles de apilar por su conicidad y elevado peso.
Durabilidad de trozas	Las trozas presentan buena durabilidad y pueden soportar hasta seis meses en el patio de acopio o dentro de la plantación. Sin embargo, la parte de la albura es rápidamente atacada por insectos que se introducen por la corteza. El daño puede ser detectado por la presencia de pequeños orificios con polvo blanco.



Troceo de árboles de 9 años de edad, con rendimiento de 4 trozas por árbol



Corte de árboles de segundo raleo



Operación de troceo del árbol

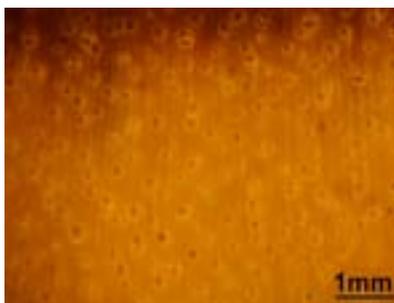
Fotografías | Róger Moya

3. Descripción general y macroscópica de la madera

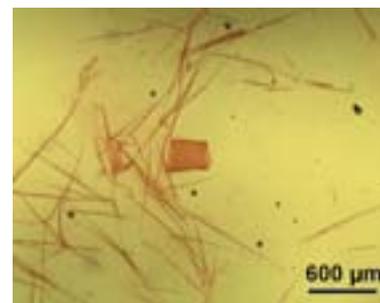
Descripción	Detalle
General	<i>Diferenciación entre albura y duramen:</i> presente. Color: tanto en la condición verde como en la condición seca al aire, el color del duramen se torna café oliva claro (10YR 5/3 a 10YR 5/4) y la albura color amarillo pálido (2.5Y 8/3). Veteado: líneas y manchas café oscuras. Textura: de mediana a gruesa. Olor: fuerte y desagradable en árboles recién cortados e imperceptible en condición seca. Sabor: imperceptible o indistinto. Brillo: brillante. Tipo de grano: ondulado y poco de tipo entrecruzado. Anillos de crecimiento: existe poca marcación de anillos de crecimiento. Densidad de la madera: seca al aire es de 0,53 g/cm ³ , por lo que se clasifica como moderadamente pesada.
Macroscópica	<i>Poros:</i> ligeramente visibles a simple vista, de tamaño medio, poros solitarios y algunos de 2 a 3 células en sentido radial, de mediana a alta abundancia, porosidad difusa, y con distribución oblicua o diagonal, no se observan gomas o tílides dentro de los vasos del duramen. <i>Parénquima axial:</i> ligeramente visible a simple vista, pero visible con aumento de 10X, de tipo paratraqueal vasicéntrico escaso, unilateral y confluyente. <i>Parénquima radial:</i> visible con aumento de 10X, radios finos, de un solo ancho, de abundancia media y no estratificados. Otras estructuras visibles: ausentes.



Corte tangencial longitudinal



Corte transversal macroscópico

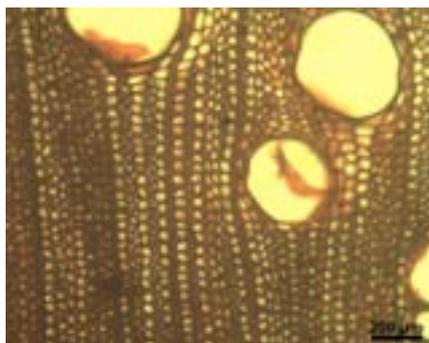


Fibra, parénquima y vaso en material

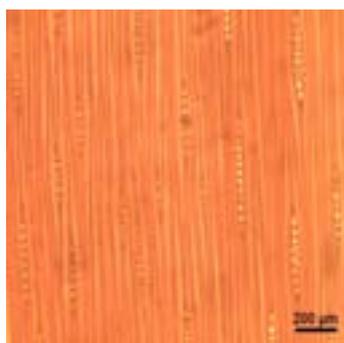
Fotografías | Carlos Olivares

4. Descripción microscópica de la madera

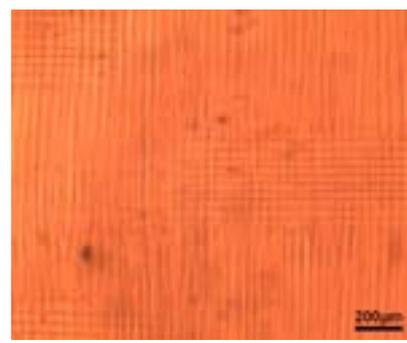
Descripción microscópica	Detalle
Vasos/poros	<p>Porosidad: difusa. Distribución: oblicua o diagonal. Agrupamiento: poros solitarios, promedio 79 % (75 - 85) y pocos poros múltiples de tres células en sentido radial. Frecuencia: poco numerosos, promedio de 9 poros/mm² (6 - 11). Longitud: cortos, promedio de 186 μm (254 - 104). Diámetro: medio, promedio de 125 μm (91 - 151). Engrosamiento helicoidal de las paredes: ausente. Apéndices: tamaño medio, presentes en ambos extremos. Platinas de perforación: simples. Gomas: pocas. Tíldes: ausentes. Presencia de cristales: no se observa. Punteaduras inter-vasculares: alternas, hexagonales, sin ornamentaciones, de diámetro miniatura, promedio 2,68 μm (2,21 - 3,33). Punteaduras radio-vasculares: borde distintivo, similar en forma y tamaño a las inter-vasculares, a través de la célula de los radios, sin presencia de ornamentaciones.</p>
Fibras	<p>Septos: ausentes. Punteaduras: simples a diminutas, aeroladas distintivas. Dimensiones: de longitud corta, con un promedio de 0,83 mm (0,55 - 1,12), con diámetro de 15 μm (11 - 22), espesor de pared delgada de 3 μm (1 - 4) y diámetro del lumen de 10 μm (7 - 15). Presencia de cristales: ausente. Estratificación: ausente. Otras observaciones: N/A.</p>
Parénquima radial	<p>Tipo: uniseriado. Estratificación: ausente. Dimensiones: en promedio 10 (4 - 18) células en altura, radios con altura de 104 μm (44 - 141) y ancho de 4 μm (3 - 6). Frecuencia: pocos, promedio de 2 (1 - 4) radios/mm. Tipo de células: homocelulares compuestos de células procumbentes. Presencia de cristales: ausentes.</p>
Parénquima axial	<p>Tipo: presencia de parénquima paratraqueal vasicéntrico escaso, aliforme, confluyente, losangular y unilateral en alas cortas. Tipo de células: fusiforme de 1 a 4 células por filamento. Estratificación: ausente. Presencia de cristales: prismáticos o romboidales en cámaras en el parénquima axial.</p>
Otras estructuras	Ausentes



Corte transversal



Corte tangencial-longitudinal



Corte radial-longitudinal

5. Propiedades físicas de la madera

Propiedad Física	Básica	Seca	Anhidra
Densidad (g/cm ³)	1,06 (0,05 / 4,63)	0,60 (0,21 / 35,16)	0,57 (0,21 / 36,86)
Peso específico*	0,45 (0,04 / 9,12)	0,55 (0,20 / 35,59)	0,57 (0,21 / 36,86)

*Clasificación de la madera de esta especie: moderadamente pesada

Propiedad Física	Condición verde	Condición seca
Contenido de humedad inicial (%)	134,9 (19,61 / 14,53)	-
Capacidad calórica (KJ/kg)	5821 (442 / 7,59)	16423 (1449 / 8,82)

Propiedad Física	Normal (Verde-12%)	Total (Verde-0%)	Clasificación
Contracción radial (%)	0,79 (0,20 / 25,59)	2,59 (0,42 / 23,49)	baja
Contracción tangencial (%)	1,93 (0,21 / 11,13)	4,40 (0,42 / 9,45)	baja
Contracción volumétrica (%)	11,13 (2,88 / 25,88)	13,24 (2,33 / 17,60)	alta
Razón contracción T/R	2,52 (0,46 / 18,37)	1,78 (0,41 / 23,00)	alta

Notas:

Números entre paréntesis representan la desviación estándar y el coeficiente de variación, respectivamente.

Condición verde sobre el punto de saturación de fibras.

Condición seca al 12% de contenido de humedad.

Razón de contracción T/R: relación contracción tangencial / contracción radial.

Clasificación de peso específico según Hess y Wangard (1950).

Clasificación de contracción según Barcenas (1985).

6. Propiedades mecánicas de la madera

Propiedad mecánica		Condición humedad	
		Verde	Seca
Esfuerzo máximo compresión paralela a la fibra (kg/cm ²)		319 (36,2 / 11,4)	340 (114,4 / 33,7)
Esfuerzo máximo compresión perpendicular a la fibra (kg/cm ²)		293 (46,9 / 16,0)	240 (60,4 / 25,2)
Esfuerzo máximo tensión paralela a la fibra (kg/cm ²)		843 (235,9 / 28,0)	897 (205,7 / 20,8)
Flexión estática (1 carga) (kg/cm ²)	MOR	663 (72,2 / 10,9)	784 (99,7 / 12,2)
	MOE*1000	125 (14,5 / 11,6)	123,16 (12,7 / 10,1)
Esfuerzo máximo cortante paralelo a la fibra (kg/cm ²)	tangencial	78 (8,3 / 10,6)	99 (10,5 / 10,6)
	radial	71 (6,6 / 60,6)	96 (14,59 / 15,2)
Esfuerzo máximo tensión perpendicular a la fibra (kg/cm ²)	tangencial	31 (10,2 / 32,6)	30 (9,0 / 36,0)
	radial	29 (3,6 / 12,6)	28 (9,2 / 32,8)
Esfuerzo máximo clivaje (kg/cm ²)	tangencial	9,8 (2,0 / 22,3)	4,9 (1,3 / 27,4)
	radial	9,9 (2,5 / 28,8)	4,5 (1,43 / 32,1)
Dureza janka (kg)	axial	323 (71,8 / 22,0)	398 (81,6 / 21,0)
	lateral	302 (77,1 / 25,6)	290 (83,6 / 18,0)
Extracción de clavos (kg)	axial	44 (7,0 / 15,9)	23 (7,1 / 31,8)
	lateral	33 (6,4 / 19,3)	31 (10,8 / 29,1)

Notas:

Condición verde sobre el punto de saturación de fibras.

Condición seca: valores ajustados al 12% CH.

MOR: módulo de ruptura, MOE: módulo de elasticidad

Entre paréntesis: desviación estándar y coeficiente de variación (%).

n = 18 muestras ensayadas por cada propiedad mecánica

7. Propiedades químicas de la madera

Propiedad química	Composición	
Composición global	Holocelulosa (%)	64,19 (2,15 / 3,36)
	Lignina (%)	31,42 (3,80 / 12,09)
	Cenizas (%)	0,582 (0,09 / 15,46)
	Sílice (ppm)	0,00
Análisis químico elemental en cenizas	Nitrógeno (%)	0,34 (0,01 / 2,94)
	Fósforo (%)	0,02 (0,00 / 0,00)
	Calcio (%)	0,12 (0,02 / 16,67)
	Magnesio (%)	0,02 (0,01 / 50,00)
	Potasio (%)	0,05 (0,02 / 40,00)
	Azufre (%)	0,01 (0,00 / 0,00)
	Hierro (mg/kg)	15,36 (5,74 / 37,37)
	Cobre (mg/kg)	1,00 (0,00 / 0,00)
	Zinc (mg/kg)	6,67 (0,17 / 2,55)
	Manganeso (mg/kg)	9,00 (0,51 / 5,67)
Boro (mg/kg)	3,00 (0,33 / 11,00)	
Extractivos solubles en	NaOH (al 1 %) (%)	13,21% (1,17 / 8,86)
	H ₂ O caliente (%)	2,45 (0,87 / 35,51)
	H ₂ O fría (%)	2,00 (0,93 / 46,27)
	Diclorometano (%)	3,25 (1,14 / 35,08)
	Etanol-Tolueno (%)	0,95 (0,43 / 45,26)
Otras propiedades	pH	5,66 (0,13 / 2,32)

Notas:

Números entre paréntesis representan la desviación estándar y el coeficiente de variación (%).

n = 9 repeticiones por propiedad química.

8. Desempeño y calidad de aserrío

Aserrío	Descripción												
Desempeño en aserrío	<p>El aserrío de las trozas es de mediana dificultad. Las trozas provenientes de plantaciones jóvenes presentan grano vellosos cerca de las ramas, por lo que es frecuente que se produzcan entramamientos (atascamientos) de las sierras de corte, principalmente cuando se utilizan sierras múltiples, debido a la fricción entre la madera y el cuerpo de la sierra. Durante el aserrío, se liberan las tensiones de crecimiento, produciendo ocasionalmente madera con pandeos (torceduras) y abertura en la médula. No se produce desafilado excesivo de las sierras, permitiendo que las sierras de corte se utilicen normalmente.</p>												
Calidad de la madera	<p>Observaciones realizadas en madera aserrada no registraron la presencia de grano vellosos o arrancado. Las grietas se presentaron en el 36% de las tablas, con una longitud promedio de 2,18 cm; las rajaduras en el 84%, con una longitud promedio de 3,13 cm, la arqueadura se presentó en el 91% de las tablas, con una flecha promedio de 14,32 mm; la encorvadura se presentó en el 67%, con un promedio de flecha de 6,55 mm, el alabeo se presentó en el 10% de las tablas, con promedio de 3,7 mm y el acanalado no fue encontrado en madera de 7,5 cm de ancho. No se observó madera aserrada con médula.</p>												
Rendimiento de la madera	<p>Debido a la buena forma que presenta la acacia, el rendimiento puede superar el 50% cuando la troza es aserrada a lo ancho de la misma, aunque disminuye en trozas de diámetros pequeños. El siguiente cuadro muestra los rendimientos esperados para los diferentes rangos diamétricos:</p> <table border="1" data-bbox="619 991 1236 1290"> <thead> <tr> <th data-bbox="619 991 938 1049">Diámetro (cm)</th> <th data-bbox="938 991 1236 1049">Rendimiento (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="619 1049 938 1096">15-20</td> <td data-bbox="938 1049 1236 1096">25-35</td> </tr> <tr> <td data-bbox="619 1096 938 1144">20-25</td> <td data-bbox="938 1096 1236 1144">30-40</td> </tr> <tr> <td data-bbox="619 1144 938 1191">25-30</td> <td data-bbox="938 1144 1236 1191">40-50</td> </tr> <tr> <td data-bbox="619 1191 938 1239">30-35</td> <td data-bbox="938 1191 1236 1239">30-35</td> </tr> <tr> <td data-bbox="619 1239 938 1287">Mayor a 35 cm</td> <td data-bbox="938 1239 1236 1287">50-65</td> </tr> </tbody> </table>	Diámetro (cm)	Rendimiento (%)	15-20	25-35	20-25	30-40	25-30	40-50	30-35	30-35	Mayor a 35 cm	50-65
Diámetro (cm)	Rendimiento (%)												
15-20	25-35												
20-25	30-40												
25-30	40-50												
30-35	30-35												
Mayor a 35 cm	50-65												



Presencia de grietas por extremo de troza



Liberación de tensiones de crecimiento durante el aserrío de trozas, mostrado por la abertura entre la tabla y la troza



Recuperación de costillas con sierra circular en un aserradero

9. Secado al aire de la madera

Parámetro	Descripción																												
Clasificación	La madera proveniente de plantaciones jóvenes se considera de rápido secado: espesores menores a 7,5 cm tienen tiempos de secado inferiores a 45 días. La madera de esta especie seca más rápido que la de otras especies de plantación, como la melina o el cebo. Después del secado, la calidad de la madera puede disminuir notablemente, si no se apila de manera apropiada.																												
Tiempo de secado	<p>La madera de esta especie presenta una razón de secado que oscila entre 1,4 a 3,0 % día⁻¹ y el tiempo para alcanzar el 20% de contenido de humedad oscila entre 21 y 42 días, según sea el espesor. En todo caso, ese tiempo disminuye conforme disminuye el espesor de la pieza de madera. El siguiente cuadro muestra los diferentes parámetros de secado al aire para acacia, de diferentes espesores.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Espesor (cm)</th> <th>Chi* (%)</th> <th>Número de días**</th> <th>Razón de secado (%/día)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1,2</td> <td>83,02</td> <td>21</td> <td>3,00</td> </tr> <tr> <td>2,5</td> <td>80,97</td> <td>30</td> <td>2,03</td> </tr> <tr> <td>3,8</td> <td>80,23</td> <td>35</td> <td>1,72</td> </tr> <tr> <td>5,0</td> <td>77,44</td> <td>38</td> <td>1,51</td> </tr> <tr> <td>6,2</td> <td>80,09</td> <td>40</td> <td>1,50</td> </tr> <tr> <td>7,5</td> <td>78,97</td> <td>42</td> <td>1,40</td> </tr> </tbody> </table> <p>*Contenido de humedad inicial (Chi). **Número de días para alcanzar 20% en CH. Ensayos realizados en la ciudad de Cartago-Costa Rica.</p>	Espesor (cm)	Chi* (%)	Número de días**	Razón de secado (%/día)	1,2	83,02	21	3,00	2,5	80,97	30	2,03	3,8	80,23	35	1,72	5,0	77,44	38	1,51	6,2	80,09	40	1,50	7,5	78,97	42	1,40
Espesor (cm)	Chi* (%)	Número de días**	Razón de secado (%/día)																										
1,2	83,02	21	3,00																										
2,5	80,97	30	2,03																										
3,8	80,23	35	1,72																										
5,0	77,44	38	1,51																										
6,2	80,09	40	1,50																										
7,5	78,97	42	1,40																										
Calidad del secado	<p><i>Grietas y rajaduras:</i> susceptible a producir grietas y rajaduras en los extremos de las tablas, especialmente en la región próxima a la médula y en las tablas que contienen esta parte del árbol. <i>Arqueadura:</i> se produce este tipo de torcedura en mediana magnitud e incidencia. <i>Acanalado:</i> de poca magnitud y se presenta en especial en piezas con anchos superior a 5 cm. <i>Encorvadura:</i> de mediana incidencia y mediana magnitud. <i>Alabeo:</i> se presenta en tablas obtenidas próximas a la médula y con presencia de nudos. <i>Acanalado:</i> se presenta en piezas anchas, pero pocas veces en piezas angostas. <i>Colapso:</i> frecuente en madera seca, siendo un defecto grave en algunas piezas.</p>																												



Madera en condición verde antes del secado



Muestras de control de humedad en una pila de secado al aire



Reventaduras en madera luego del secado al aire

10. Secado al horno de la madera

Clasificación	Descripción	Programa de secado recomendado			
Clasificación	Moderado a lento secado y con serios problemas de rajaduras, grietas, torceduras, pandeos y colapso.	Etapa	T (°C)	CHE (%)	HR (%)
		Calefacción	39	-	-
Tiempo de secado	Madera de 2,54 cm de espesor y con un contenido de humedad inicial de 134,5% presenta un tiempo de secado de 476 horas para llegar al 12%, lo que significa una velocidad de secado de 0,27%/hora, incrementando o disminuyendo este tiempo con el aumento o decrecimiento del espesor de la madera, respectivamente.		40	15,8	-
		Secado	42	15,7	55
			48	12,7	50
			48	12,7	45
			48	11,5	40
			48	11,5	35
			48	10,6	30
			50	10,5	25
			54	9,8	20
			54	9,8	15
			60	8,5	12
Calidad del secado	Las rajaduras o grietas ocurren en alrededor del 20% de las piezas luego del secado; sin embargo, estas no alcanzan longitudes superior a 2 cm. La arqueadura por el secado no aumenta ni disminuye, o aparece en nuevas tablas. El defecto de alabeo se incrementa ligeramente en relación con la madera verde. La encorvadura y acanalado se incrementa en la madera seca.	Igualación	60	8,0	12
		Acondicionamiento	62	7,6	-
		Enfriamiento	30	7,6	-

T: Temperatura (°C)
 CHE: Contenido de Humedad en Equilibrio (%)
 HR: Humedad Relativa (%)
 Fuente: se combinó programas T2-D4 (modificado) y T6-D2 establecido por Sydney et al. (1988).



Madera apilada antes del proceso de secado convencional



Localización de las sondas de control de humedad en la madera



Reventadura asociadas al secado

11. Preservación de la madera

Preservación	Descripción														
Tratamiento de inmersión-difusión	<p>La madera preservada mediante el método de inmersión-difusión con sales de boro es penetrada totalmente en tiempos adecuados, los cuales varían según sea el espesor de la tabla. La madera preservada con este método es recomendable para usos interiores, sin exposición al agua. El siguiente cuadro muestra el tiempo de difusión necesario para que las sales de boro alcancen una penetración del 100%.</p> <table border="1"><thead><tr><th>Espesor (cm)</th><th>Tiempo difusión (días)</th></tr></thead><tbody><tr><td>1,2</td><td>17</td></tr><tr><td>2,5</td><td>21</td></tr><tr><td>3,8</td><td>25</td></tr><tr><td>5,0</td><td>28</td></tr><tr><td>6,2</td><td>31</td></tr><tr><td>7,5</td><td>39</td></tr></tbody></table>	Espesor (cm)	Tiempo difusión (días)	1,2	17	2,5	21	3,8	25	5,0	28	6,2	31	7,5	39
Espesor (cm)	Tiempo difusión (días)														
1,2	17														
2,5	21														
3,8	25														
5,0	28														
6,2	31														
7,5	39														
Tratamiento vacío-presión	<p>En el duramen de esta especie, la penetración del preservante es nula, mientras que en la albura se logra una penetración parcial vascular. La absorción del preservante en la madera es de 119,5 litros/m³ y la retención es de 2,4 kg/m³. La madera preservada por este método y utilizando un preservante tipo CCA-C se clasifica como riesgo Clase 1, por lo que se recomienda para uso bajo techo y constantemente seca. En caso de exposición a la intemperie, se debe aumentar la concentración del preservante al 10 %.</p>														



Madera preservada con boro, el rojo intenso indica la penetración del preservante y una alta retención



Madera preservada con boro, la poca tonalidad de rojo indica la penetración y baja retención del preservante

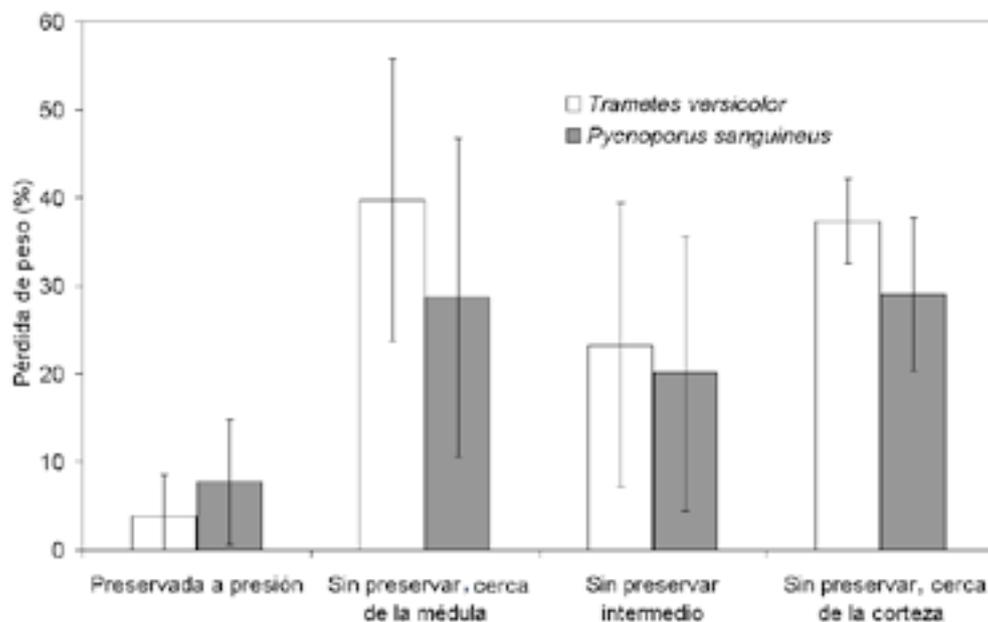


Penetración nula en madera de duramen, el color azul indica la penetración del preservante

Fotografías | Róger Moya

12. Durabilidad de la madera

Tipo de ataque	Descripción
Hongos	Las pruebas aceleradas con hongos de producción blanca, <i>Trametes versicolor</i> y <i>Pycnoporus sanguineus</i> , muestran que la durabilidad de la madera sin preservar está relacionada con la posición de la tabla respecto a la médula. La madera alrededor de la médula se clasifica como moderadamente resistente, la madera cortada entre la médula y la corteza se cataloga como resistente y la madera cortada cerca de la corteza se clasifica como moderadamente resistente al ataque de ambos hongos. La madera aserrada y tratada con preservante tipo CCA, se clasifica como altamente resistente.
Insectos	La madera de albura es poco resistente al ataque de termitas de madera seca y de madera húmeda, no así la madera de duramen. Se ha observado que la madera de árboles adultos es más resistente al ataque de terminas que la madera de árboles jóvenes. Para aumentar la resistencia al ataque de insectos es necesario preservar la madera con sales de boro o preservante tipo CCA.



La figura muestra la pérdida de peso en porcentaje de acacia por ataque de hongos *T. versicolor* y *P. sanguineus* en madera preservada a presión y madera sin preservar. La madera sin preservar presenta pérdidas de peso mayor que las que se obtienen en la madera preservada y la mayor degradación se observa con *T. versicolor*.

13. Trabajabilidad de la madera

Operación	Descripción
Cepillado	<p><i>Clasificación:</i> excelente, la superficie libre de defecto por cepillado alcanza un 90% del área si se utilizan velocidades de alimentación bajas con ángulos de ataque de 30° ó de 15°. Cuando la velocidad de alimentación es mayor a 20 m/min, la superficie libre de daño podría llegar a 70%, debido a que se presenta algún grado de vellosidades.</p> <p><i>Presencia de defectos:</i> lo más frecuentes son el grano vellosa y arrancado, de tipo leve (hasta 25% de la superficie), su profundidad no es mayor a 0,5 mm. Otro defecto es la presencia de fibras levantadas que ocasionan un desafilado rápido en las cuchillas.</p> <p><i>Recomendación:</i> Se recomienda velocidades de avance bajas, como por ejemplo 6 m/min. Al aumentar la velocidad de avance aparece el grano vellosa. Se recomienda supervisar el filo en las cuchillas para evitar el desafilado.</p>
Lijado	<p><i>Clasificación:</i> de muy difícil lijado, debido a que el polvo que se desprende es como una fibra. A pesar de ello, ocurre poco embotamiento de la lija. La superficie resultante es de muy buena calidad porque los defectos del cepillado son casi inexistentes.</p> <p><i>Presencia de defectos:</i> presenta grano vellosa muy leve y marcas de lija.</p> <p><i>Recomendación:</i> siempre es importante utilizar lija # 60 para eliminar los defectos del cepillado y lija de grano superior a 100 para lograr superficies de buena calidad.</p>
Taladrado	<p><i>Clasificación:</i> la penetración es lenta utilizando broca para madera, aunque con resultados excelentes en la superficie. Con la broca para metal, el orificio se logra rápidamente, pero con defectos (grano levantado) hasta en un 75% de la superficie taladrada.</p> <p><i>Recomendación:</i> Utilizar broca para madera. Para aumentar la eficiencia en la penetración del taladro, se recomiendan revoluciones superiores a 1000 rpm.</p>



Superficie cepillada de buena calidad



Presencia de grano levantado muy fino durante el lijado



Calidad de los orificios obtenidos en el taladrado con broca de madera

Fotografías | Cynthia Salas

Continúa en la siguiente página ►

13. Trabajabilidad de la madera

Operación	Descripción
Torneado	<p><i>Clasificación:</i> de buena calidad cuando se introduce la gubia de forma horizontal y de regular calidad cuando la gubia ingresa inclinada.</p> <p><i>Presencia de defectos:</i> cuando la gubia ingresa horizontalmente las fibras se desprenden levemente en el borde entre lo torneado y lo no torneado. Cuando la gubia ingresa inclinada, el desprendimiento de fibra es abundante. En ambos casos hay dificultad para que la gubia corte pero esa dificultad es mayor cuando la gubia se inclina, siendo la penetración casi nula. Las gubias se desafilan con gran facilidad.</p> <p><i>Recomendación:</i> es indispensable que durante la operación de torneado la gubia ingrese en posición horizontal. Además, constantemente se debe afilar las gubias.</p>
Moldurado	<p><i>Clasificación:</i> la calidad del moldurado que se obtiene en esta especie es muy buena.</p> <p><i>Presencia de defectos:</i> se presenta una vellosidad fina de manera discontinua y escasa.</p> <p><i>Recomendación:</i> esta operación es completamente posible para este tipo de madera.</p>
Escopleado	<p><i>Clasificación:</i> se desprende mucha fibra en el borde del orificio, pero en general es de buena calidad.</p> <p><i>Presencia de defectos:</i> con moderado desprendidas de fibras al borde del orificio.</p> <p><i>Recomendación:</i> Apta para este tipo de trabajo en todos los cortes. Posteriormente, se debe eliminar la fibra desprendida en los bordes.</p>



Calidad de la superficies generada durante el torneado



Moldura de excelente calidad



Fibra desprendida en el borde del orificio escopleado

Fotografías | Cynthia Salas

Jaúl

Nombre científico
***Alnus acuminata* Kunth**

Familia
Betulaceae



Róger Moya Roque
Freddy Muñoz Acosta
Cynthia Salas Garita
Alexander Berrocal Jiménez
Edwin Esquivel Segura

Referencia bibliográfica de la Ficha Técnica nº 2

Moya Roque, R; Muñoz Acosta, F; Salas Garita, C; Berrocal Jiménez, A; Esquivel Segura, E. 2010. Jaúl: *Alnus acuminata* Kunth. Betulaceae. Ficha técnica 2. In Tecnología de madera de plantaciones forestales: Fichas técnicas. R. Moya R., [et al]. (en línea). Revista Forestal Mesoamericana Kurú 7(18-19):42-56. (Editorial Corporación Garro y Moya, (ISBN: 978-9968-9643-3-3). Disponible en www.tec.ac.cr/revistaforestal

1. Aprovechamiento de plantaciones

Característica	Descripción
Facilidad de corte y volteo	En sitios planos, se recomienda el corte con dirección abierta, conocido como tradicional. En sitios con fuerte inclinación (superior a 60%), el corte al revés “Humboldt” resulta en un mejor aprovechamiento del fuste.
Caída natural y cambio de dirección de caída	No se presentan problemas con la caída natural debido a la rectitud del fuste. Cuando se quisiera reducir el impacto sobre los árboles vecinos, o mantener las condiciones del sitio, se puede modificar sin problemas la caída natural.
Desafilado de sierras	La cadena de motosierra no embota con ningún tipo de resina en el momento del corte. El filo de la misma se mantiene en lo indicado por el fabricante.
Susceptibilidad a quebrantaduras	La especie puede presentar quebrantaduras en el fuste cuando el árbol es grande y con poca longitud de copa.
Fisonomía del fuste	En árboles de plantaciones con adecuado manejo se pueden obtener de 4 a 6 trozas de buena rectitud y forma. En plantaciones sin manejo, la calidad del fuste disminuye.
Trozas por árbol	Se obtienen de 2 a 6 trozas comerciales por árbol (3,5 trozas en promedio), con dimensiones de 2,5 m de longitud y diámetro comercializable mayor a 13 cm.
Frecuencia de ramas y operación de desrame	Poca cantidad de ramas en el fuste (3,3 ramas/metro lineal en la copa) y cuando están presentes son de poco diámetro. La operación de desrame se lleva a cabo fácilmente, ya que la especie no presenta una alta incidencia de ramas.



Plantación de 10 años



Corta de árboles



Operación de desrame

Fotografías | Róger Moya

2. Troceo, transporte y durabilidad de las trozas

Característica	Descripción
Troceo	De fácil troceo. La especie presenta tensiones leves de crecimiento que afectan poco esta operación.
Acarreo	El transporte de las trozas de diámetro medio al sitio de acopio se puede realizar por medio de la fuerza humana. Las trozas de 2,5 m de largo y 25 cm de diámetro promedio (densidad en condición verde de 684 kg/m ³) poseen un peso aproximado de 84 kg, el cual puede transportarse fácilmente por una sola persona a una distancia razonable.
Apilado	La operación puede ser sencilla de realizar, las trozas se acomodan fácilmente y no ocurre un deslizamiento entre ellas, debido a que la corteza presenta superficie rugosa.
Durabilidad de trozas	Durante la época seca, las trozas pueden resistir en el campo hasta 2 - 3 meses; no obstante, en la época lluviosa, los extremos de la troza pueden ser atacadas por hongos. Los insectos, llamados comúnmente barrenillos, atacan la albura cuando ésta se empieza a secar.



Troceo de árboles



Utilización de ramas como leña



Deterioro de trozas luego de 8 meses en el patio

Fotografías | Róger Moya

3. Descripción general y macroscópica de la madera

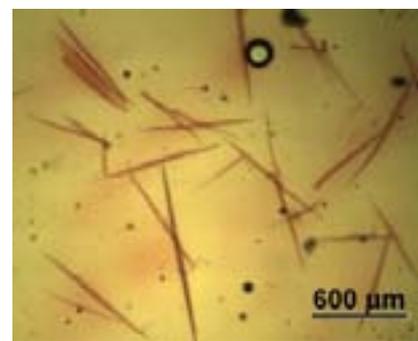
Descripción	Detalle
General	<i>Diferenciación entre albura y duramen:</i> ausente. <i>Color:</i> seca al aire, la madera presenta un color rosado (7.5 YR 8/4). <i>Veteado:</i> poco definido. <i>Textura:</i> de mediana a fina. <i>Olor:</i> imperceptible. <i>Sabor:</i> imperceptible. <i>Brillo:</i> opaco. <i>Tipo de grano:</i> ondulado y poco de tipo entrecruzado. <i>Anillos de crecimiento:</i> marcación por un ligero engrosamiento de las fibras. <i>Densidad de la madera:</i> seca al aire es de 0,43 g/cm ³ , por lo que se clasifica como moderadamente liviana.
Macroscópica	<i>Vasos:</i> ligeramente visibles a simple vista, de tamaño medio, poros en mayoría solitarios y algunos múltiples radiales de 2 a 3 células en sentido radial, de mediana abundancia, porosidad difusa, con una tendencia a formar pequeñas líneas radiales y no se observan gomas o tílides dentro de los vasos del duramen. <i>Parénquima axial:</i> visible con aumento de 10X y de tipo apotraqueal difuso escaso. <i>Parénquima radial:</i> apenas visible con aumento de 10X, de ancho medio, se observan radios de dos anchos, de abundancia media y no estratificado. <i>Otras estructuras visibles:</i> ausentes.



Corte tangencial longitudinal



Corte transversal macroscópico

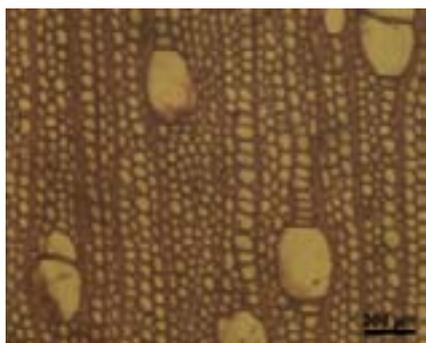


Fibra, parénquima y vaso en material macerado

Fotografías | Carlos Olivares

4. Descripción microscópica de la madera

Descripción microscópica	Detalle
Vasos	Porosidad: difusa. Distribución: tiende a formar cadenas radiales. Agrupamiento: exclusivamente solitarios, en promedio 85 % (73 - 94) y múltiples radiales de 2 - 3 células. Frecuencia: poco numerosos, promedio de 16 poros/mm ² (14 - 19). Longitud: cortos, promedio de 150 μm (94 - 342). Diámetro: pequeño, promedio de 75 μm (61 - 87). Engrosamiento helicoidal de las paredes: ausentes. Apéndices: presentes en ambos extremos y tamaño medio. Platinas de perforación: escaliformes oblicuas de 10 - 20 barras. Gomas: ausentes. Tíldes: ausentes. Presencia de cristales: no se observa. Punteaduras íntervasculares: simples, alternas, ovaladas, diámetro mediano, sin presencia de ornamentaciones y de diámetro medio, promedio de 7 μm (4 - 9). Punteaduras rayos - vasculares: similar a las inter - vasculares en forma y tamaño, sin presencia de ornamentaciones.
Fibras	Septos: de 1 a 3 por fibra. Punteaduras: diminutas a bordeadas diminutas. Dimensiones: fibras de largo medio, en promedio 1,02 mm (0,94 - 1,59), diámetro de 35 μm (23 - 47) y diámetro de lumen 23 μm (12 - 35). Presencia de cristales: ausente. Estratificación: ausente.
Parénquima radial	Tipo: no estratificado, se observan radios en agregados. Estratificación: ausente. Dimensiones: altura de 10 - 27 células, altura promedio de 299 μm (111 - 375) y ancho promedio 8 μm (4 - 10). Frecuencia: media, en promedio de 5 radios/mm (4 - 6). Tipo de células: heterocelulares, con una fila de células rectangulares en los extremos (arriba y abajo) y en la parte central de células procumbentes. Presencia de cristales: ausentes.
Parénquima axial	Tipo: apotraqueal difuso, escaso de células tipo seriado. Tipo de células: de 5 a 8 células por filamento. Estratificación: ausente. Presencia de cristales: ausentes.
Otras estructuras	Traqueidas: vasicéntricas, con septos en poca cantidad. Engrosamiento helicoidales de las paredes: indeterminadas. Punteaduras: aeroladas con abertura ovalada.



Corte transversal



Corte tangencial-longitudinal



Corte radial-longitudinal

Fotografías | Carlos Olivares

5. Propiedades físicas de la madera

Propiedad Física	Básica	Seca	Anhidra
Densidad (g/cm ³)	0,67 (13,45 / 0,09)	0,67 (13,25 / 0,06)	0,39 (13,32 / 0,05)
Peso específico*	0,34 (13,09 / 0,05)	0,39 (13,04 / 0,05)	0,39 (13,32 / 0,05)

*Clasificación de la madera de esta especie: liviana

Propiedad Física	Condición verde	Condición seca
Contenido de humedad inicial (%)	95,56 (14,70 / 15,40)	-
Capacidad calórica (KJ/kg)	10793 (2650 / 24,56)	17157 (1564 / 9,12)

Propiedad Física	Normal (Verde-12%)	Total (Verde-0%)	Clasificación
Contracción radial (%)	2,82 (3,57 / 0,95)	4,11 (1,35 / 0,79)	alta
Contracción tangencial (%)	5,31 (2,13 / 1,38)	6,31 (17,18 / 1,08)	mediana
Contracción volumétrica (%)	7,64 (2,59 / 1,65)	11,01 (17,02 / 1,87)	alta
Razón contracción T/R	1,85 (26,57 / 0,49)	1,62 (17,77 / 0,29)	alta

Notas:

Números entre paréntesis representan la desviación estándar y el coeficiente de variación, respectivamente.

Condición verde sobre el punto de saturación de fibras.

Condición seca al 12% de contenido de humedad.

Razón de contracción T/R: relación contracción tangencial / contracción radial.

Clasificación de peso específico según Hess y Wangard (1950).

Clasificación de contracción según Barcenas (1985).

6. Propiedades mecánicas de la madera

Propiedad mecánica		Condición humedad	
		Verde	Seca
Esfuerzo máximo compresión paralela a la fibra (kg/cm ²)		139 (27,6 / 19,91)	290 (41,8 / 14,4)
Esfuerzo máximo compresión perpendicular a la fibra (kg/cm ²)		88 (13,67 / 15,62)	156 (28,1 / 18,0)
Esfuerzo máximo tensión paralela a la fibra (kg/cm ²)		440 (86,20 / 18,22)	677 (165,5 / 24,4)
Flexión estática (1 carga) (kg/cm ²)	MOR	305 (48,2 / 15,8)	519 (100,2 / 19,3)
	MOE*1000	71,2 (12,2 / 17,1)	77,30 (15,80 / 20,4)
Esfuerzo máximo cortante paralelo a la fibra (kg/cm ²)	tangencial	48 (17,5 / 8,3)	91 (13,7 / 15,0)
	radial	38 (6,1 / 16,1)	79 (16,8 / 21,3)
Esfuerzo máximo tensión perpendicular a la fibra (kg/cm ²)	tangencial	26 (13,3 / 51,9)	40 (8,7 / 21,9)
	radial	25 (9,9 / 39,5)	26 (8,1 / 31,2)
Esfuerzo máximo clivaje (kg/cm ²)	tangencial	7,6 (2,2 / 28,7)	8,7 (2,2 / 22,6)
	radial	5,4 (1,1 / 20,2)	5,9 (1,8 / 30,6)
Dureza janka (kg)	axial	134 (32,8 / 24,6)	147 (35,3 / 24,0)
	lateral	127,0 (26,2 / 20,6)	191 (34,0 / 17,8)
Extracción de clavos (kg)	axial	26 (12,6 / 47,9)	24 (10,2 / 42,9)
	lateral	25 (8,8 / 35,9)	19 (6,5 / 33,6)

Notas:

Condición verde sobre el punto de saturación de fibras.

Condición seca: valores ajustados al 12% CH.

MOR: módulo de ruptura, MOE: módulo de elasticidad

Entre paréntesis: desviación estándar y coeficiente de variación (%).

n = 18 muestras ensayadas por cada propiedad mecánica

7. Propiedades químicas de la madera

Propiedad química	Composición	
Composición global	Holocelulosa (%)	64,01 (2,91 / 4,55)
	Lignina (%)	33,00 (1,80 / 5,45)
	Cenizas (%)	0,38 (0,06 / 15,79)
	Sílice (ppm)	38,5 (29,85 / 77,53)
Análisis químico elemental en cenizas	Nitrógeno (%)	0,34 (0,01 / 2,94)
	Fósforo (%)	0,02 (0,00 / 0,00)
	Calcio (%)	0,06 (0,02 / 33,33)
	Magnesio (%)	0,02 (0,00 / 0,00)
	Potasio (%)	0,14 (0,01 / 7,14)
	Azufre (%)	0,02 (0,01 / 50,00)
	Hierro (mg/kg)	15,37 (5,86 / 38,13)
	Cobre (mg/kg)	3,09 (0,00 / 0,00)
	Zinc (mg/kg)	2,92 (0,00 / 0,00)
	Manganeso (mg/kg)	2,47 (0,58 / 23,48)
Boro (mg/kg)	3,91 (2,65 / 67,77)	
Extractivos solubles en	NaOH (al 1%) (%)	16,31 (1,76 / 10,79)
	H ₂ O caliente (%)	2,74 (0,46 / 16,70)
	H ₂ O fría (%)	1,92 (0,65 / 34,05)
	Diclorometano (%)	3,25 (0,49 / 38,28)
	Tolueno – alcohol (%)	0,95 (0,56 / 53,33)
Otras propiedades	pH	6,04 (0,13 / 2,20)

Notas:

Números entre paréntesis representan la desviación estándar y el coeficiente de variación (%).

n = 9 repeticiones por propiedad química.

8. Desempeño y calidad de aserrío

Aserrío	Descripción																				
Desempeño en aserrío	El aserrío de las trozas de jaúl es de mediana dificultad. Es frecuente que se produzcan entrabamientos (atascamientos) de las sierras de corte, en especial al utilizar sierras múltiples, debido a que las trozas de plantaciones jóvenes presentan grano vellosa o encontrado cerca de las ramas, produciendo una fricción entre la madera y el cuerpo de la sierra. Durante el aserrío, no se presentan problemas con la liberación de las tensiones de crecimiento en la troza. No se produce desafilado excesivo de las sierras, permitiendo que las sierras de corte se utilicen normalmente.																				
Calidad de la madera	En mediciones realizadas de madera aserrada se encontró que hay alta incidencia de madera con grano vellosa, en especial en las regiones próximas a las ramas, dando como resultado una mala calidad de la madera aserrada., Las grietas se presentaron en el 31% de las tablas evaluadas, con una longitud promedio de 2,2 cm; las rajaduras en el 42% con longitud media de 3,5 cm, la arqueadura se presentó en el 92% con una flecha promedio de 1,3 mm, la encorvadura en el 33% con un promedio de 4 mm de flecha, el alabeo se presentó en un 21% con promedio de 2 mm y no fue encontrado problemas de acanalado en madera sobre 15 cm de ancho. No se presentó madera con médula.																				
Rendimiento de la madera	<p>El rendimiento promedio obtenido para trozas procesadas de <i>A. acuminata</i>, aumenta conforme se incrementa el diámetro. El siguiente cuadro muestra los rendimientos de jaúl a los 8 años de edad, donde se observa este comportamiento.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Categoría de diámetro (cm)</th> <th>Cantidad</th> <th>Diámetro (cm)</th> <th>Rendimiento (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10 – 15</td> <td>36</td> <td>13,7</td> <td>30,3</td> </tr> <tr> <td>15 – 25</td> <td>45</td> <td>17,1</td> <td>33,3</td> </tr> <tr> <td>20 – 25</td> <td>12</td> <td>22,3</td> <td>37,3</td> </tr> <tr> <td>Promedio</td> <td></td> <td>17,7</td> <td>33,3</td> </tr> </tbody> </table>	Categoría de diámetro (cm)	Cantidad	Diámetro (cm)	Rendimiento (%)	10 – 15	36	13,7	30,3	15 – 25	45	17,1	33,3	20 – 25	12	22,3	37,3	Promedio		17,7	33,3
Categoría de diámetro (cm)	Cantidad	Diámetro (cm)	Rendimiento (%)																		
10 – 15	36	13,7	30,3																		
15 – 25	45	17,1	33,3																		
20 – 25	12	22,3	37,3																		
Promedio		17,7	33,3																		



Aserrío de trozas de diámetro menor en aserradero convencional



Aserrío de trozas de diámetros menores



Madera aserrada por el ancho de la troza

9. Secado al aire de la madera

Parámetro	Descripción																												
Clasificación	El jaúl proveniente de plantaciones es de rápido secado, debido a su bajo contenido de humedad inicial. Las tablas con espesores menores a 7,5 cm tienen tiempos de secado inferiores a 85 días, siendo una de las especies de más rápido secado en madera de plantación.																												
Tiempo de secado	<p>Presenta una razón de secado que oscila entre 1,88 a 3,95%/día y el tiempo para alcanzar el 20% de contenido de humedad oscila entre 21 y 82 días para los diferentes espesores. El siguiente cuadro muestra los diferentes parámetros de secado al aire para diferentes espesores.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Espesor (cm)</th> <th>CHi* (%)</th> <th>Número de días**</th> <th>Razón de secado (%/día)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1,2</td> <td>83</td> <td>21</td> <td>3,95</td> </tr> <tr> <td>2,5</td> <td>81</td> <td>30</td> <td>2,70</td> </tr> <tr> <td>3,8</td> <td>80</td> <td>35</td> <td>2,30</td> </tr> <tr> <td>5,0</td> <td>77</td> <td>40</td> <td>1,92</td> </tr> <tr> <td>6,2</td> <td>80</td> <td>41</td> <td>1,95</td> </tr> <tr> <td>7,5</td> <td>79</td> <td>82</td> <td>1,88</td> </tr> </tbody> </table> <p>*Contenido de humedad inicial (CHi). **Número de días para alcanzar 20% en CH. Ensayos realizados en la ciudad de Cartago-Costa Rica.</p>	Espesor (cm)	CHi* (%)	Número de días**	Razón de secado (%/día)	1,2	83	21	3,95	2,5	81	30	2,70	3,8	80	35	2,30	5,0	77	40	1,92	6,2	80	41	1,95	7,5	79	82	1,88
Espesor (cm)	CHi* (%)	Número de días**	Razón de secado (%/día)																										
1,2	83	21	3,95																										
2,5	81	30	2,70																										
3,8	80	35	2,30																										
5,0	77	40	1,92																										
6,2	80	41	1,95																										
7,5	79	82	1,88																										
Calidad del secado	Grietas y rajaduras: solamente se producen grietas pequeñas durante el secado y aparecen en las regiones próximas a los nudos, sin embargo no es un problema severo. Arqueadura: de baja incidencia. Encorvadura: existen piezas que tienen este problema antes del secado, aunque luego del secado no aumenta la magnitud y la cantidad de aparición de este defecto. Alabeo: se presenta en madera próxima a la médula y a los nudos. Colapso: no se presenta este defecto. Acanalado: se presenta en poca cantidad. Manchas: no se presentan.																												



Inicio de apilado al aire de madera



Rajaduras y grietas por cabeza en madera seca al aire



Grietas asociados a los nudos luego del secado

Fotografías | Róger Moya

10. Secado al horno de la madera

Clasificación	Descripción	Programa de secado recomendado			
Clasificación	Es considerada de rápido secado y con problemas de rajaduras, grietas, torceduras y pandeos.				
Tiempo de secado	Madera de 2,54 cm de espesor presenta un tiempo de secado de 65 - 70 horas, incrementando y disminuyendo este tiempo con el aumento o decrecimiento del espesor de la madera.				
Calidad del secado	El secado solamente influye en las rajaduras y grietas existentes luego del aserrío, las cuales incrementan su magnitud entre 22 mm y 38 mm en promedio respectivamente. La arqueadura por el secado incrementa en 6,7 mm, pero no aparece en tablas que no lo tenían. La encorvadura es un defecto que está presente antes del secado, se mantiene después del secado y aparece en tablas que no lo tenían, este defecto por efecto del secado incrementa en 3,5 mm. El alabeo se incrementa en 2 mm y también afecta tablas que no poseían este defecto antes del secado.				
		Etapa	T (°C)	CHE (%)	HR (%)
		Calefacción	40	-	-
			50	16,5	-
		Secado	60	16,2	50
			60	14,2	45
			60	11,5	40
			60	8,3	35
			60	4,9	30
			66	3,2	25
			71	3,4	20
			77	3,5	15
			82	3,5	12
			Igualación	80	3,5
		Acondicionamiento	70	4,0	-
		Enfriamiento	30	4,0	-
		T: Temperatura (°C) CHE: Contenido de Humedad en Equilibrio (%) HR: Humedad Relativa (%) Fuente: se combinó programas T2-D4 (modificado) y T6-D2 establecido por Sydney et al. (1988).			



Apilado en cámara de humedad



Ubicación de sondas en la pila de madera



Sondas de control durante el secado

Fotografías | Róger Moya

11. Preservación de la madera

Preservación	Descripción										
Tratamiento de inmersión-difusión	<p>La madera de jaúl preservada, utilizando el método de inmersión - difusión con sales de boro, es penetrada totalmente en los diferentes espesores de tabla en tiempos adecuados. La madera preservada con este método es recomendable para uso en interiores sin la exposición al agua. El siguiente cuadro muestra el tiempo de difusión necesario para que las sales de boro alcancen una penetración del 100%.</p> <table border="1"><thead><tr><th>Espesor (cm)</th><th>Tiempo difusión (días)</th></tr></thead><tbody><tr><td>2,5</td><td>18</td></tr><tr><td>3,8</td><td>21</td></tr><tr><td>5,0</td><td>25</td></tr><tr><td>6,2</td><td>28</td></tr></tbody></table>	Espesor (cm)	Tiempo difusión (días)	2,5	18	3,8	21	5,0	25	6,2	28
Espesor (cm)	Tiempo difusión (días)										
2,5	18										
3,8	21										
5,0	25										
6,2	28										
Tratamiento vacío-presión	<p>En el duramen de esta especie, la penetración del preservante es nula, mientras que en la albura se logra una penetración vascular parcial e irregular. La absorción del preservante en la madera es de 386,0 litros/m³ y la retención es de 7,7 kg/m³. La madera preservada con este método y utilizando un preservante tipo CCA - C se clasifica como Clase 4, se recomienda para uso en exteriores, en contacto permanente con el suelo, con agua o riesgos de termitas.</p>										



Preservación vacío – presión



Piezas de madera aserrada preservadas a presión

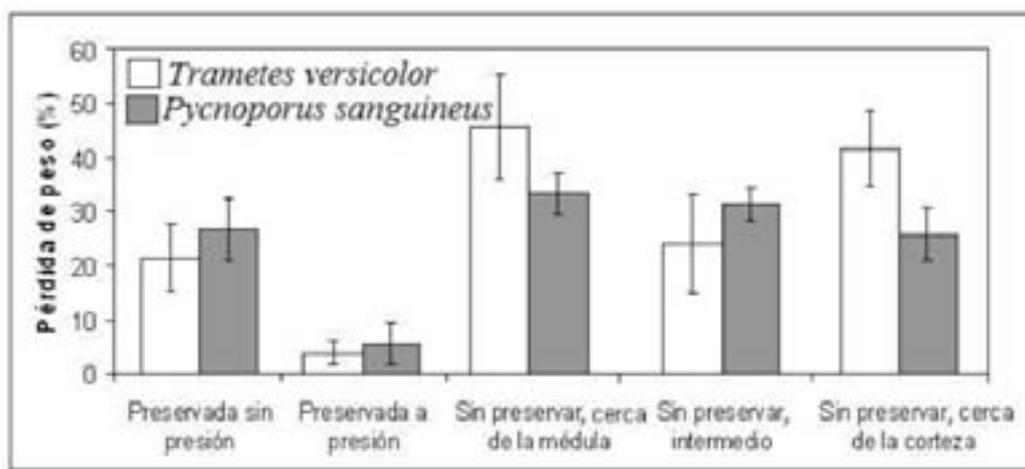


Poste preservado, muestra duramen (sin preservar) y albura (preservada irregularmente)

Fotografías | Róger Moya

12. Durabilidad de la madera

Tipo de ataque	Descripción
Hongos	Las pruebas aceleradas con hongos de pudrición blanca, <i>Trametes versicolor</i> y <i>Pycnoporus sanguineus</i> , muestran que la durabilidad de la madera sin preservar está relacionada a la posición de la tabla respecto a la médula. La madera alrededor de la médula se clasifica como no resistente, la madera cortada en el 50% de la distancia entre la médula y la corteza y la madera cortada cerca de la corteza se clasifican como moderadamente resistentes. La madera aserrada y preservada con preservante tipo CCA - C se clasifica como altamente resistente. La madera preservada con sales de boro se cataloga como moderadamente resistente.
Insectos	La madera de albura y duramen de jaúl no es resistente al ataque de termitas de madera seca o de madera húmeda. Para aumentar la resistencia al ataque de insectos es necesario preservarla con sales de boro o preservante tipo CCA - C.



La figura muestra la pérdida de peso en madera de jaúl, por ataque de los hongos *T. versicolor* y *P. sanguineus* en madera sin preservar y en madera preservada a presión. La madera sin preservar presenta pérdidas de peso mayores que las obtenidas en la madera preservada. La mayor degradación se observa para el ataque del hongo *T. versicolor*.

13. Trabajabilidad de la madera

Operación	Descripción
Cepillado	<p><i>Clasificación:</i> en estado juvenil es pobre, solamente cerca del 30% de la superficie queda libre de defectos, debido a la presencia de grano encontrado.</p> <p><i>Presencia de defectos:</i> en madera juvenil es frecuente el grano veloso combinado con grano arrancado. El defecto se presenta en un nivel de moderado a grave, lo que lo hace altamente visible.</p> <p><i>Recomendación:</i> para disminuir estos defectos, se recomienda ángulos de ataque de 15° y velocidad de alimentación de 12 m/minuto para cortes radiales y tangenciales. En caso de cortes oblicuos (combinación de radial y tangencial), se recomienda un ángulo de 15° y a 6 m/minuto en la velocidad de alimentación. Aplicando esta recomendación se asegura un aumento del área libre de defectos hasta del 50%.</p>
Lijado	<p><i>Clasificación:</i> se lija fácilmente, ocurre poco embotamiento de la lija dando superficies de buena calidad.</p> <p><i>Presencia de defectos:</i> en madera con grano veloso y grano arrancado, el defecto llega a desaparecer con una sola pasada de la lijadora.</p> <p><i>Recomendación:</i> siempre es importante utilizar la lija # 60 para eliminar los defectos del cepillado y finalmente una lija de grano superior a 100, para lograr superficies buena calidad en el acabado.</p>
Taladrado	<p><i>Clasificación:</i> es muy deficiente con broca para metal, produce superficie de buena a regular. Estas calidades mejoran con broca para madera, logrando superficies buenas a muy buenas.</p> <p><i>Defectos:</i> con broca para madera se presentan pocos defectos, tales como el grano arrancado y una superficie poco regular. Con broca para metal se presenta grano veloso, grano arrancado y una superficie irregular.</p> <p><i>Recomendación:</i> utilizar broca para madera y no de metal cuando es necesario hacer un orificio. Adicionalmente, es importante considerar que para aumentar la eficiencia en la penetración del taladro se recomiendan revoluciones sobre 500 rpm.</p>



Presencia de grano arrancado luego del cepillado, muy común en jaúl



Muestra de madera lijada con excelente calidad superficial



Taladrado con broca para madera de mejor calidad de hueco

Fotografías | Cynthia Salas

Continúa en la siguiente página ►

13. Trabajabilidad de la madera

Operación	Descripción
Torneado	<p><i>Clasificación:</i> resulta de muy mala calidad cuando se introduce la gubia de forma horizontal, mejorando levemente cuando la gubia se inclina.</p> <p><i>Presencia de defectos:</i> el astillado y el grano arrancado, en mayor abundancia.</p> <p><i>Recomendación:</i> la madera de árboles jóvenes no resulta adecuada para el torneado.</p>
Moldurado	<p><i>Clasificación:</i> la calidad del moldurado que se obtiene en esta especie va de regular a bueno. En extremos de las tablas se dan buenos resultados, pero en el corte en dirección del hilo, la calidad se ve muy disminuida por la presencia de grano encontrado.</p> <p><i>Presencia de defectos:</i> los defectos que se presentan son el grano arrancado combinado con grano veloso, el defecto es de leve a moderado. La superficie moldurada se ve afectada hasta en un 50% del área.</p> <p><i>Recomendación:</i> De requerirse la moldura en madera de árboles jóvenes, se recomiendan que se prefieran los cortes tangenciales pues en estos se observa la menor incidencia del defecto.</p>
Escopleado	<p><i>Clasificación:</i> la calidad del escopleado es muy buena.</p> <p><i>Presencia de defectos:</i> se presentan pocas velosidades y escaso grano arrancado.</p> <p><i>Recomendación:</i> apta para este tipo de trabajo en todos los cortes.</p>



Presencia de astillado y grano arrancado en torneado



Moldura de calidad aceptable



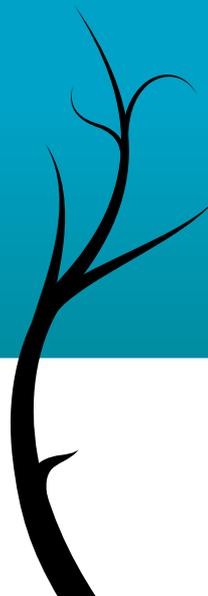
Caja de muy buena calidad para el escopleado

Fotografías | Cynthia Salas

Pochote

Nombre científico
***Bombacopsis quinata* (Jacq.) Dugand**

Familia
Bombacaceae



Róger Moya Roque
Cynthia Salas Garita
Laura Leandro Zuñiga

Referencia bibliográfica de la Ficha Técnica nº 3

Moya Roque, R; Salas Garita, C; Leandro Zúñiga, L. 2010. Pochote: *Bombacopsis quinata* (Jacq.) Dugand. Bombacaceae. Ficha técnica 3. In Tecnología de madera de plantaciones forestales: Fichas técnicas. R. Moya R., [et al]. (en línea). Revista Forestal Mesoamericana Kurú 7(18-19):57-71. (Editorial Corporación Garro y Moya, (ISBN: 978-9968-9643-3-3). Disponible en www.tec.ac.cr/revistaforestal

1. Aprovechamiento de plantaciones

Característica	Descripción
Facilidad de corte y volteo	Los árboles son de fácil corte, debido a que la madera es suave. No obstante ocurre el desafilado de las sierras por la presencia de agujiones muy duros. La presencia de “gambas” grandes hace necesario usar sierras afiladas y motosierras con espadas grandes
Caída natural y cambio de dirección de caída	Es frecuente encontrar árboles de mala forma y copa poco uniforme, con una caída natural indefinida. En árboles con copa poco simétrica se dificulta cambiar la dirección de caída, no así en árboles de copa simétrica.
Desafilado de sierras	Se puede producir un desafilado rápido por la presencia de agujiones en la corteza; no obstante, el filo se mantiene dentro de lo esperado para la especie.
Susceptibilidad a quebrantaduras	No se presentan problemas de quebrantaduras del fuste.
Fisonomía del fuste	En la base del árbol se presenta una alta conicidad. Posterior a un metro de altura, las trozas son de buena forma hasta la primera bifurcación. A partir de allí, la forma es irregular.
Trozas por árbol	La presencia de bifurcaciones a poca altura da como resultado una baja cantidad de trozas: 2 a 4 trozas por árbol.
Frecuencia de ramas y operación de desrame	Se presenta poca presencia de ramas, sobre todo en plantaciones bien manejadas. En la parte alta del árbol, la cantidad de ramas aumenta y en general son de diámetro mayor a 2 cm. En tanto el desrame es rápido en la parte baja del fuste, en la parte alta es lento, debido a que en esta parte de presenta ramas con agujiones, lo que no permiten caminar libremente.



Corte de árboles de 14 años



Operación de derrame y corte en la altura comercial del árbol



Presencia de agujiones en el fuste

Fotografías | Róger Moya

2. Troceo, transporte y durabilidad de las trozas

Característica	Descripción
Troceo	Fácil de realizar, producto de las bajas tensiones de crecimiento en el árbol. Se hace necesario utilizar equipo de protección y aditamentos de aprovechamiento ante la presencia de agujones en el fuste.
Acarreo	Trozas de 2,5 m de largo con 25 cm de diámetro promedio (densidad en condición verde: 960 kg/m ³), poseen un peso aproximado de 117 kg. El acarreo de trozas al patio de acopio, con dimensiones menores a las señaladas, se puede realizar por medio de la fuerza humana; para diámetros mayores es necesario utilizar otros equipos o bien fuerza animal.
Apilado	La operación se dificulta por la presencia de espinas en el fuste, que impiden que las trozas se deslicen fácilmente entre ellas, obstaculizando el acomodo.
Durabilidad de trozas	En la época seca, pueden aparecer grietas en los extremos de aquellas trozas ubicadas en patios de acopio o en el campo. En la época lluviosa, rápidamente aparecen manchas u hongos en los extremos de las trozas, siendo además posible la aparición de insectos que dañan la madera.



Arrastre de fustes de árboles con tractor agrícola



Inicio del troceo del árbol



Presencia de rajaduras y hongos en trozas dejadas en patio luego de 9 meses

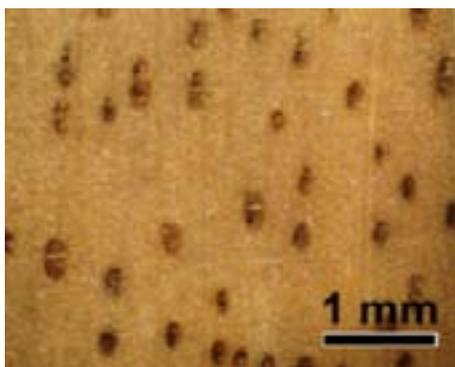
Fotografías | Róger Moya

3. Descripción general y macroscópica de la madera

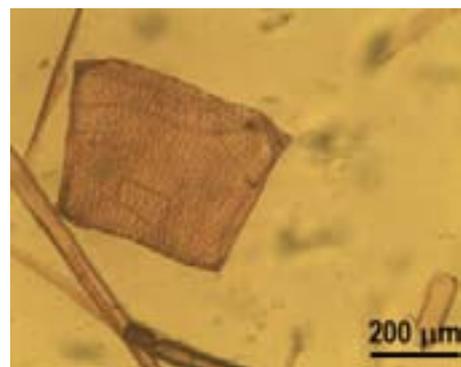
Descripción	Detalle
General	<p><i>Diferenciación</i> entre albura y duramen: ausente. <i>Color</i>: en árboles jóvenes no presenta duramen, la albura es de color blanco en tanto que en la condición seca, se torna gris claro (10YR 7/2). <i>Veteado</i>: ligeramente definido. <i>Textura</i>: media. <i>Olor</i>: indistinto. <i>Sabor</i>: imperceptible o indistintivo. <i>Brillo</i>: opaco en todos sus cortes. <i>Tipo de grano</i>: recto. <i>Anillos de crecimiento</i>: poco definidos y en algunas ocasiones se presenta una formación de anillos ligeramente visibles por un engrosamiento de la pared celular. <i>Densidad</i>: seca al aire es de 0,30 g/cm³, por lo que se considera una madera liviana.</p>
Macroscópica	<p><i>Vasos</i>: visibilidad a simple vista, de tamaño grande, poros solitarios y algunos múltiples radiales de 2 a 3 células en sentido radial, poca abundancia, porosidad difusa, sin patrón definido y gomas ausentes en la albura, pero presentes en el duramen. <i>Parénquima axial</i>: visible a simple vista y de tipo paratraqueal, vasicéntrico escaso, apotraqueal de difuso en agregados y en bandas muy delgadas. <i>Parénquima radial</i>: algunos radios son muy visibles a simple vista y otros apenas visibles con aumento de 10X, ancho medio, se observa radios de dos anchos, de abundancia media, y no estratificado.</p>



Corte tangencial longitudinal



Corte transversal macroscópico



Fibra, parénquima y vaso en material macerado

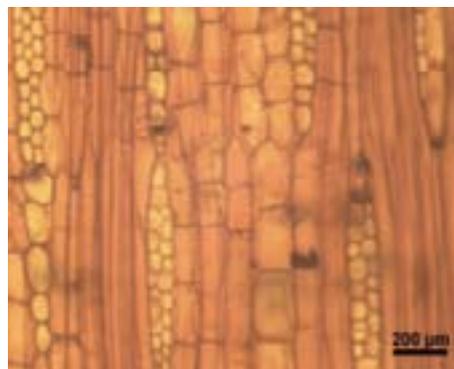
Fotografías | Carlos Olivares

4. Descripción microscópica de la madera

Descripción microscópica	Detalle
Vasos	<p><i>Porosidad:</i> difusa. <i>Distribución:</i> no definida. <i>Agrupamiento:</i> solitarios en promedio 37 % (0 – 55%) y múltiples de 2 - 3 (hasta 6) células en sentido radial. <i>Frecuencia:</i> pocos, promedio de 3 poros/mm² (2 a 4). <i>Diámetro:</i> grandes, promedio de 294 μm (207 - 393). <i>Longitud:</i> cortos, promedio de 119 μm (35–363). <i>Engrosamiento helicoidal de las paredes:</i> ausentes. <i>Apéndices:</i> ausentes. <i>Platinas de perforación:</i> simples. <i>Gomas:</i> presentes en el duramen. <i>Tíldes:</i> presente en el duramen. <i>Presencia de cristales:</i> ausentes. <i>Punteaduras ínter - vasculares:</i> simples alternas, hexagonales, sin ornamentaciones y diámetro grande, promedio de 11 μm (8 - 17). <i>Punteaduras rayos - vasculares:</i> borde muy reducido simple, puntuación redonda o angular y sin ornamentaciones.</p>
Fibras	<p><i>Septos:</i> presentes. <i>Punteaduras:</i> simples a bordeadas, diminutas. <i>Dimensiones:</i> fibras cortas, promedio de 0,79 mm (0,52 - 1,08), diámetro de 28 μm (17 - 47), diámetro de lumen 20 μm (10 - 36), pared celular delgada de 4 μm (3 - 6). <i>Presencia de cristales:</i> ausente. <i>Estratificación:</i> ausente. <i>Otras observaciones:</i> no.</p>
Parénquima radial	<p><i>Tipo:</i> radios pequeños ligeramente estratificados y sobre 5 series. <i>Estratificación:</i> ausente. <i>Dimensiones:</i> radios pequeños uniseriados y biseriados, promedio de 7 μm (4 – 11) de ancho y de 124 μm (31 - 269) de alto, radios grandes multiseriados de 5 a 6 células de ancho y altura mayor a 1 mm. <i>Frecuencia:</i> media, promedio de 7 radios/mm (6 - 8). <i>Tipo de células:</i> heterocelulares, procumbentes en la parte central y cuadradas en la parte marginal. <i>Presencia de cristales:</i> presentes en las células marginales.</p>
Parénquima axial	<p><i>Tipo:</i> paratraqueal, vasicéntrico escaso, apotraqueal difuso en agregados y en bandas cortas de 1 ó 2 células de ancho. <i>Tipo de células:</i> compuestos de 3 a 8 células por filamento. <i>Estratificación:</i> parénquima axial y radial ligeramente estratificados. <i>Presencia de cristales:</i> presentes, tipo prismático o romboidal en el parénquima longitudinal, no formando cámaras.</p>
Otras estructuras	Ausentes



Corte transversal



Corte tangencial-longitudinal



Corte radial-longitudinal

5. Propiedades físicas de la madera

Propiedad Física	Básica	Seca	Anhidra
Densidad (g/cm ³)	0,96 (0,05 / 5,65)	0,39 (0,04 / 10,76)	0,35 (0,04 / 10,36)
Peso específico*	0,32 (0,03 / 9,90)	0,34 (0,03 / 9,91)	0,35 (0,04 / 10,36)

* Clasificación de la madera de esta especie: liviana

Propiedad Física	Condición verde	Condición seca
Contenido de humedad inicial (%)	199,64 (25,31 / 12,68)	-
Capacidad calórica (KJ/kg)	6119 (1999 / 32,68)	15642 (521 / 3,33)

Propiedad Física	Normal (Verde-12%)	Total (Verde-0%)	Clasificación
Contracción radial (%)	1,06 (0,32 / 30,23)	2,45 (0,49 / 20,05)	baja
Contracción tangencial (%)	1,60 (0,42 / 26,42)	3,18 (0,31 / 9,81)	mediana
Contracción volumétrica (%)	5,34 (2,16 / 40,47)	6,28 (2,06 / 32,83)	baja
Razón contracción T/R	1,63 (0,74 / 45,15)	1,34 (0,30 / 22,01)	baja

Notas:

Números entre paréntesis representan la desviación estándar y el coeficiente de variación, respectivamente.

Condición verde sobre el punto de saturación de fibras.

Condición seca al 12% de contenido de humedad.

Razón de contracción T/R: relación contracción tangencial / contracción radial.

Clasificación de peso específico según Hess y Wangard (1950).

Clasificación de contracción según Barcenas (1985).

6. Propiedades mecánicas de la madera

Propiedad mecánica		Condición humedad	
		Verde	Seca
Esfuerzo máximo compresión paralela a la fibra (kg/cm ²)		68 (15,5 / 22,8)	87 (19,9 / 22,9)
Esfuerzo máximo compresión perpendicular a la fibra (kg/cm ²)		94 (17,9 / 19,0)	107 (25,7 / 24,0)
Esfuerzo máximo tensión paralela a la fibra (kg/cm ²)		381 (99,3 / 26,1)	430 (141,5 / 32,9)
Flexión estática (1 carga) (kg/cm ²)	MOR	381 (68,8 / 18,1)	358 (71,9 / 20,1)
	MOE*1000	57 (10,6 / 18,7)	56 (11,1 / 19,9)
Esfuerzo máximo cortante paralelo a la fibra (kg/cm ²)	tangencial	53 (8,7 / 16,5)	53 (6,9 / 13,0)
	radial	41 (15,4 / 6,4)	47 (7,9 / 17,1)
Esfuerzo máximo tensión perpendicular a la fibra (kg/cm ²)	tangencial	15 (2,6 / 15,9)	18 (4,3 / 23,9)
	radial	12 (2,1 / 17,4)	10 (2,8 / 26,1)
Esfuerzo máximo clavaje (kg/cm ²)	tangencial	3,3 (3,2 / 98,9)	2,6 (0,6 / 23,7)
	radial	2,4 (0,6 / 26,7)	3,0 (0,6 / 18,5)
Dureza janka (kg)	axial	99 (18,1 / 18,2)	157 (19,0 / 22,0)
	lateral	89 (19,7 / 22,0)	100 (29,4 / 29,4)
Extracción de clavos (kg)	axial	20 (6,6 / 33,2)	17 (4,2 / 25,0)
	lateral	28 (5,4 / 19,2)	20 (4,0 / 19,9)

Notas:

Condición verde sobre el punto de saturación de fibras.

Condición seca: valores ajustados al 12% CH.

MOR: módulo de ruptura, MOE: módulo de elasticidad

Entre paréntesis: desviación estándar y coeficiente de variación (%).

n = 18 muestras ensayadas por cada propiedad mecánica

7. Propiedades químicas de la madera

Propiedad química	Composición	
Composición global	Holocelulosa (%)	64,11 (3,92 / 6,12)
	Lignina (%)	39,92 (1,44 / 3,61)
	Cenizas (%)	3,99 (0,51 / 12,78)
	Sílice (Si O ₂) (ppm)	4,67 (3,33 / 71,31)
Análisis químico elemental en cenizas	Nitrógeno (%)	0,37 (0,02 / 5,41)
	Fósforo (%)	0,05 (0,01 / 20,00)
	Calcio (%)	1,52 (0,33 / 21,71)
	Magnesio (%)	0,04 (0,01 / 25,00)
	Potasio (%)	0,64 (0,10 / 15,62)
	Azufre (%)	0,02 (0,01 / 50,00)
	Hierro (mg/kg)	23,67 (2,52 / 10,65)
	Cobre (mg/kg)	1,00 (0,00 / 0,00)
	Zinc (mg/kg)	2,67 (1,15 / 43,07)
	Manganeso (mg/kg)	0,00 (0,00 / 0,00)
Boro (mg/kg)	1,67 (0,58 / 34,73)	
Extractivos solubles en	NaOH (al 1%) (%)	11,08 (0,49 / 4,32)
	H ₂ O caliente (%)	6,16 (1,50 / 24,35)
	H ₂ O fría (%)	2,59 (0,49 / 18,92)
	Diclorometano (%)no	2,52 (0,73 / 28,97)
	Tolueno – alcohol (%)	1,26 (0,61 / 48,41)
Otras propiedades	pH	9,72 (0,14 / 1,48)

Notas:

Números entre paréntesis representan la desviación estándar y el coeficiente de variación (%).

n = 9 repeticiones por propiedad química.

8. Desempeño y calidad de aserrío

Aserrío	Descripción												
Desempeño en aserrío	<p>El aserrío de las trozas es en general de poca dificultad. Se producen pocos entrabamientos (atascamientos) de las sierras de corte; no obstante, el manipuleo manual de las trozas se dificulta debido a la presencia de agujijones en la corteza. Durante el aserrío se presentan pocas tensiones de crecimiento, causantes de pandeos o torceduras en la madera aserrada. En trozas sin descortezar, se produce un ligero desafilado de las sierras. Los agujijones producen desgaste de la herramienta de corte.</p>												
Calidad de la madera	<p>En mediciones realizadas sobre madera aserrada, se encontró que no hay problemas con grano veloso. Las grietas se presentaron en el 49% de las tablas evaluadas, con una longitud promedio de 3,63 cm; las rajaduras en el 54% con longitud media de 6,7 cm; la arqueadura no se presentó en madera seca; la encorvadura se presentó en un 87% de las tablas con un promedio de 8 mm de flecha; el alabeo se presentó en un 58% con promedio de 2,5 mm y el acanalado estuvo presente en el 8,7% con flecha promedio de 0,26 mm. No se presentó madera aserrada con médula.</p>												
Rendimiento de la madera	<p>La troza de la parte inferior es de alta conicidad, lo que disminuye el rendimiento. El rendimiento puede alcanzar hasta el 60% cuando se produce madera de cuadro con gruesos superiores a 5 cm. No obstante, es frecuente aserrar la troza en tablas de 2,5 cm de espesor y el rendimiento puede variar entre 45 - 60%. El siguiente cuadro muestra los rendimientos esperados para los diferentes rangos diamétricos:</p> <table border="1" data-bbox="659 957 1198 1252"> <thead> <tr> <th data-bbox="659 957 922 1005">Diámetro (cm)</th> <th data-bbox="922 957 1198 1005">Rendimiento (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="659 1005 922 1052">15 - 20</td> <td data-bbox="922 1005 1198 1052">20 - 30</td> </tr> <tr> <td data-bbox="659 1052 922 1100">20 - 25</td> <td data-bbox="922 1052 1198 1100">25 - 30</td> </tr> <tr> <td data-bbox="659 1100 922 1148">25 - 30</td> <td data-bbox="922 1100 1198 1148">30 - 45</td> </tr> <tr> <td data-bbox="659 1148 922 1195">30 - 35</td> <td data-bbox="922 1148 1198 1195">45 - 55</td> </tr> <tr> <td data-bbox="659 1195 922 1243">Mayor a 35 cm</td> <td data-bbox="922 1195 1198 1243">50 - 60</td> </tr> </tbody> </table>	Diámetro (cm)	Rendimiento (%)	15 - 20	20 - 30	20 - 25	25 - 30	25 - 30	30 - 45	30 - 35	45 - 55	Mayor a 35 cm	50 - 60
Diámetro (cm)	Rendimiento (%)												
15 - 20	20 - 30												
20 - 25	25 - 30												
25 - 30	30 - 45												
30 - 35	45 - 55												
Mayor a 35 cm	50 - 60												



Proceso de aserrío con aserradero portátil de banda



Madera aserrada de pochote



Decoloración en los extremos de las tablas por secado de las trozas en esa parte

9. Secado al aire de la madera

Parámetro	Descripción																
Clasificación	La madera de pochote proveniente de plantaciones jóvenes es considerada de muy rápido secado, muy diferente a la madera de bosque natural donde no se logra la totalidad del secado. Los espesores menores a 5 cm tienen tiempos de secado inferiores a 23 días. Es una de las especies de plantación de más rápido secado.																
Tiempo de secado	<p>La madera de esta especie presenta una razón de secado que oscila entre 2,75 a 5,75% / día y tiempos para alcanzar el 20% de contenido de humedad entre 13 y 23 días para espesores menores de 5 cm. El siguiente cuadro muestra los diferentes parámetros de secado al aire para diferentes espesores de tabla.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Espesor (cm)</th> <th>CHi* (%)</th> <th>Número de días**</th> <th>Razón de secado (%/día)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2,54</td> <td>88,78</td> <td>13</td> <td>5,75</td> </tr> <tr> <td>3,81</td> <td>80,77</td> <td>19</td> <td>3,37</td> </tr> <tr> <td>5,08</td> <td>80,69</td> <td>23</td> <td>2,75</td> </tr> </tbody> </table> <p>*Contenido de humedad inicial (CHi). **Número de días para alcanzar 20% en CH. Ensayo realizado en época seca en la ciudad de Nicoya.</p>	Espesor (cm)	CHi* (%)	Número de días**	Razón de secado (%/día)	2,54	88,78	13	5,75	3,81	80,77	19	3,37	5,08	80,69	23	2,75
Espesor (cm)	CHi* (%)	Número de días**	Razón de secado (%/día)														
2,54	88,78	13	5,75														
3,81	80,77	19	3,37														
5,08	80,69	23	2,75														
Calidad del secado	<p><i>Grietas y rajaduras:</i> de poca magnitud en los extremos de las tablas, ausente en la médula, en la región próxima a la médula y en las tablas que contienen esta parte del árbol, como en otras especies de plantación, ya que ésta es muy pequeña. <i>Arqueadura:</i> se produce poca incidencia y magnitud de este defecto. <i>Encorvadura:</i> en poca cantidad y magnitud. <i>Alabeo:</i> poca cantidad y magnitud. <i>Colapso:</i> no se presenta este problema. <i>Acanalado:</i> se presentan en poca cantidad. <i>Manchas:</i> propensa a producir una mancha color negro cuando la madera no se protege adecuadamente de la lluvia.</p>																



Pila de secado al aire cubierta con techo de plástico



Apilado al aire



Madera de pochote de 3,81 cm de espesor, una vez finalizado el proceso de secado al aire

Fotografías | Paula Gómez y Róger Moya

10. Secado al horno de la madera

Clasificación	Descripción	Programa de secado recomendado																																																
Clasificación	Moderado a lento secado y con leves problemas relacionado a rajaduras, grietas, torceduras o pandeos.	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Etapa</th> <th>T (°C)</th> <th>CHE (%)</th> <th>HR (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">Calefacción</td> <td>35</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>45</td> <td>14,4</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td rowspan="8">Secado</td> <td>49</td> <td>14,4</td> <td>45</td> </tr> <tr> <td>49</td> <td>12,1</td> <td>40</td> </tr> <tr> <td>49</td> <td>9,6</td> <td>35</td> </tr> <tr> <td>50</td> <td>6,5</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>55</td> <td>4,0</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>60</td> <td>2,9</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>66</td> <td>3,2</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>82</td> <td>3,5</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>Igualación</td> <td>82</td> <td>3,5</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>Acondicionamiento</td> <td>75</td> <td>10,0</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Enfriamiento</td> <td>30</td> <td>10,0</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table> <p>T: Temperatura (°C) CHE: Contenido de Humedad en Equilibrio (%) CH: Contenido de humedad de la madera (%) Fuente: Cordero, 2003</p>	Etapa	T (°C)	CHE (%)	HR (%)	Calefacción	35	-	-	45	14,4	-	Secado	49	14,4	45	49	12,1	40	49	9,6	35	50	6,5	30	55	4,0	25	60	2,9	20	66	3,2	15	82	3,5	10	Igualación	82	3,5	8	Acondicionamiento	75	10,0	-	Enfriamiento	30	10,0	-
Etapa	T (°C)		CHE (%)	HR (%)																																														
Calefacción	35		-	-																																														
	45		14,4	-																																														
Secado	49		14,4	45																																														
	49		12,1	40																																														
	49		9,6	35																																														
	50		6,5	30																																														
	55		4,0	25																																														
	60		2,9	20																																														
	66	3,2	15																																															
	82	3,5	10																																															
Igualación	82	3,5	8																																															
Acondicionamiento	75	10,0	-																																															
Enfriamiento	30	10,0	-																																															
Tiempo de secado	Madera de 2,54 cm de espesor con un contenido de humedad inicial de 137,49% presenta un tiempo de secado de 143 horas para llegar al 10,4%, lo que significa una velocidad de secado de 0,91%/hora, incrementando y disminuyendo este tiempo con el aumento o decrecimiento del espesor de la madera, respectivamente.																																																	
Calidad del secado	Luego del secado, cerca del 20% de las piezas presentan rajaduras o grietas; sin embargo, estas no alcanzan longitud superior a 2 cm. La arqueadura no aumenta ni disminuye o aparece en nuevas tablas, por efecto del secado. El defecto de torceduras en general (alabeo, encorvadura y acanalado y encorvadura) se mantiene en las piezas que presentaban este defecto antes del secado y se incrementan ligeramente, no obstante su magnitud es inferior a 5 mm.																																																	



Calidad de madera seca al horno con poca presencia de rajaduras y torceduras



Presencia de rajaduras longitudinales asociado a la médula, luego del secado



Grietas en madera seca, asociado a la presencia de médula

11. Preservación de la madera

Preservación	Descripción								
Tratamiento de inmersión-difusión	<p>La madera de pochote preservada, utilizando el método de inmersión-difusión con sales de boro, es penetrada totalmente en los diferentes espesores de tabla en tiempos adecuados según sea el espesor. La madera preservada por este método es recomendable para uso de interiores, sin la exposición al agua. El siguiente cuadro muestra el tiempo de difusión necesario para que las sales de boro alcancen una penetración del 100%.</p> <table border="1"><thead><tr><th>Espesor (cm)</th><th>Tiempo difusión (días)</th></tr></thead><tbody><tr><td>2,5</td><td>21</td></tr><tr><td>3,8</td><td>25</td></tr><tr><td>5,0</td><td>28</td></tr></tbody></table> <p>Fuente: Paula Gómez</p>	Espesor (cm)	Tiempo difusión (días)	2,5	21	3,8	25	5,0	28
Espesor (cm)	Tiempo difusión (días)								
2,5	21								
3,8	25								
5,0	28								
Tratamiento vacío-presión	<p>En el duramen de esta especie, la penetración del preservante es nula, mientras que en la albura se logra una penetración vascular parcial y regular. La absorción del preservante en la madera es de 198,1 litros/m³ y la retención es de 4,0 kg/m³. La madera preservada con este método y utilizando un preservante tipo CCA - C se clasifica como riesgo Clase 2 y se recomienda para uso bajo techo y temporalmente humedecida.</p>								



Penetración irregular en un poste compuesto de madera de albura (el color azul indica las zonas donde está presente el preservante)



Madera cubierta con plástico durante el período de almacenamiento en la preservación con sales de boro

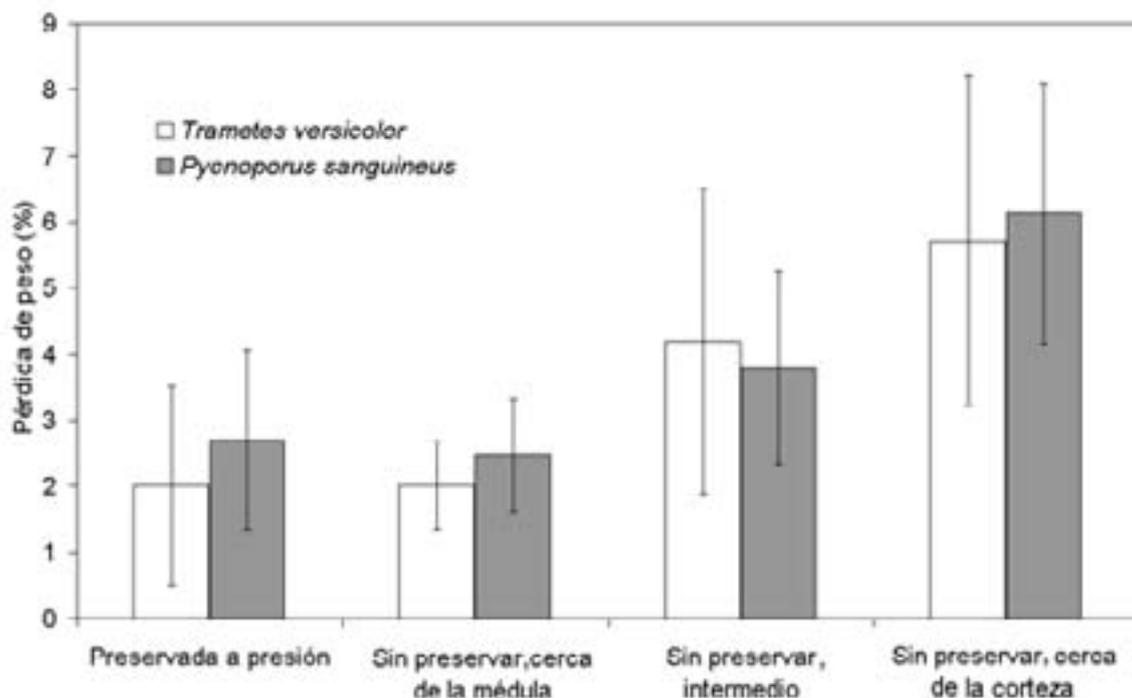


Penetración de las sales de boro con 28 días de almacenamiento (el color rojo indica la penetración del preservante)

Fotografías | Paula Gómez y Róger Moya

12. Durabilidad de la madera

Tipo de ataque	Descripción
Hongos	Las pruebas aceleradas con dos hongos de producción blanca, <i>Trametes versicolor</i> y <i>Pycnoporus sanguineus</i> , muestran que la durabilidad de la madera sin preservar está relacionada a la posición de la tabla respecto a la médula. La madera alrededor de médula, generalmente con presencia de duramen, se clasifica como resistente, la madera cortada entre el 50% de la distancia entre la médula y la corteza, se cataloga como moderadamente resistente y la madera cortada cerca de la corteza se clasifica como poco resistente al ataque de ambos hongos. La madera aserrada y tratada con preservante tipo CCA, se clasifica como altamente resistente.
Insectos	El pochote es moderadamente resistente al ataque de termitas de madera seca y de madera húmeda cuando se trata de madera de albura, pero la madera de duramen es altamente resistente a este ataque, sobre todo en árboles de plantaciones sobre los 15 años. Para aumentar la resistencia al ataque de estos insectos es necesario preservar la madera con sales de boro y sales de CCA, en el caso de la albura.



La figura muestra la pérdida de peso (en porcentaje) por ataque de los hongos *T. versicolor* y *P. sanguineus*, en madera preservada a presión y madera sin preservar. La madera sin preservar, ubicada entre la mitad de la médula y la corteza y cerca de la corteza, presenta pérdidas de peso mayores que las obtenidas en la madera preservada. La madera alrededor de la médula presenta un comportamiento similar a aquella preservada a presión, esto porque en los árboles muestreados hay presencia de duramen. La madera preservada de albura posee una degradación similar a la madera de duramen o cerca de la médula.

13. Trabajabilidad de la madera

Operación	Descripción
Cepillado	<p><i>Clasificación:</i> de excelente desempeño, con ángulo de ataque de cuchillas de 30° y 15° y velocidad de alimentación de 6 m/min, logrando hasta un 85% de la superficie libre de daños. Si se aumenta la velocidad de alimentación, la calidad de la superficie libre de daño podría ser inferior al 50%.</p> <p><i>Presencia de defectos:</i> cuando se utilizan velocidades de alimentación de 20 m/min y ángulo de ataque de 30° y 15°, aparece grano veloso leve y suave.</p> <p><i>Recomendación:</i> si se desean superficies de buena calidad, se recomienda utilizar ángulo de ataque de 15° y velocidades bajas cercanas a los 6 m/min, ya que se tienen superficies libre de daños superior al 90%..</p>
Lijado	<p><i>Clasificación:</i> muy fácil de lijar, con embotamiento y desgaste normal de la lija. La superficie que se lija no se calienta.</p> <p><i>Presencia de defectos:</i> se presentan pequeñas marcas de lijas, menor al 5%.</p> <p><i>Recomendación:</i> preferiblemente empezar esta labor con lija # 60 para eliminar los defectos del cepillado y dar el acabado final con lija # 100 para lograr superficies de buena calidad.</p>
Taladrado	<p><i>Clasificación:</i> con broca para metal, la velocidad con que se obtiene el orificio es alta, pero la calidad de la superficie taladrada es regular. Con broca para madera se logran orificios de excelente calidad, pero la penetración de la broca es lenta.</p> <p><i>Defectos:</i> con broca para madera se observa astillamiento de la superficie y grano arrancado, en el extremo de salida de la herramienta. El uso de la broca para metal genera superficie de baja calidad con daños hasta en el 75% de la misma, con grano arrancado.</p> <p><i>Recomendación:</i> para obtener orificios de calidad es preferible utilizar la broca para madera en vez de la broca para metal. Para aumentar la eficiencia en la penetración del taladro se recomiendan revoluciones sobre 1000 rpm.</p>



Superficie libre de daños obtenida después del cepillado



Calidad de lijado excelente para esta especie



Superficie rasgada a la salida de la broca para madera, pero los orificios taladrados son de excelente calidad

Fotografías | Cynthia Salas

Continúa en la siguiente página ►

13. Trabajabilidad de la madera

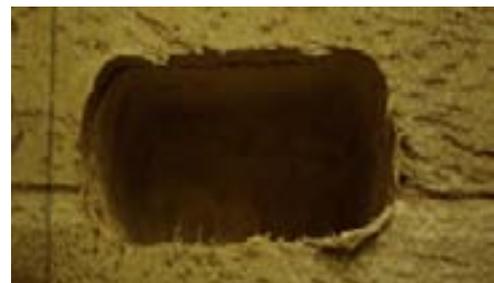
Operación	Descripción
Torneado	<i>Clasificación:</i> resulta de excelente calidad cuando se introduce la gubia de forma horizontal. El corte pierde calidad hasta en un 50% si la gubia penetra inclinada. <i>Presencia de defectos:</i> se visualiza grano arrancado leve cuando la gubia se introduce inclinada. <i>Recomendación:</i> debe prestarse atención al filo de las gubias.
Moldurado	<i>Clasificación:</i> la calidad del moldurado es de muy buena a excelente. <i>Presencia de defectos:</i> en algunas ocasiones se presenta superficie con grano vellosa leve y escaso. <i>Recomendación:</i> esta especie es apta para esta operación.
Escopleado	<i>Clasificación:</i> la calidad del escopleado es muy buena. <i>Presencia de defectos:</i> en la superficie de los orificios se presenta grano vellosa leve, pero de mediana abundancia. <i>Recomendación:</i> apta para este tipo de trabajo en todos los cortes.



Superficies obtenidas torneadas con gubia ingresando en forma inclinada y horizontal



Superficie moldurada de muy buena calidad en pochote



Orificio escopleado con presencia de vellos en la superficie

Fotografías | Cynthia Salas

Ciprés

Nombre científico
***Cupressus lusitanica* Mill.**

Familia
Cupresaceae



Róger Moya Roque
Cynthia Salas Garita
Laura Leandro Zuñiga

Referencia bibliográfica de la Ficha Técnica nº 4

Moya Roque, R; Salas Garita, C; Leandro Zúñiga, L. 2010. Ciprés: *Cupressus lusitanica* Mill. Cupresaceae. Ficha técnica 4. In Tecnología de madera de plantaciones forestales: Fichas técnicas. R. Moya R., [et al]. (en línea). Revista Forestal Mesoamericana Kurú 7(18-19):72-86. (Editorial Corporación Garro y Moya, (ISBN: 978-9968-9643-3-3). Disponible en www.tec.ac.cr/revistaforestal

1. Aprovechamiento de plantaciones

Característica	Descripción
Facilidad de corte y volteo	Moderadamente fácil de cortar. Es recomendable el corte de dirección abierta, conocido como tradicional. En sitios de fuerte pendiente es recomendable utilizar el corte al revés “Humboldt”. La cantidad de ramas dificulta la caída natural o bien propicia que los árboles queden prensados entre otros árboles en el momento de la corta.
Caída natural y cambio de dirección de caída	En plantaciones con alta densidad, la presencia de copas bien desarrolladas con abundantes ramas dificultan la caída natural debido al entrelace entre los árboles. Ante esta situación, se debe cambiar la dirección de caída para evitar daños en árboles vecinos.
Desafilado de sierras	Se presentan pocos problemas con el desafilado o embotamiento de la cadena de la motosierra. En plantaciones viejas, es necesario al final del día limpiar la motosierra y dar el afilado a la cadena.
Susceptibilidad a quebrantaduras	No se presentan problemas, debido a que el desarrollo de las ramas amortigua la caída del árbol.
Fisonomía del fuste	En plantaciones bien manejadas, el árbol presenta fuste recto, con conicidad y pequeñas gambas en la base. En la parte alta se da alta frecuencia de ramas.
Trozaz por árbol	La cantidad de trozas que se pueden extraer varía entre 3 y 7 trozas / árbol, dependiendo de la rectitud del fuste.



Operación de corta de los árboles



Desrame del fuste, observe la cantidad de ramas



Arrastre con tractor agrícola

Fotografías | Róger Moya

2. Troceo, transporte y durabilidad de las trozas

Característica	Descripción
Troceo	Fácil de trocear. La especie presenta leves tensiones de crecimiento.
Acarreo	Las trozas de 2,5 m de largo y 20 cm de diámetro poseen un peso aproximado de 64 kg (su densidad en condición verde es 810 kg / m ³), por lo que se considera que el transporte de trozas de diámetro menor al indicado anteriormente, se puede realizar por medio de la fuerza humana; aunque se debe tener cuidado con los nudos dejados por la ramas.
Apilado	La operación es sencilla de realizar si el derrame fue realizado adecuadamente, pues permite que las trozas se acomoden fácilmente. No ocurre deslizamiento entre ellas, debido a que la corteza presenta superficie rugosa.
Durabilidad de trozas	La durabilidad del duramen puede ser hasta de un año, sin embargo la albura puede ser fácilmente atacada por hongos o insectos, afectando la calidad de la madera aserrada. Este problema se acentúa en el periodo de lluvias, que además ocasiona un rápido desprendiendo de la corteza dejando al descubierto la troza y produciendo rajaduras longitudinales en las mismas.



Corte del extremo del fuste para el troceo



Troceo del fuste



Deterioro de trozas luego de un año, sin corteza y la presencia de rajaduras longitudinales

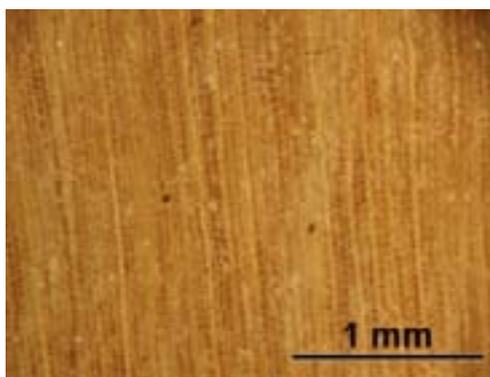
Fotografías | Róger Moya

3. Descripción general y macroscópica de la madera

Descripción	Detalle
General	<i>Diferenciación entre albura y duramen:</i> marcación abrupta. <i>Color:</i> en condición seca, el duramen presenta un color pardo amarillento claro (10YR 8 / 4) y la albura un color blanco (10YR 8 / 2). <i>Veteado:</i> definido por anillos de crecimiento. <i>Textura:</i> fina. <i>Olor:</i> característico. <i>Sabor:</i> imperceptible <i>Brillo:</i> ligero <i>Tipo de grano:</i> recto. <i>Densidad de la madera:</i> seca al aire es de 0,58 g/cm ³ , por lo que se considera como madera moderadamente pesada.
Macroscópica	<i>Parénquima radial:</i> poco visible a aumento de 10X, muy frecuente, de tamaño pequeño y no estratificado.



Corte tangencial longitudinal



Corte transversal macroscópico

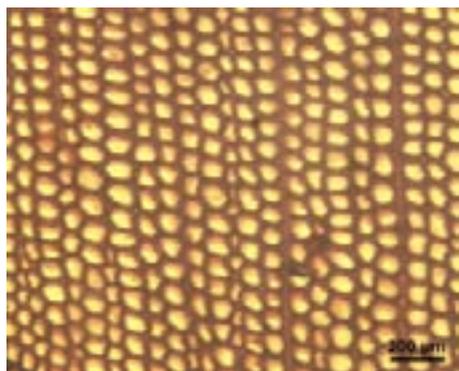


Fibra y parénquima en material macerado

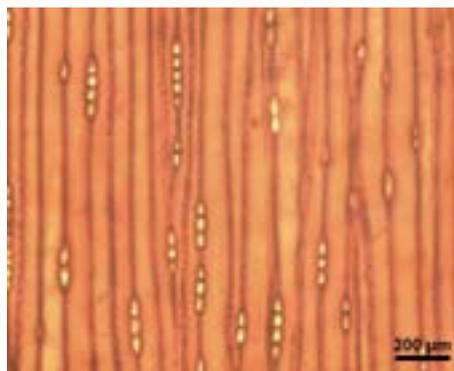
Fotografías | Carlos Olivares

4. Descripción microscópica de la madera

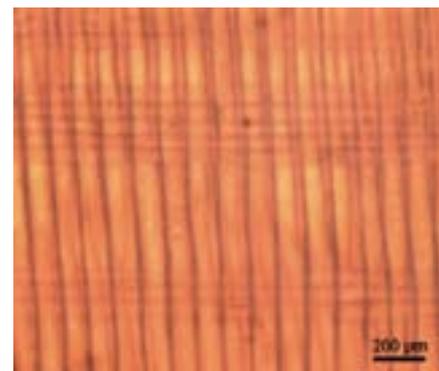
Descripción microscópica	Detalle
Anillos de crecimiento	<i>Límite:</i> marcación de anillos de crecimiento por presencia de fibras con engrosamiento de las paredes celulares. <i>Transición leño temprano y leño tardío:</i> gradual.
Traqueidas	<i>Dimensiones:</i> traqueas cortas a medianas: promedio de 3 mm (2 - 4); diámetro promedio de 43 μm (30 - 56); diámetro promedio de lumen de 35 μm (23 - 47); fibra con pared celular delgada, de 4 μm (3 - 6).
Parénquima radial	<i>Frecuencia:</i> de 4,75 radios/mm (4,0 - 5,5). <i>Dimensiones:</i> de 1 (raramente 2) células de ancho y 7 células de alto (4 - 15), con altura promedio de 139 μm (63 - 243) de altura, de 19 μm (14 - 22) en ancho. <i>Puntuaciones de campo de cruzamiento:</i> cupresoide. <i>Números de puntuaciones:</i> 1 - 4, de diámetro de 11 μm (9-14). <i>Presencia de cristales:</i> ausentes.
Traqueas radiales	<i>Comúnmente presentes de dos filas.</i> <i>Pared celular de las traqueas:</i> plana. <i>Pared terminal de traqueas radiales:</i> plana (sin puntuación). <i>Puntuación de traqueas radiales:</i> puntuación con abertura amplia, borde angular redondeado o con pared dentada engrosada.
Células radiales	<i>Tipo de pared terminal:</i> plana. <i>Tipo de pared horizontal:</i> plana. <i>Dentaduras:</i> ausentes.
Parénquima axial	<i>Presente.</i> <i>Tipo:</i> difuso, muy escaso distribuido a través del anillo de crecimiento. <i>Pared terminal transversal:</i> de grueso irregular.
Otras estructuras	<i>Canales axiales:</i> ausentes. <i>Canales radiales:</i> ausentes. <i>Canales traumáticos:</i> ausentes. <i>Minerales inclusiones:</i> ausentes



Corte transversal



Corte tangencial-longitudinal



Corte radial-longitudinal

Fotografías | Carlos Olivares

5. Propiedades físicas de la madera

Propiedad Física	Básica	Seca	Anhidra
Densidad (g/cm ³)	0,81 (0,09 / 10,95)	0,60 (0,07 / 11,74)	0,54 (0,07 / 12,28)
Peso específico*	0,49 (0,06 / 12,15)	0,52 (0,06 / 12,29)	0,55 (0,06 / 11,53)

*Clasificación de la madera de esta especie: moderadamente pesada

Propiedad Física	Condición verde	Condición seca
Contenido de humedad inicial (%)	65,99 (15,49 / 23,47)	-
Capacidad calórica (KJ/kg)	6051 (1463 / 24,18)	16188 (1648 / 10,18)

Propiedad Física	Normal (Verde-12%)	Total (Verde-0%)	Clasificación
Contracción radial (%)	1,61 (0,56 / 35,10)	3,34 (0,88 / 26,46)	mediana
Contracción tangencial (%)	2,78 (0,49 / 17,54)	5,31 (0,65 / 12,23)	mediana
Contracción volumétrica (%)	5,07 (0,68 / 13,34)	9,92 (5,70 / 57,46)	alta
Razón contracción T/R	1,87 (0,59 / 31,54)	1,67 (0,38 / 22,65)	alta

Notas:

Números entre paréntesis representan la desviación estándar y el coeficiente de variación, respectivamente.

Condición verde sobre el punto de saturación de fibras.

Condición seca al 12% de contenido de humedad.

Razón de contracción T/R: relación contracción tangencial / contracción radial.

Clasificación de peso específico según Hess y Wangard (1950).

Clasificación de contracción según Barcenas (1985).

6. Propiedades mecánicas de la madera

Propiedad mecánica		Condición humedad	
		Verde	Seca
Esfuerzo máximo compresión paralela a la fibra (kg/cm ²)		122 (47,6 / 39,0)	143 (22 / 15,6)
Esfuerzo máximo compresión perpendicular a la fibra (kg/cm ²)		185 (38,7 / 20,9)	241 (40,1 / 16,5)
Esfuerzo máximo tensión paralela a la fibra (kg/cm ²)		509,0 (202,7 / 39,8)	522 (202,2 / 38,8)
Flexión estática (1 carga) (kg/cm ²)	MOR	476 (60,2 / 12,6)	576 (106,3 / 18,5)
	MOE*1000	62 (17,2 / 27,9)	71 (19,9 / 27,2)
Esfuerzo máximo cortante paralelo a la fibra (kg/cm ²)	tangencial	75 (7,9 / 10,5)	101 (13,0 / 12,9)
	radial	66 (6,9 / 10,5)	94 (14,0 / 15,4)
Esfuerzo máximo tensión perpendicular a la fibra (kg/cm ²)	tangencial	16 (2,6 / 16,3)	16 (5,0 / 28,2)
	radial	13,9 (2,1 / 20,4)	14 (4,0 / 28,25)
Esfuerzo máximo clavaje (kg/cm ²)	tangencial	3,7 (0,6 / 17,7)	2,3 (0,8 / 37,1)
	radial	3,7 (0,7 / 17,8)	2,7 (0,6 / 21,5)
Dureza janka (kg)	axial	185 (20,9 / 11,3)	298 (65,0 / 21,7)
	lateral	167 (27,9 / 16,7)	187 (42,0 / 22,2)
Extracción de clavos (kg)	axial	33 (8,2 / 24,5)	37 (11,4 / 30,7)
	lateral	54 (11,5 / 21,5)	48 (10,6 / 21,7)

Notas:

Condición verde sobre el punto de saturación de fibras.

Condición seca: valores ajustados al 12% CH.

MOR: módulo de ruptura, MOE: módulo de elasticidad

Entre paréntesis: desviación estándar y coeficiente de variación (%).

n = 18 muestras ensayadas por cada propiedad mecánica

7. Propiedades químicas de la madera

Propiedad química	Composición	
Composición global	Holocelulosa (%)	53,54 (0,69 / 1,28)
	Lignina (%)	46,35 (1,35 / 2,91)
	Cenizas (%)	0,19 (0,04 / 21,05)
	Sílice (Si O ₂) (ppm)	10,64 (0,17 / 1,60)
Análisis químico elemental en cenizas	Nitrógeno (%)	0,33 (0,02 / 6,06)
	Fósforo (%)	0,00 (0,00 / 0,00)
	Calcio (%)	0,06 (0,01 / 16,67)
	Magnesio (%)	0,00 (0,00 / 0,00)
	Potasio (%)	0,02 (0,01 / 50,0)
	Azufre (%)	0,01 (0,00 / 0,00)
	Hierro (mg/kg)	36,70 (11,70 / 31.88)
	Cobre (mg/kg)	1,00 (0,00 / 0,00)
	Zinc (mg/kg)	0,00 (0,00 / 0,00)
	Manganeso (mg/kg)	0,00 (0,00 / 0,00)
Boro (mg/kg)	1,67 (0,58 / 34.73)	
Extractivos solubles en	NaOH (al 1%) (%)	24,23 (0,51 / 2,10)
	H ₂ O caliente (%)	8,01 (1,27 / 15,86)
	H ₂ O fría (%)	4,29 (1,03 / 24,01)
	Diclorometa (%)no	4,61 (1,69 / 36,66)
	Tolueno – alcohol (%)	2,21 (0,99 / 44,80)
Otras propiedades	pH	4,92 (0,04 / 0,81)

Notas:

Números entre paréntesis representan la desviación estándar y el coeficiente de variación (%).

n = 9 repeticiones por propiedad química.

8. Desempeño y calidad de aserrío

Aserrío	Descripción												
Desempeño en aserrío	<p>Las trozas de pequeño diámetro presentan en general un buen comportamiento. En trozas que hayan tenido algún grado de secado, la corteza se desprende, provocando muchos residuos alrededor de la máquina de corte. Se presentan algunos problemas de entramientos (atascamientos) de las sierras de corte por la alta incidencia de nudos en la trozas, en especial cuando se utilizan sierras múltiples. Hay una leve presencia de tensiones de crecimiento en trozas pequeñas y en árboles muy jóvenes, produciendo madera aserrada con pandeos o torceduras. La alta presencia de nudos en la troza hace que se produzca desgaste ligeramente excesivo de las herramientas de corte.</p>												
Calidad de la madera	<p>Observaciones realizadas en madera aserrada, se encontró que se presentan problemas con grano veloso en las regiones próximas a los nudos. Las grietas estuvieron presentes en el 27% de las tablas, con una longitud promedio de 2,53 cm; las rajaduras en el 54%, con longitud media de 3,6 cm; la arqueadura no se presentó en madera seca, la encorvadura se presentó en un 84%, con promedio de 5 mm de flecha; el alabeo se presentó en el 4% de las tablas, con promedio de 1,3 mm y el acanalado no fue encontrado en madera de 7,5 cm de ancho. No se observó madera aserrada con médula. Aunque la madera por lo general presenta muchos nudos, esta es fácilmente comercializable en el mercado.</p>												
Rendimiento de la madera	<p>El rendimiento oscila entre 30 y 60% dependiendo de las dimensiones de la madera aserrada y las dimensiones de las trozas. El rendimiento de trozas de la parte alta de los árboles, así como aquel de los primeros raleos, son bajos; no obstante puede alcanzar hasta 65% en trozas grandes. El siguiente cuadro muestra los rendimientos esperados para los diferentes rangos diamétricos:</p> <table border="1" data-bbox="659 1062 1198 1338"> <thead> <tr> <th data-bbox="659 1062 922 1111">Diámetro (cm)</th> <th data-bbox="922 1062 1198 1111">Rendimiento (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="659 1111 922 1157">15 - 20</td> <td data-bbox="922 1111 1198 1157">20 - 25</td> </tr> <tr> <td data-bbox="659 1157 922 1203">20 - 25</td> <td data-bbox="922 1157 1198 1203">20 - 40</td> </tr> <tr> <td data-bbox="659 1203 922 1249">25 - 30</td> <td data-bbox="922 1203 1198 1249">30 - 50</td> </tr> <tr> <td data-bbox="659 1249 922 1294">30 - 35</td> <td data-bbox="922 1249 1198 1294">50 - 55</td> </tr> <tr> <td data-bbox="659 1294 922 1338">Mayor a 35 cm</td> <td data-bbox="922 1294 1198 1338">50 - 65</td> </tr> </tbody> </table>	Diámetro (cm)	Rendimiento (%)	15 - 20	20 - 25	20 - 25	20 - 40	25 - 30	30 - 50	30 - 35	50 - 55	Mayor a 35 cm	50 - 65
Diámetro (cm)	Rendimiento (%)												
15 - 20	20 - 25												
20 - 25	20 - 40												
25 - 30	30 - 50												
30 - 35	50 - 55												
Mayor a 35 cm	50 - 65												



Proceso de aserrío con aserradero convencional



Alta incidencia de nudos que afectan el proceso de aserrío



Muestra de los nudos en la madera aserrada

9. Secado al aire de la madera

Parámetro	Descripción																												
Clasificación	Velocidad de secado: moderada. Los tiempos de secado son menores a 75 días en madera con espesores menores a 7,5 cm, considera de mediana duración en especies de plantación. Luego del secado, la madera aserrada muestra defectos debido a la presencia de madera juvenil y de nudos.																												
Tiempo de secado	<p>Presenta una razón de secado que oscila entre 0,85 a 4,72% /día y tiempos para alcanzar el 20% de contenido de humedad entre 17 y 75 días, para espesores de tabla menores de 7,5 cm. El cuadro siguiente muestra los diferentes parámetros de secado al aire para diferentes espesores de tabla.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Espesor (cm)</th> <th>CHI* (%)</th> <th>Número de días**</th> <th>Razón de secado (%/día)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1,2</td> <td>100,18</td> <td>17</td> <td>4,72</td> </tr> <tr> <td>2,5</td> <td>102,80</td> <td>32</td> <td>2,59</td> </tr> <tr> <td>3,8</td> <td>111,03</td> <td>39</td> <td>2,33</td> </tr> <tr> <td>5,0</td> <td>80,00</td> <td>45</td> <td>1,77</td> </tr> <tr> <td>6,2</td> <td>102,78</td> <td>75</td> <td>1,10</td> </tr> <tr> <td>7,5</td> <td>79,24</td> <td>70</td> <td>0,85</td> </tr> </tbody> </table> <p>*Contenido de humedad inicial (CHI). **Número de días para alcanzar 20% en CH. Ensayos realizados en la ciudad de Cartago-Costa Rica.</p>	Espesor (cm)	CHI* (%)	Número de días**	Razón de secado (%/día)	1,2	100,18	17	4,72	2,5	102,80	32	2,59	3,8	111,03	39	2,33	5,0	80,00	45	1,77	6,2	102,78	75	1,10	7,5	79,24	70	0,85
Espesor (cm)	CHI* (%)	Número de días**	Razón de secado (%/día)																										
1,2	100,18	17	4,72																										
2,5	102,80	32	2,59																										
3,8	111,03	39	2,33																										
5,0	80,00	45	1,77																										
6,2	102,78	75	1,10																										
7,5	79,24	70	0,85																										
Calidad del secado	<p><i>Grietas y rajaduras</i>: produce grietas en los nudos. En los extremos de las tablas se producen grietas y rajaduras, que en muchos casos no sobrepasan el centímetro de longitud. <i>Arqueadura</i>: presente en madera con nudos, ausente en madera sin nudos. <i>Encorvadura</i>: es frecuente en madera con nudos. <i>Alabeo</i>: influenciado por la madera con nudos. <i>Colapso</i>: se presentan, pero en muy baja incidencia, asociado a los nudos y a la madera joven. <i>Acanalado</i>: presente en piezas anchas, solo en presencia de nudos en piezas angostas. <i>Manchas</i>: en la región de la albura se produce manchas cuando hay incidencia de la lluvia durante el secado.</p>																												



Secado al aire, protegido de la lluvia y de los rayos



Apilado de tablas sin desorillar



Rajaduras en madera seca asociadas a los nudos

10. Secado al horno de la madera

Clasificación	Descripción	Programa de secado recomendado			
Clasificación	Es considerada de lento secado y con moderados problemas en rajaduras, grietas, torceduras y pandeos, incluso en madera muy joven.	Etapa	T (°C)	CHE (%)	HR (%)
		Calefacción	35	-	-
Tiempo de secado	Piezas de 2,54 cm de espesor, con un contenido de humedad inicial de 91,91%, presenta un tiempo de secado de 274 horas para llegar al 11,80%, lo que significa una velocidad de secado de 0,31% /hora, incrementando y disminuyendo este tiempo con el aumento o decrecimiento del espesor de la madera.		40	17,6	-
		Secado	43	17,6	45
			43	16,3	40
			43	13,6	35
			49	9,9	30
			54	5,7	25
			54	10,5	20
			60	8,0	15
			70	6,5	12
		Igualación	70	7,5	11,8
Acondicionamiento	60	7,5	-		
Calidad del secado	Las rajaduras o grietas ocurren en alrededor del 60% de las piezas luego del secado; sin embargo, estas no alcanzan longitudes superior a 2 cm. La arqueadura por el secado no se presenta. El alabeo, encorvadura y acanalado es frecuente de encontrar.	Enfriamiento	30	7,5	-
		T: Temperatura (°C) CHE: Contenido de Humedad en Equilibrio (%) CH: Contenido de humedad en la madera (%) Fuente: Programa T3 - C2 de Sydney et al. 1988			



Madera apilado en secadora convencional para iniciar secado



Presencia de rajaduras en los extremos de las tablas



Presencia acanalado en la madera aserrada luego del secado

Fotografías | Róger Moya

11. Preservación de la madera

Preservación	Descripción														
Tratamiento de inmersión-difusión	<p>La madera de ciprés preservada, utilizando el método de inmersión - difusión con sales de boro, es penetrada totalmente en la albura en un período inferior a 5 días, mientras que en el duramen la difusión es más lenta, logrando una penetración de 4 mm en promedio antes de 40 días. El siguiente cuadro muestra el tiempo de difusión recomendado para que las sales de boro alcancen una penetración del 100% en el duramen.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Espesor (cm)</th> <th>Tiempo difusión (días)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1,2</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>2,5</td> <td>55</td> </tr> <tr> <td>3,8</td> <td>70</td> </tr> <tr> <td>5,0</td> <td>85</td> </tr> <tr> <td>6,2</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>7,5</td> <td>120</td> </tr> </tbody> </table>	Espesor (cm)	Tiempo difusión (días)	1,2	50	2,5	55	3,8	70	5,0	85	6,2	100	7,5	120
Espesor (cm)	Tiempo difusión (días)														
1,2	50														
2,5	55														
3,8	70														
5,0	85														
6,2	100														
7,5	120														
Tratamiento vacío-presión	<p>En el duramen la penetración del preservante es nula y en la albura es irregular, la penetración ocurre en la superficie y zonas donde se presenten grietas en la pieza, que permitan el ingreso del preservante. La absorción del preservante en la madera es de 103,3 litros/m³ y la retención es de 2,1 kg/m³. La madera preservada con este método y utilizando un preservante tipo CCA - C se clasifica como riesgo Clase 1. Se recomienda para uso bajo techo y constantemente seca. No se recomienda su uso a la intemperie.</p>														



Penetración de sales de boro a los 5 días de iniciada la difusión, limitándose a la albura (el color rojo indica la penetración del preservante)



Penetración de sales de boro a los 120 días de iniciada la difusión, limitándose a la albura (el color rojo indica la penetración del preservante)

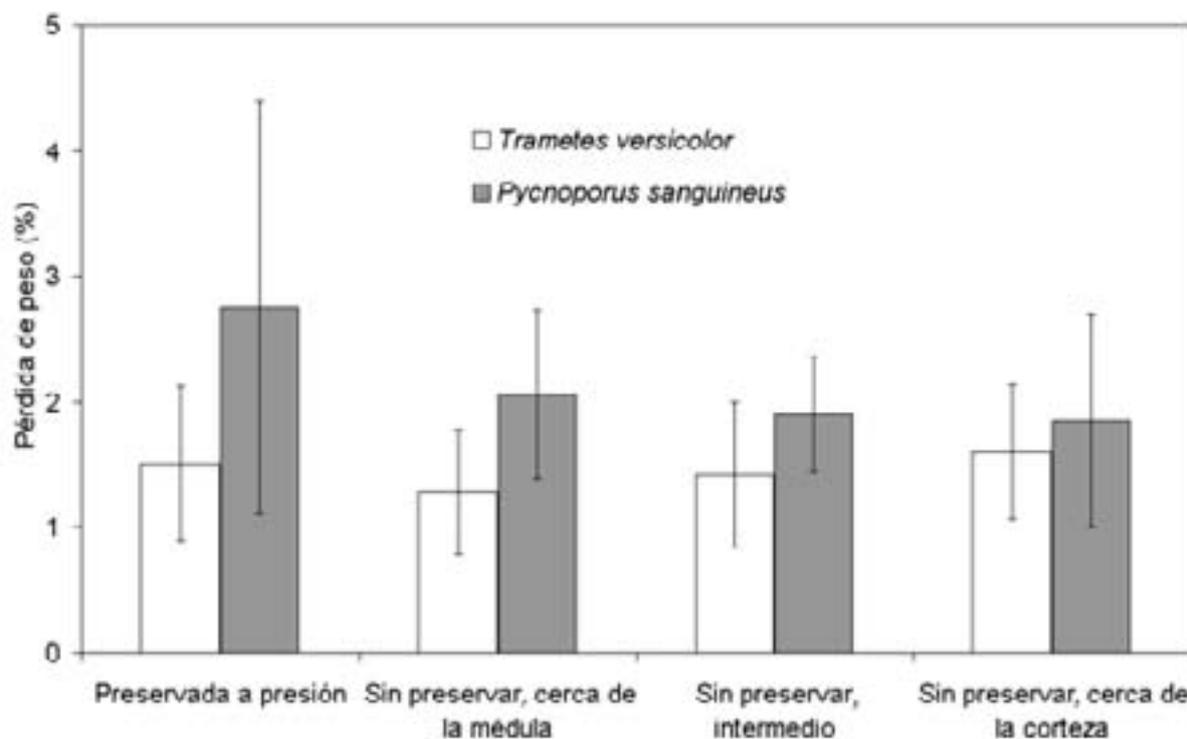


Penetración nula en el duramen e irregular en la albura limitándose en las zonas de las grietas (el color azul indica la penetración del preservante)

Fotografías | Róger Moya

12. Durabilidad de la madera

Tipo de ataque	Descripción
Hongos	Las pruebas aceleradas con hongos de producción blanca, <i>Trametes versicolor</i> y <i>Pycnoporus sanguineus</i> , muestran que la durabilidad de la madera sin preservar no está relacionado a la posición de la tabla respecto a la médula. La madera alrededor de la médula, la madera cortada entre el 50% de la distancia entre la medula y la madera cerca de la corteza se catalogan como altamente resistentes. La madera aserrada y preservada con preservante tipo CCA, también se clasifica como altamente resistente; no obstante no hay diferencia entre preservar y no preservar ya que no es posible preservar este tipo de madera con el sistema vacío - presión.
Insectos	La madera de árboles jóvenes es poco resistente al ataque de termitas de madera seca y húmeda. La madera de albura es menos resistente a la madera del duramen ante el ataque de hongos. La madera de árboles adultos es más resistente al ataque de terminas, sin embargo es considerada de moderada resistencia. Para aumentar la resistencia al ataque de estos insectos es necesario preservar la madera con sales de boro.



La figura muestra la pérdida de peso de la madera (en %) por ataque de los hongos *T. versicolor* y *P. sanguineus*, en madera preservada a presión y madera sin preservar. La ubicación de la tabla respecto a la médula presenta pérdidas de peso uniforme para los dos tipos de hongos. La madera preservada presenta una degradación similar a la madera del duramen o cerca de la médula, esto porque no es posible de preservar con el método vacío - presión.

13. Trabajabilidad de la madera

Operación	Descripción
Cepillado	<p><i>Clasificación:</i> de excelente calidad cuando se utiliza ángulo de ataque de cuchilla de 30° y velocidad de alimentación de 6 y 20 m/min, logrando una superficie libre de daño hasta en el 88%. Si se utiliza ángulo de ataque de 15 ° y velocidad de 20 m/min, la superficie libre de defectos es de hasta el 85%.</p> <p><i>Presencia de defectos:</i> se presenta madera con vello leve combinado con grano arrancado, también leve. Estos defectos pueden alcanzar un máximo del 20% de la superficie de la pieza.</p> <p><i>Recomendación:</i> Esta especie tolera cepillado con cuchillas en dos ángulos de ataque de 15° y 30° y se logra excelentes superficies de cepillado con velocidades de avance de 20 m/min</p>
Lijado	<p><i>Clasificación:</i> es muy fácil de lijar, hay un embotamiento y desgaste normal de la lija. La superficie que se lija se calienta y alcanza temperaturas medias entre 34 °C y 37 °C.</p> <p><i>Presencia de defectos:</i> en algunas regiones de la superficie lijada se pueden observar marcas de lija y de vez en cuando, alguna vellosidad ligera.</p> <p><i>Recomendación:</i> preferiblemente empezar a lijar con lija # 60 para eliminar los defectos del cepillado y finalmente lijar con lija # 100 para lograr superficies más finas.</p>
Taladrado	<p><i>Clasificación:</i> con broca para metal se hacen los orificios rápidamente y la calidad de la superficie taladrada es buena. Cuando se usa la broca para madera, el orificio obtenido es de excelente calidad aunque la penetración de la broca es más lenta.</p> <p><i>Defectos:</i> al hacer el orificio con broca de metal, la superficie interna del orificio pierde lisura y se presenta grano arrancado leve. Se produce rasgado de fibra en el momento de ingresar el taladro.</p> <p><i>Recomendación:</i> para obtener orificios de calidad es preferible utilizar la broca para madera en vez de la broca para metal y utilizar un taladro con revoluciones sobre 1000 rpm.</p>



Superficie con grano arrancado moderado y leve presencia de marcas de cuchillas



Superficie con excelente calidad de lijado



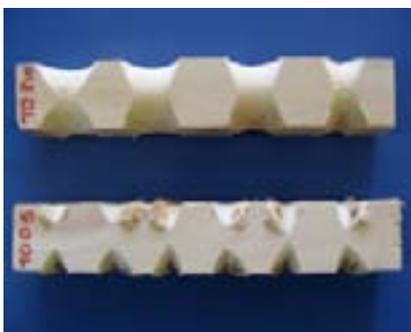
Orificios taladrados con broca para metal de buena calidad aunque se rasga el grano al ingresar la broca

Fotografías | Cynthia Salas

Continúa en la siguiente página ►

13. Trabajabilidad de la madera

Operación	Descripción
Torneado	<p><i>Clasificación:</i> resulta de excelente calidad cuando se introduce la gubia de forma horizontal. Sin embargo cuando se ingresa con gubia a 60° y en un plano inclinado, la calidad de la superficie por el corte disminuye hasta en un 50%.</p> <p><i>Presencia de defectos:</i> se observa grano arrancado cuando la gubia se introduce inclinada y la superficie torneada se quema, producto del calentamiento de la misma.</p> <p><i>Recomendación:</i> especie apta para este trabajo, cuidando de introducir la gubia de forma inclinada.</p>
Moldurado	<p><i>Clasificación:</i> la calidad del moldurado es excelente.</p> <p><i>Presencia de defectos:</i> ninguno.</p> <p><i>Recomendación:</i> especie apta para este tipo de trabajo.</p>
Escopleado	<p><i>Clasificación:</i> la calidad del escopleado es excelente.</p> <p><i>Presencia de defectos:</i> ninguno.</p> <p><i>Recomendación:</i> especie apta para este tipo de trabajo.</p>



Superficies torneadas con gubia ingresando en forma inclinada y horizontal



Superficie moldurada de excelente calidad



Orificio escopleado de excelente calidad

Fotografías | Cynthia Salas

Melina

Nombre científico
***Gmelina arborea* Kunth**

Familia
Verbenaceae



Róger Moya Roque
Laura Leandro Zuñiga

Referencia bibliográfica de la Ficha Técnica nº 5

Moya Roque, R; Leandro Zúñiga, L. 2010. Melina: *Gmelina arborea* Kunth. Verbenaceae. Ficha técnica 5. In Tecnología de madera de plantaciones forestales: Fichas técnicas. R. Moya R., [et al]. (en línea). Revista Forestal Mesoamericana Kurú 7(18-19):87-101. (Editorial Corporación Garro y Moya, (ISBN: 978-9968-9643-3-3). Disponible en www.tec.ac.cr/revistaforestal

1. Aprovechamiento de plantaciones

Característica	Descripción
Facilidad de corte y volteo	Moderadamente fácil de cortar. En sitios con inclinación importante se recomienda el corte Humboldt para lograr mayor rendimiento; en sitios planos utilizar se puede usar el corte tradicional.
Caída natural y dirección de caída	Fácil de definir en plantaciones bien manejadas; no así en plantaciones con poco manejo. Si se quisiera reducir el impacto de la cosecha sobre los árboles vecinos, o mantener las condiciones del sitio, se puede modificar sin problemas la caída natural.
Desafilado de sierras	No se produce desafilado excesivo de las herramientas de corte, por lo que el mismo se considera normal.
Susceptibilidad a quebrantaduras	No se presenta este tipo de problemas.
Fisonomía del fuste	Muy dependiente del manejo y de la genética. Por lo general, los árboles presentan buena forma, aunque la primera troza posee casi siempre una forma irregular.
Trozas por árbol	Se obtienen de 3 a 6 trozas comerciales por árbol (4 trozas en promedio) de 2,5 m de longitud y diámetro mayor a 13 cm en su cara menor.
Frecuencia de ramas y operación de desrame	Poca cantidad de ramas en el fuste, lo que facilita la operación de desrame.



Plantación de 6 años de edad



Corte de árboles en la cosecha final de una plantación



Trozas con corte de ramas poco adecuado, que afecta su calidad

Fotografías | Hector Arce y Róger Moya

2. Troceo, transporte y durabilidad de las trozas

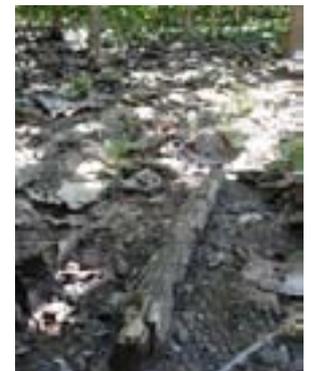
Característica	Descripción
Troceo	De fácil troceo, se presentan tensiones de crecimiento moderadas que afectan poco esta operación.
Acarreo	Trozás de 2,5 m de largo y 20 cm de diámetro (con densidad de 1050 kg/m ³ en condición verde), poseen un peso aproximado de 82,5 kg. El acarreo de trozas al patio de acopio, con dimensiones menores a las señaladas, se puede realizar por medio de la fuerza humana; para diámetros mayores es necesario utilizar otros equipos o bien fuerza animal para el acarreo.
Apilado	Las trozas de la base son moderadamente difíciles de apilar debido a su forma, no así aquellas provenientes de la parte superior del árbol, de árboles delgados o de árboles jóvenes.
Durabilidad de trozas	En la época seca, las trozas presentan buena durabilidad y pueden soportar hasta seis meses en el patio de acopio o dentro de la plantación. Bajo estas condiciones, la corteza tiende a secarse y desprenderse, lo cual propicia el ataque de insectos. En época de lluvias, las trozas son atacadas por hongos e insectos. En ambas épocas del año, suele degradarse la parte de la albura.



Trozás en patio de aserradero.



Trozás transportadas en semi - bloques a un aserradero estacionario.



Troza luego de dos años en contacto directo con el suelo.

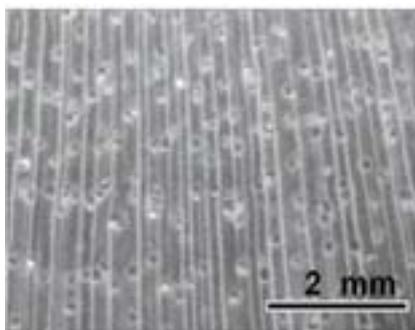
Fotografías | Róger Moya

3. Descripción general y macroscópica de la madera

Descripción	Detalle
General	<p><i>Diferenciación</i> entre albura y duramen: presente, con una pequeña diferencia en color. <i>Color</i>: en condición seca, el duramen es de color pálido (2.5Y 8/4), con zonas de color rosado (7.5YR 7/4); en tanto que la albura es de color blanco (2.5Y 8/1.5). <i>Veteado</i>: poco definido, con líneas verticales, satinadas, con bandas anchas contrastadas, irregulares, algunas más oscuras. <i>Textura</i>: de mediana a fina. <i>Olor</i>: imperceptible, no obstante algunos perciben un olor distintivo a legumbres. <i>Sabor</i>: imperceptible. <i>Brillo</i>: moderado a brillante. <i>Tipo de grano</i>: en general es regularmente recto a muy recto, pero en ocasiones es posible encontrar grano entrecruzado. <i>Anillos de crecimiento</i>: por bandas marginales de parénquima y paredes celulares más gruesas en las fibras, en la madera de regiones secas, y no visibles en la madera de regiones húmedas. <i>Densidad</i>: seca al aire es de 0,51 g/cm³, por lo que se considera de moderada densidad.</p>
Macroscópica	<p><i>Vasos</i>: visibles solo con aumento de 10X, de tamaño medio, poros solitarios y algunos múltiples radiales, de 2 a 3 células en sentido radial, mediana abundancia, porosidad difusa, anular y semi - anular, en muestras de árboles jóvenes se observan líneas diagonales, radiales o tangenciales de tramos cortos y presencia de tílides en los vasos del duramen, de color blanco. <i>Parénquima axial</i>: visible solo con aumento de 10X y de tipo paratraqueal vasicéntrico escaso, en bandas aparentemente marginales <i>Parénquima radial</i>: visible solo con aumento de 10X, radios finos, un solo ancho, de abundancia media y estratificación ausente. <i>Otras estructuras visibles</i>: ausentes.</p>



Corte radial longitudinal



Corte transversal macroscópico

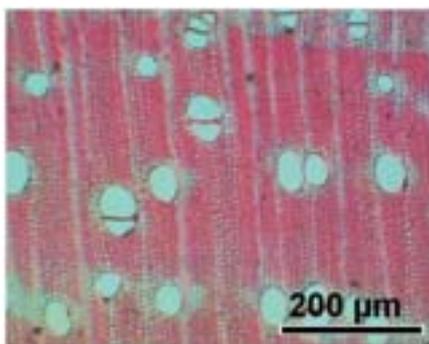


Fibra, parénquima y vaso en material macerado

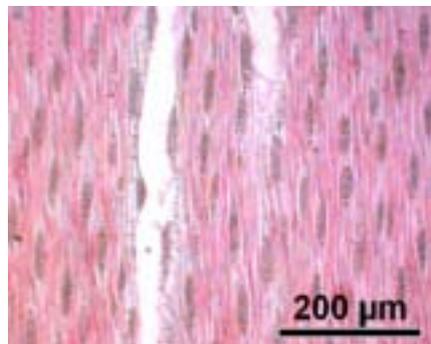
Fotografías | Róger Moya

4. Descripción microscópica de la madera

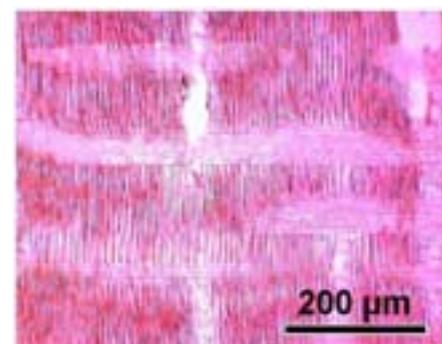
Descripción microscópica	Detalle
Vasos/poros	<p><i>Porosidad:</i> difusa, semi - anular o anular. <i>Distribución:</i> forma líneas diagonales, radiales o tangenciales. <i>Agrupamiento:</i> solitarios en promedio 85 % (73 - 94) y múltiplos radiales de 2 a 3 células. <i>Frecuencia:</i> pocos, promedio de 5 poros/mm² (3 - 6). <i>Longitud:</i> cortos, promedio de 150 μm (94 - 342). <i>Diámetro:</i> medio, promedio de 189 μm (85 - 24). <i>Engrosamiento helicoidal de las paredes:</i> ausentes. <i>Apéndices:</i> tamaño medio, presentes en ambos extremos. <i>Platinas de perforación:</i> simples y algunas multiperforadas poco observable. <i>Gomas:</i> ausentes <i>Tíldes:</i> en vasos del duramen. <i>Presencia de cristales:</i> no se observa. <i>Punteaduras inter - vasculares:</i> poligonales, alternas, redondeadas, sin ornamentaciones y diámetro pequeño, promedio de 5 μm (4 - 9). <i>Punteaduras radio - vasculares:</i> puntuación con borde distinto, similar a las inter - vasculares en forma y tamaño en células del radio y sin ornamentaciones.</p>
Fibras	<p><i>Forma:</i> fusiformes. <i>Septos:</i> de 1 a 3. <i>Punteaduras:</i> diminutas de tipo aeroladas, en poca cantidad por fibra. <i>Dimensiones:</i> largo promedio de 1,02 mm (0,94 - 1,59); diámetro de 35 μm (23 - 47); diámetro de lumen de 23 μm (12 - 36) y con pared celular delgada de 5 μm (2 - 6). <i>Presencia de cristales:</i> en algunos casos cristales prismáticos, de oxalato de calcio. <i>Estratificación:</i> ausente.</p>
Parénquima radial	<p><i>Tipo:</i> predominantemente radios multiseriados. <i>Estratificación:</i> ausente. <i>Dimensiones:</i> de 14 células (7 - 27) en altura, o altura promedio de 270 μm (100 - 498), y de 4 células (3 - 5) de ancho o promedio de 115 μm (86 - 126). <i>Frecuencia:</i> media, de 5 a 6 radios/mm (4 - 7). <i>Tipo de células:</i> heterocelulares, con fila de células cuadradas en los extremos y células procumbentes en la parte central. <i>Presencia de cristales:</i> prismáticos en cantidad media en células procumbentes.</p>
Parénquima axial	<p><i>Tipo:</i> paratraqueal o vasicéntrico escaso, 1 a 5 células de grueso. <i>Tipo de células:</i> células seriadas fusiformes de 5 a 8 por filamento. <i>Estratificación:</i> ausente. <i>Presencia de cristales:</i> prismáticos de mediana abundancia.</p>
Otras estructuras	Ausentes



Corte transversal



Corte tangencial microscópico



Corte radial microscópico

5. Propiedades físicas de la madera

Propiedad Física	Básica	Seca	Anhidra
Densidad (g/cm ³)	1,04 (0,12 / 11,54)	0,48 (0,10 / 19,79)	0,45 (0,06 / 14,22)
Peso específico*	0,40 (0,05 / 13,17)	0,45 (0,06 / 14,15)	-

*Clasificación de la madera de esta especie: moderadamente liviana

Propiedad Física	Condición verde	Condición seca
Contenido de humedad inicial (%)	160,00 (4,73 / 21,77)	-
Capacidad calórica (KJ/kg)	9860 -	15687 -

Propiedad Física	Normal (Verde-12%)	Total (Verde-0%)	Clasificación
Contracción radial (%)	2,76 (0,38 / 13,76)	5,39 (1,47 / 25,15)	muy alta
Contracción tangencial (%)	5,16 (0,73 / 14,15)	7,00 (1,63 / 23,79)	alta
Contracción volumétrica (%)	6,39 (2,01 / 27,10)	10,28 (6,62 / 29,84)	alta
Razón contracción T/R	1,87 (1,92 / 102,67)	1,42 (0,03 / 20,17)	alta

Notas:

Números entre paréntesis representan la desviación estándar y el coeficiente de variación, respectivamente.

Condición verde sobre el punto de saturación de fibras.

Condición seca al 12% de contenido de humedad.

Razón de contracción T/R: relación contracción tangencial / contracción radial.

Clasificación de peso específico según Hess y Wangard (1950).

Clasificación de contracción según Barcenas (1985).

6. Propiedades mecánicas de la madera

Propiedad mecánica		Condición humedad	
		Verde	Seca
Esfuerzo máximo compresión paralela a la fibra (kg/cm ²)		184 (30,2 / 16,5)	318 (58,6 / 23,3)
Esfuerzo máximo compresión perpendicular a la fibra (kg/cm ²)		165,55 (54,6 / 32,9)	-
Esfuerzo máximo tensión paralela a la fibra (kg/cm ²)		393,9 (109,2 / 27,7)	447 (8,0 / 17,2)
Flexión estática (1 carga) (kg/cm ²)	MOR	389,87 (92,7 / 24,2)	503 (86,9 / 20,8)
	MOE*1000	59 (12,8 / 21,4)	83 (14,9 / 18,5)
Esfuerzo máximo cortante paralelo a la fibra (kg/cm ²)	tangencial	50 (8,2 / 17,0)	63 (10,0 / 16,7)
	radial	46 (8,8 / 20,5)	68 (15,0 / 24,2)
Esfuerzo máximo tensión perpendicular a la fibra (kg/cm ²)	tangencial	38 (8,3 / 21,9)	-
	radial	-	-
Esfuerzo máximo clivaje (kg/cm ²)	tangencial	6,99 (1,63 / 23,4)	-
	radial	6,98 (1,25 / 17,95)	-
Dureza janka (kg)	axial	253 (60,6 / 25,4)	285 (51,9 / 20,9)
	lateral	265 (56,6 / 21,9)	271 (48,4 / 24,3)
Extracción de clavos (kg)	axial	30,4 (8,2 / 21,9)	-
	lateral	56,8 (9,0 / 15,9)	-

Notas:

Condición verde sobre el punto de saturación de fibras.

Condición seca: valores ajustados al 12% CH.

MOR: módulo de ruptura, MOE: módulo de elasticidad

Entre paréntesis: desviación estándar y coeficiente de variación (%).

n = 18 muestras ensayadas por cada propiedad mecánica

7. Propiedades químicas de la madera

Propiedad química	Composición	
Composición global	Holocelulosa (%)	60,38 (1,35 / 2,24)
	Lignina (%)	25,56 (0,04 / 0,16)
	Cenizas (%)	1,07 (0,08 / 7,48).
	Sílice (Si O ₂) (ppm)	9,20 (3,77 / 40,98)
Análisis químico elemental en cenizas	Nitrógeno (%)	0,24 (0,02 / 8,33)
	Fósforo (%)	0,005 (0,004 / 80,0)
	Calcio (%)	0,17 (0,05 / 29,41)
	Magnesio (%)	0,02 (0,004 / 20,00)
	Potasio (%)	0,38 (0,07 / 18,42)
	Azufre (%)	0,003 (0,01 / 333,33)
	Hierro (mg/kg)	15,85 (2,62 / 16,53)
	Cobre (mg/kg)	2,03 (0,31 / 15,27)
	Zinc (mg/kg)	10,26 (4,52 / 44,05)
	Manganeso (mg/kg)	4,52 (0,78 / 17,26)
Boro (mg/kg)	1,82 (0,52 / 28,57)	
Extractivos solubles en	NaOH (al 1%) (%)	26,13 (0,56 / 2,14)
	H ₂ O caliente (%)	8,97 (0,15 / 1,67)
	H ₂ O fría (%)	7,81 (0,08 / 1,02)
	Diclorometa (%)no	2,21 (0,12 / 5,43)
	Tolueno – alcohol (%)	0,82 (0,49 / 59,76)
Otras propiedades	pH	5,55 (0,05 / 0,90)

Notas:

Números entre paréntesis representan la desviación estándar y el coeficiente de variación (%).

n = 9 repeticiones por propiedad química.

8. Desempeño y calidad de aserrío

Aserrío	Descripción																				
Desempeño en aserrío	<p>El aserrío de las trozas es medianamente fácil y produce un normal desafilado de las herramientas de corte. No se producen entramientos (atascamientos) de las sierras; no obstante, cuando se aserran trozas de mala calidad con sierras múltiples, se producen entramientos por la presencia de astillas. Se presentan algunos problemas relacionados con las tensiones de crecimiento, por lo que se produce madera aserrada con algún grado de pandeos o torceduras. Cuando se utiliza sierra de cinta es necesario hacer “volteos” para lograr buena calidad de madera y así eliminar las tensiones presentes en las trozas.</p>																				
Calidad de la madera	<p>En mediciones realizadas de madera aserrada se encontró que es frecuente encontrar incidencia de madera con grano vellosa o levantado, especialmente en las regiones próximas a las ramas y en trozas torcidas. Las grietas se presentaron en casi el 100% de las tablas, con una longitud promedio de 0,71 cm por grieta; las rajaduras en el 20%, con longitud media de 1,4 cm; la arqueadura en el 67% de las tablas, con un promedio de flecha de 4,3 mm; la encorvadura se presentó en el 87% de las tablas, con promedio de flecha de 14 mm; el alabeo se presentó en el 2%, con promedio de 1,7 mm y el acanalado no está presente. En muchas de las piezas se presentó madera con médula, que afecta la calidad de la madera.</p>																				
Rendimiento de la madera	<p>El rendimiento de aserrío oscila entre el 40 y el 60%, dependiendo de las dimensiones de la troza y del producto a obtener. El rendimiento de trozas de mala forma afecta notablemente el rendimiento de la madera, por lo que no es recomendable su aserrío. El siguiente cuadro muestra los rendimientos esperados para los diferentes rangos diamétricos:</p> <table border="1" data-bbox="395 1030 1461 1309"> <thead> <tr> <th>Categoría de diámetro (cm)</th> <th>Cantidad de trozas</th> <th>Diámetro promedio (cm)</th> <th>Rendimiento (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10 - 15</td> <td>30</td> <td>13,88</td> <td>30 - 35</td> </tr> <tr> <td>15 - 25</td> <td>180</td> <td>19,11</td> <td>40 - 45</td> </tr> <tr> <td>25 - 35</td> <td>200</td> <td>30,45</td> <td>50 - 55</td> </tr> <tr> <td>Promedio</td> <td></td> <td></td> <td>40 - 50</td> </tr> </tbody> </table>	Categoría de diámetro (cm)	Cantidad de trozas	Diámetro promedio (cm)	Rendimiento (%)	10 - 15	30	13,88	30 - 35	15 - 25	180	19,11	40 - 45	25 - 35	200	30,45	50 - 55	Promedio			40 - 50
Categoría de diámetro (cm)	Cantidad de trozas	Diámetro promedio (cm)	Rendimiento (%)																		
10 - 15	30	13,88	30 - 35																		
15 - 25	180	19,11	40 - 45																		
25 - 35	200	30,45	50 - 55																		
Promedio			40 - 50																		



Aserrío de trozas de pequeño diámetro con sierra de cinta



Aserrío de trozas con sierra portátil utilizando el sable de motosierra



Aserrío de trozas con sierra alternativa.

9. Secado al aire de la madera

Parámetro	Descripción																
Clasificación	La especie se clasifica como de muy lento secado, siendo una de las especies de plantación de más lento secado. Los tiempos de secado son mayores a 100 días en tablas con grosor mayor a 2,5 cm. La madera aserrada presenta una mediana incidencia de defectos de secado.																
Tiempo de secado	<p>La madera de melina presenta una razón de secado que oscila entre 0,38 a 1,86%/ día y tiempos para alcanzar el 20% de contenido de humedad entre 75 y 366 días para espesores menores de 7,5 cm. El siguiente cuadro muestra los diferentes parámetros de secado al aire para melina de diferentes espesores.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Espesor (cm)</th> <th>CHi* (%)</th> <th>Número de días**</th> <th>Razón de secado (%/día)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1,25</td> <td>140</td> <td>75</td> <td>1,86</td> </tr> <tr> <td>2,5</td> <td>140</td> <td>145</td> <td>0,96</td> </tr> <tr> <td>50,8</td> <td>140</td> <td>366</td> <td>0,38</td> </tr> </tbody> </table> <p>*CHi: Contenido de humedad inicial **Número de días para alcanzar 20% de CH.</p>	Espesor (cm)	CHi* (%)	Número de días**	Razón de secado (%/día)	1,25	140	75	1,86	2,5	140	145	0,96	50,8	140	366	0,38
Espesor (cm)	CHi* (%)	Número de días**	Razón de secado (%/día)														
1,25	140	75	1,86														
2,5	140	145	0,96														
50,8	140	366	0,38														
Calidad del secado	<p><i>Grietas y rajaduras</i>: el aserrío en corte radial presenta grietas en mayor cantidad que en corte tangencial u oblicuo. Las piezas que contienen médula son susceptibles a las rajaduras. <i>Arqueadura</i>: piezas de poco ancho no presentan este defecto. Madera tangencial y con ancho superior a 12 cm presenta algunos problemas. <i>Encorvadura</i>: piezas de poco ancho no presentan este defecto, pero se presentan en mayor cantidad en madera tangencial y ancho superior a 12 cm. <i>Alabeo</i>: no se presenta en madera apilada apropiadamente. <i>Colapso</i>: puede que se presente en madera aserrada proveniente de la parte central de la troza, parte alta del árbol o de árboles jóvenes. <i>Acanalado</i>: en piezas anchas se presentan con mediana abundancia. <i>Manchas</i>: la región de la albura se produce manchas cuando hay incidencia de la lluvia durante el secado.</p>																



Secado al aire de bloques de 7,5 cm de espesor



Rajaduras producidas por incidencia directa de rayos solares



Mancha de separador por tiempo prolongado de secado

Fotografías | Róger Moya y Guillermo González

10. Secado al horno de la madera

Clasificación	Descripción	Programa de secado recomendado				
Clasificación	Secado lento, con pocas torceduras, grietas y reventaduras. Susceptible a producir bolsas de humedad por presencia de madera ultra húmeda, de tipo bacteriológico, en su crecimiento.	Etapa	T (°C)	CHE (%)	HR (%)	
			Calefacción	70	19	96
Tiempo de secado	Madera de 2,54 cm de espesor presenta un tiempo de secado de 250 a 290 horas, incrementando con el espesor de la madera. Se recomienda secar piezas con menos de 6 cm de espesor por el alto costo y tiempo de proceso.	Secado		72	18	94
			73	17	92	
			75	16	90	
			76	15	88	
			77	14	86	
			78	13	84	
			80	12	81	
			83	11	78	
			85	10	74	
			Calidad del secado	El secado influye en la incidencia de rajaduras y grietas luego del aserrío, las que incrementan en 20,6 mm y 24 mm en promedio respectivamente. La arqueadura incrementa en 5,4 mm y la encorvadura disminuye en 6,7 mm, el alabeo aumenta en menos de 1 mm afectando tanto tablas que presentaban el defecto como las que no lo presentaban antes del secado. El acanalado luego del secado es de 1,5 mm, sobre todo en madera de corte tangencial.	Igualación	86
87	8	66				
Acondicionamiento	88	7				60
Enfriamiento	89	6				53

T: Temperatura
 CHE: Contenido de Humedad en Equilibrio
 HR: Humedad Relativa
 Fuente: Moya y Muñoz, 2008



Presencia de "ultrahumedad" por ataque de bacterias en el árbol en pie y con posibles problemas de secado



Rajaduras luego del secado por presencia de médula



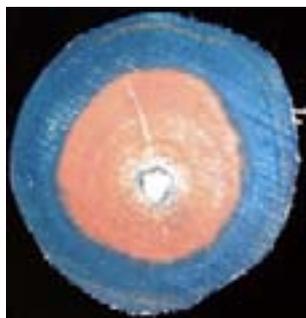
Medición del contenido de humedad con métodos eléctricos, luego del secado

11. Preservación de la madera

Preservación	Descripción														
Tratamiento de inmersión-difusión	<p>La madera de melina preservada mediante el método de inmersión - difusión con sales de boro es penetrada totalmente en tiempos adecuados, los cuales varían según sea el espesor de la tabla. La madera preservada con este método es recomendable para uso de interiores, sin exposición al agua. El siguiente cuadro muestra el tiempo de difusión recomendado para que las sales de boro alcancen una penetración del 100%.</p> <table border="1"><thead><tr><th>Espesor (cm)</th><th>Tiempo difusión (días)</th></tr></thead><tbody><tr><td>1,25</td><td>10</td></tr><tr><td>2,50</td><td>25</td></tr><tr><td>3,81</td><td>50</td></tr><tr><td>5,08</td><td>75</td></tr><tr><td>6,35</td><td>75</td></tr><tr><td>7,60</td><td>106</td></tr></tbody></table>	Espesor (cm)	Tiempo difusión (días)	1,25	10	2,50	25	3,81	50	5,08	75	6,35	75	7,60	106
Espesor (cm)	Tiempo difusión (días)														
1,25	10														
2,50	25														
3,81	50														
5,08	75														
6,35	75														
7,60	106														
Tratamiento vacío-presión	<p>Mediante este tratamiento, la penetración en el duramen es nula, mientras que en la albura se logra una penetración completa y uniforme. La absorción del preservante en la madera es de 185 litros/m³ y la retención es de 4,16 Kg/m³. La madera preservada con este método y utilizando un preservante tipo CCA - C se clasifica como riesgo Clase 2, y se recomienda para uso bajo techo y temporalmente humedecida.</p>														



Preservación con inmersión - difusión



Penetración de preservante (cromo y cobre) en albura y duramen. El color azul indica presencia de cobre

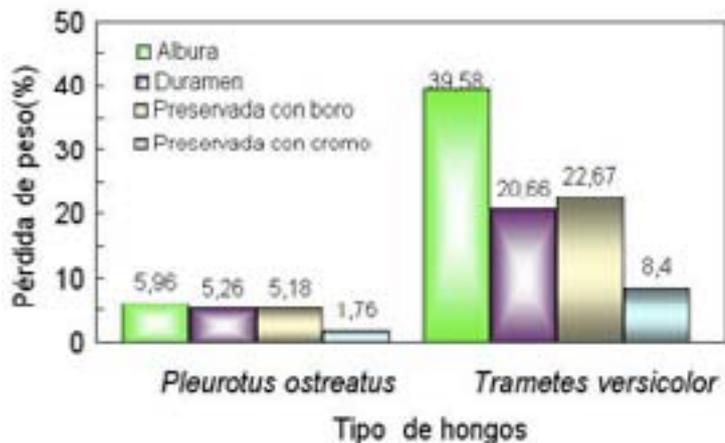


Apilado de madera preservada con boro (cubierta para evitar circulación de aire en la difusión del preservante)

Fotografías | Róger Moya

12. Durabilidad de la madera

Tipo de ataque	Descripción
Hongos	La madera no protegida de la lluvia o de la humedad puede ser atacada por hongos de tipo cromógenos, xilófagos, mohos y mancha negra, produciendo una decoloración de la misma. En el caso de hongos cromógenos y mohos el ataque es superficial, mientras que para los xilófagos alcanzan cierta profundidad, dependiendo del tiempo de ataque. Se considera de moderadamente resistente a resistente a la pudrición. La preservación de la madera con sales de cromo o de boro aumenta la durabilidad de la madera.
Insectos	En la zona atlántica y algunas regiones de la zona norte de Costa Rica, las termitas de madera verde suelen degradar la parte central del árbol, especialmente en árboles con edades superior a 8 años. Mediante ensayos de laboratorio se ha comprobado que la albura es moderadamente resistente al ataque de terminas de madera seca, mientras que el duramen es altamente resistente a estos insectos.



Pérdida de peso (%) por ataque de los hongos. Observe que la madera de albura presenta pérdidas de peso más altas que la del duramen. Cuando la madera es preservada con sales de boro o de cromo, la durabilidad se aumenta.



Mancha negra en la madera producto de la exposición en ambientes muy húmedos



Madera que ha estado por mucho tiempo en contacto con el suelo, afectada por hongos de pudrición

13. Trabajabilidad de la madera

Operación	Descripción
Cepillado	<p><i>Clasificación:</i> es factible obtener superficies lisas y uniformes, con herramientas manuales, cepilladoras y machimbradoras tradicionales, comúnmente encontradas en talleres de ebanistería o industriales (como aserraderos y fábricas de muebles).</p> <p><i>Presencia de defectos:</i> presenta grano rasgado y veloso en madera con distorsiones asociadas a: nudos, presencia de médula, madera juvenil o de reacción.</p> <p><i>Recomendación:</i> Se ha encontrado una buena calidad de superficies cuando se utilizan cabezales convencionales, ángulos de corte de 30° y velocidades de alimentación de 6 a 15 m/min.</p>
Lijado	<p><i>Clasificación:</i> la especie responde bien a este proceso, produciendo superficies de buena calidad, aún cuando se necesite remover cierta cantidad de madera, operación que se realiza de una forma rápida y fácil. En madera seca, se presenta poco embotamiento de la lija.</p> <p><i>Presencia de defectos:</i> con la lija adecuada se producen pocas marcas; aunque cuando hay grano entrecruzado o veloso, es difícil de lijar.</p> <p><i>Recomendación:</i> utilizar lija de grano grueso (80 o menor), para eliminar los defectos del cepillado o grano levantado y finalmente la lija de grano superior a 100, para lograr superficies buena calidad en el acabado.</p>
Taladrado	<p><i>Clasificación:</i> se pueden presentar serios problemas de taladrado. Defectos: con broca para metal se presenta superficie áspera y grano levantado, con broca para madera se observan pocos defectos, tales como grano arrancado y una superficie poco regular.</p> <p><i>Recomendación:</i> es preferible realizar el hueco con la broca para madera y no con la broca para metal: con la primera, se ejecuta un hueco de mejor calidad, tanto superficial como en la parte interna; mientras que con la segunda, la calidad disminuye notoriamente.</p>



Calidad de taladrado en melina con brocas para madera y para metal



Presencia de grano veloso luego del secado



Presencia de grano levantado asociado a los nudos.

Fotografías | Róger Moya

Continúa en la siguiente página ►

13. Trabajabilidad de la madera

Operación	Descripción
Torneado	<p><i>Clasificación:</i> La madera proveniente de árboles jóvenes presenta serios problemas de astillado al momento de realizar el torneado; no así la madera de árboles adultos, en la cual mejora la calidad del torneado. Sin embargo, la madera de esta especie no llega a clasificarse como una especie apta para el torneado.</p> <p><i>Presencia de defectos:</i> grano levantado, astillado y superficie áspera.</p> <p><i>Recomendación:</i> hacer una buena selección de la madera, considerando árboles adultos o de alta densidad. Se debe utilizar gubias para evitar el astillamiento.</p>
Moldurado	<p><i>Clasificación:</i> de bueno a muy bueno, si la madera esta libre de nudos y de grano velloso. En los extremos de las tablas se dan buenos resultados con los cuidados adecuados; al igual que en dirección del hilo.</p> <p><i>Presencia de defectos:</i> grano arrancado combinado con grano velloso en madera muy joven, el defecto es de leve a moderado.</p> <p><i>Recomendación:</i> se recomiendan los cortes tangenciales, pues se observa la menor incidencia del defecto.</p>
Escopleado	<p><i>Clasificación:</i> La calidad del escopleado en esta especie es muy buena.</p> <p><i>Presencia de defectos:</i> Se presentan pocas vellosidades y algo de grano arrancado, aunque muy escaso.</p> <p><i>Recomendación:</i> Apta para este tipo de trabajo en todos los cortes.</p>



Problemas frecuentes en torneado



Facilidad de aplicación de tintes



Operación de clavado en tablas durante la fabricación de tarimas

Fotografías | Róger Moya

Caoba

Nombre científico
***Swietenia macrophylla* King**

Familia
Meliaceae



Róger Moya Roque
Freddy Muñoz Acosta
Cynthia Salas Garita
Alexander Berrocal Jiménez

Referencia bibliográfica de la Ficha Técnica nº 6

Moya Roque, R; Muñoz Acosta, F; Salas Garita, C; Berrocal Jiménez, A. 2010. Caoba: *Swietenia macrophylla* King. Meliaceae. Ficha técnica 6. In Tecnología de madera de plantaciones forestales: Fichas técnicas. R. Moya R., [et al]. (en línea). Revista Forestal Mesoamericana Kurú 7(18-19):102-116. (Editorial Corporación Garro y Moya, (ISBN: 978-9968-9643-3-3). Disponible en www.tec.ac.cr/revistaforestal

1. Aprovechamiento de plantaciones

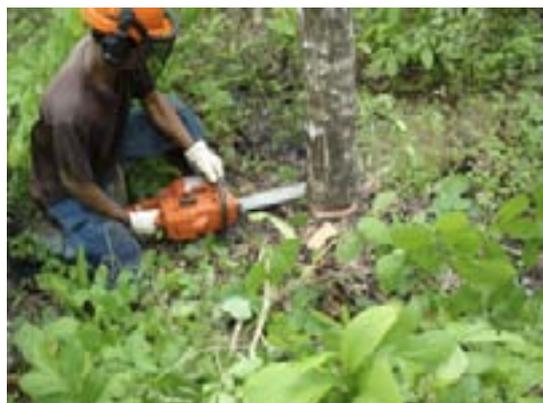
Característica	Descripción
Facilidad de corte y volteo	Generalmente se aplica el corte tradicional o de tipo abierto en el corte de los árboles. Cuando desarrollan gambas grandes, se deben eliminar antes de realizar el corte del árbol.
Caída natural y dirección de caída	En ocasiones es difícil decidir la caída natural de árbol y/o cambiar su dirección, debido a la poca rectitud del fuste, por lo que se recomienda que esta operación sea efectuada por personal experimentado.
Desafilado de sierras	No ocurre un desgaste excesivo de las sierras. Además, no presenta residuos de resinas en la cadena de la motosierra.
Susceptibilidad a quebrantaduras	No se ha observado este tipo de defecto durante el aprovechamiento.
Fisonomía del fuste	En general, los fustes de árboles que se desarrollan en plantaciones forestales no son rectos. En el primer y segundo raleo se extraen árboles de menor calidad, con algún grado de torceduras.
Trozas por árbol	En los primeros raleos, se puede obtener de 1 a 4 trozas por árbol (2 en promedio), aunque con un alto porcentaje de trozas de longitud inferior a 1,65 metros (2 varas), debido a la necesidad de corregir la curvatura de la troza.
Frecuencia de ramas y operación de desrame	En plantaciones con manejo intensivo para mantener la rectitud del fuste, se observan pocas ramas en la base del árbol (cerca de 3 ramas/metro) y con mayor abundancia (5 a 10 ramas/metro) en la sección de la copa. Sin embargo, si las plantaciones no se manejan adecuadamente, se presenten ramas gruesas en todo el fuste. No obstante, la operación de desrame se realiza de forma rápida y sin problemas.



Vista general de un árbol de raleo



Eliminación de gambas antes del corte



Corte tradicional en árboles de raleo

2. Troceo, transporte y durabilidad de las trozas

Característica	Descripción
Troceo	Aunque el corte sobre la madera es fácil, el troceo se vuelve lento debido a la poca rectitud del fuste, dando como resultado trozas de dimensiones menores a las aceptadas por los mercados tradicionales para procesos industriales. Se debe buscar otros mercados (como el de la artesanía), cuyos procesos productivos estén diseñados para utilizar trozas cortas de especies de alto valor comercial.
Acarreo	Trozas de 2,5 m de largo y 20 cm de diámetro (con densidad de 870 kg/m ³ en condición verde), poseen un peso aproximado de 68 kg, por lo que el acarreo de trozas al patio de acopio, con dimensiones menores a las señaladas y a distancias razonables, puede realizarse con fuerza humana. Para trozas de mayor tamaño, se debe utilizar animales o equipos especializados para el aprovechamiento.
Apilado	Fácil de realizar con fuerza humana, en caso de trozas de diámetro pequeño, pero dificultoso con las de diámetro grande, por lo que se hace necesario el uso de equipos especializados. Se debe tomar en cuenta el alto porcentaje de trozas cortas que se producen durante el aprovechamiento.
Durabilidad de trozas	La alta presencia de madera de duramen permite que las trozas de plantaciones puedan permanecer en el patio de acopio por periodos prolongados (por lo general entre 6 a 12 meses) sin sufrir ataque importante de hongos o insectos, al menos en el duramen, aunque sí en la albura.



Fisionomía del fuste antes del troceo



Inicio del troceo luego del volteo de árbol



Transporte de trozas con tractor agrícola

Fotografías | Róger Moya

3. Descripción general y macroscópica de la madera

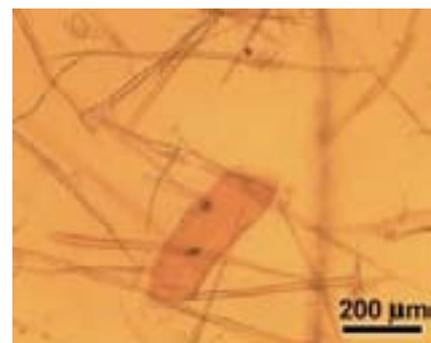
Descripción	Detalle
General	<p><i>Diferenciación entre albura y duramen:</i> presente y de forma abrupta. <i>Color:</i> en la condición seca, la albura se torna de color amarillo (10YR 8/3) y el duramen de color café (7.5YR 4/4). <i>Veteado:</i> poco definido, con líneas inclinadas muy tenues. <i>Textura:</i> media. <i>Olor:</i> indistinto. <i>Sabor:</i> imperceptible. <i>Brillo:</i> moderado en la superficie radial y opaco en la superficie tangencial. <i>Tipo de grano:</i> recto. <i>Anillos de crecimiento:</i> se aprecian levemente por la formación de una línea fina de parénquima. <i>Densidad:</i> seca al aire es de 0,70 g/cm³, por lo que es considerada como madera moderadamente pesada.</p>
Macroscópica	<p><i>Vasos:</i> ligeramente visibles a simple vista, de tamaño medio, poros solitarios y algunos múltiples, radiales, de 2 a 5 células, de abundancia media, de porosidad difusa a semi-anular y algunos se observan en cadenas radiales, y no existe presencia de tílides en los vasos de la albura, pero sí en los del duramen. <i>Parénquima axial:</i> visible solo con aumento de 10X, de tipo paratraqueal escaso, vasicéntrico, apotraqueal difuso muy escaso y bandas aparentemente marginales. <i>Parénquima radial:</i> visible solo a un aumento de 10X, radios finos, un solo ancho, de abundancia media, estratificación presente en algunas muestras y ausente en otras. <i>Otras estructuras visibles:</i> ausentes.</p>



Corte tangencial longitudinal



Corte transversal macroscópico

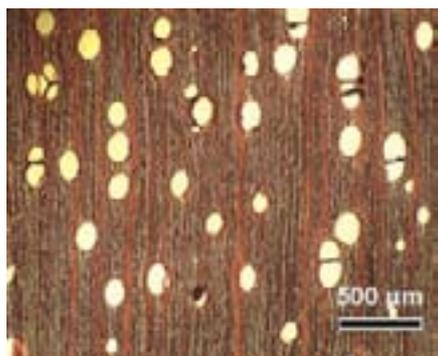


Fibra, parénquima y vaso en material macerado

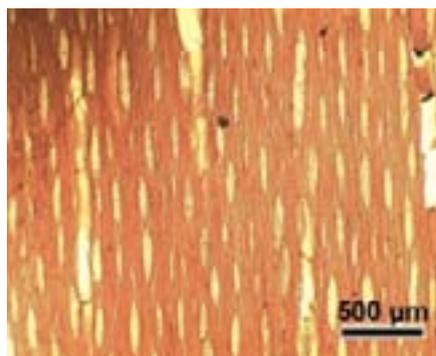
Fotografías | Carlos Olivares

4. Descripción microscópica de la madera

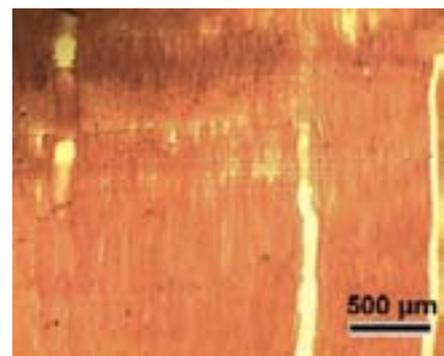
Descripción microscópica	Detalle
Vasos/poros	<p><i>Porosidad:</i> difusa. <i>Distribución:</i> no se observa un patrón. <i>Agrupamiento:</i> solitarios, en promedio 70 % (60 - 83%) y múltiples de 2 a 3 células en sentido radial. <i>Frecuencia:</i> poco numerosos, promedio de 13 poros/mm² (11 - 16). <i>Longitud:</i> cortos, promedio de 150 μm (198 - 452). <i>Diámetro:</i> medio, promedio de 137 μm (84 - 167). <i>Engrosamiento helicoidal de las paredes:</i> ausentes. <i>Apéndices:</i> de longitud media en un extremo. <i>Platinas de perforación:</i> simples. <i>Gomas:</i> presentes en algunos poros. <i>Tíldes:</i> no se observan. <i>Presencia de cristales:</i> no se observa. <i>Punteaduras inter-vasculares:</i> hexagonales o poligonales, múltiples, alternas, sin ornamentaciones, con diámetro miniatura, promedio de 2,85 μm (2,21 - 3,48). <i>Punteaduras radio-vasculares:</i> con borde distinto, similar a las inter-vasculares en forma y tamaño a través de las células de radio.</p>
Fibras	<p><i>Septos:</i> se observan en algunas fibras y en otras no. <i>Punteaduras:</i> simples a bordeadas, diminutas. <i>Dimensiones:</i> fibras cortas promedio de 0,85 mm (0,17 - 1,5); diámetros de fibra de 21 μm (15 - 31); diámetros de lumen de 14 μm (9 - 21) y con espesor delgado de la pared celular de 4 μm (2 - 6). <i>Presencia de cristales:</i> ausentes. <i>Estratificación:</i> ausente.</p>
Parénquima radial	<p><i>Tipo:</i> predominantemente radios multiseriados de 2 a 4 series. <i>Estratificación:</i> presente en algunas muestras y ausente en otras. <i>Dimensiones:</i> de 7 a 27 células en altura, o promedio de 259 μm (184 - 394) y de 3 a 5 células de ancho o promedio de 147 μm (52 - 230) en ancho. <i>Frecuencia:</i> mediana abundancia, de 8 radios/mm (6 - 11). <i>Tipo de células:</i> heterocelulares, con una fila de células erectas en los extremos (arriba y abajo) y células procumbentes en la parte central. <i>Presencia de cristales:</i> tipo romboidal de escasa abundancia, ubicados principalmente en las células marginales.</p>
Parénquima axial	<p><i>Tipo:</i> paratraqueal escaso, vasicéntrico, apotraqueal difuso muy escaso y bandas aparentemente marginales de 1 a 6 células de ancho. <i>Tipo de células:</i> fusiformes sobre 5 células por filamento. <i>Estratificación:</i> ausente. <i>Presencia de cristales:</i> ausentes.</p>
Otras estructuras	Ausentes



Corte transversal



Corte tangencial-longitudinal



Corte radial-longitudinal

5. Propiedades físicas de la madera

Propiedad Física	Básica	Seca	Anhida
Densidad (g/cm ³)	0,86 (0,11 / 12,66)	0,59 (0,08 / 13,41)	0,56 (0,07 / 12,36)
Peso específico*	0,51 (0,07 / 13,02)	0,54 (0,07 / 12,33)	0,56 (0,07 / 12,36)

Clasificación de la madera de esta especie: pesada

Propiedad Física	Condición verde	Condición seca
Contenido de humedad inicial (%)	68,60 (5,77 / 8,41)	-
Capacidad calórica (KJ/kg)	14609 (1360 / 9,31)	20576 (6571 / 31,93)

Propiedad Física	Normal (Verde-12%)	Total (Verde-0%)	Clasificación
Contracción radial (%)	1,54 (0,33 / 21,59)	2,94 (0,55 / 18,85)	muy alta
Contracción tangencial (%)	2,26 (0,61 / 26,76)	4,09 (0,88 / 21,54)	alta
Contracción volumétrica (%)	4,83 (0,81 / 16,84)	8,33 (2,97 / 35,71)	alta
Razón contracción T/R	1,49 (0,37 / 24,89)	1,40 (0,19 / 13,85)	alta

Notas:

Números entre paréntesis representan la desviación estándar y el coeficiente de variación, respectivamente.

Condición verde sobre el punto de saturación de fibras.

Condición seca al 12% de contenido de humedad.

Razón de contracción T/R: relación contracción tangencial / contracción radial.

Clasificación de peso específico según Hess y Wangard (1950).

Clasificación de contracción según Barcenas (1985).

6. Propiedades mecánicas de la madera

Propiedad mecánica	Condición humedad		
	Verde	Seca	
Esfuerzo máximo compresión paralela a la fibra (kg/cm ²)	262 (34,4 / 13,1)	480 (58 / 12,0)	
Esfuerzo máximo compresión perpendicular a la fibra (kg/cm ²)	264 (64,1 / 24,3)	472 (71 / 15,0)	
Esfuerzo máximo tensión paralela a la fibra (kg/cm ²)	531 (162,2 / 30,6)	746 (241 / 32,4)	
Flexión estática (1 carga) (kg/cm ²)	MOR	630 (74,9 / 11,9)	897 (165 / 18,4)
	MOE*1000	81 (14,3 / 17,8)	94 (14,43 / 15,2)
Esfuerzo máximo cortante paralelo a la fibra (kg/cm ²)	tangencial	78 (14,1 / 18,0)	87 (13,11 / 14,3)
	radial	74 (15,1 / 20,4)	79 (9,45 / 11,6)
Esfuerzo máximo tensión perpendicular a la fibra (kg/cm ²)	tangencial	26 (8,3 / 31,8)	30 (13,56 / 42,0)
	radial	44 (13,2 / 29,8)	26 (11,6 / 43,5)
Esfuerzo máximo clivaje (kg/cm ²)	tangencial	6,5 (0,95 / 14,6)	6,5 (29,11 / 16,3)
	radial	4,9 (1,54 / 31,5)	4,9 (46,2 / 35,2)
Dureza janka (kg)	axial	314 (75,7 / 24,1)	296 (74,1 / 26,2)
	lateral	336 (54,6 / 16,2)	318 (57,6 / 18,5)
Extracción de clavos (kg)	axial	58 (13,5 / 23,3)	35 (13,3 / 37,4)
	lateral	47 (12,9 / 27,5)	37 (10,6 / 26,1)

Notas:

Condición verde sobre el punto de saturación de fibras.

Condición seca: valores ajustados al 12% CH.

MOR: módulo de ruptura, MOE: módulo de elasticidad

Entre paréntesis: desviación estándar y coeficiente de variación (%).

n = 18 muestras ensayadas por cada propiedad mecánica

7. Propiedades químicas de la madera

Propiedad química	Composición	
Composición global	Holocelulosa (%)	58,24 (2,23 / 3,83)
	Lignina (%)	35,02 (2,27 / 6,48)
	Cenizas (%)	0,64 (0,04 / 6,25)
	Sílice (Si O ₂) (ppm)	40,78 ppm (20,86 / 51,15)
Análisis químico elemental en cenizas	Nitrógeno (%)	0,27 (0,03 / 11,11)
	Fósforo (%)	0,02 (0,003 / 15,0)
	Calcio (%)	0,24 (0,03 / 12,50)
	Magnesio (%)	0,01 (0,002 / 20,00)
	Potasio (%)	0,15 (0,01 / 0,06)
	Azufre (%)	0,01 (0,0002 / 2,00)
	Hierro (mg/kg)	5,34 (1,01 / 18,91)
	Cobre (mg/kg)	2,78 (0,78 / 28,06)
	Zinc (mg/kg)	1,56 (0,50 / 32,05)
	Manganeso (mg/kg)	1,63 (0,24 / 14,72)
Boro (mg/kg)	1,50 (0,30 / 20,00)	
Extractivos solubles en	NaOH (al 1%) (%)	21,18 (0,71 / 3,35)
	H ₂ O caliente (%)	9,65 (1,81 / 18,76)
	H ₂ O fría (%)	7,91 (1,59 / 20,10)
	Diclorometano (%)	1,49 (0,75 / 50,33)
	Tolueno – alcohol (%)	3,87 (1,85 / 47,80)
Otras propiedades	pH	5,23 (0,11 / 2,10)

Notas:

Números entre paréntesis representan la desviación estándar y el coeficiente de variación (%).

n = 9 repeticiones por propiedad química.

8. Desempeño y calidad de aserrío

Aserrío	Descripción								
Desempeño en aserrío	En general, el aserrío de las trozas de caoba es fácil, excepto cuando se presentan trozas torcidas que dan problemas de acomodados y volteos. En algunos casos, se pueden presentar problemas cerca de los nudos, principalmente cuando estos son de gran diámetro. No se producen entramamientos (atascamientos) de las sierras de corte. Se produce un desafilado normal de las sierras de corte.								
Calidad de la madera	En mediciones realizadas en madera aserrada, se encontró que no hay presencia de grano vellosos o levantado, las grietas estuvieron presentes en el 53% de las tablas, con una longitud mayor a 1 cm; las rajaduras en el 44%, con longitud media de 2,5 cm; la arqueadura en el 74% de las tablas, con un promedio de 10 mm de flecha; la encorvadura en el 87% de las tablas, con promedio de 14 mm de flecha; el alabeo se presentó en 72%, con promedio de 4,3 mm y el acanalado en el 2,73% de las tablas, con promedio de flecha de 1 mm. En algunas piezas de madera se presentaron problemas con la presencia de médula, pero en baja incidencia.								
Rendimiento de la madera	<p>El rendimiento promedio puede ser superior a 50% cuando las trozas son aserradas a lo ancho de la misma, y sobre todo cuando provienen de árboles bastante rectos. En trozas torcidas, el rendimiento puede disminuir hasta el 30%. Aunque estas trozas presentan bajos rendimientos de aserrío, el alto porcentaje de duramen en la madera permite que la especie sea considerada de alto valor comercial. El siguiente cuadro muestra los rendimientos esperados para los diferentes rangos diamétricos:</p> <table border="1" data-bbox="659 957 1198 1188"> <thead> <tr> <th data-bbox="659 957 927 1039">Categoría de diámetro (cm)</th> <th data-bbox="927 957 1198 1039">Rendimiento (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="659 1039 927 1087">10 - 15</td> <td data-bbox="927 1039 1198 1087">30-40</td> </tr> <tr> <td data-bbox="659 1087 927 1134">15 - 25</td> <td data-bbox="927 1087 1198 1134">35-20</td> </tr> <tr> <td data-bbox="659 1134 927 1188">20 - 25</td> <td data-bbox="927 1134 1198 1188">Sobre 45</td> </tr> </tbody> </table>	Categoría de diámetro (cm)	Rendimiento (%)	10 - 15	30-40	15 - 25	35-20	20 - 25	Sobre 45
Categoría de diámetro (cm)	Rendimiento (%)								
10 - 15	30-40								
15 - 25	35-20								
20 - 25	Sobre 45								



Apilado de trozas en patio de acopio



Aserrío de diámetros menores con sierra de cinta horizontal



Madera aserrada por lo ancho de troza

Fotografías | Róger Moya

9. Secado al aire de la madera

Parámetro	Descripción																												
Clasificación	La especie se clasifica como de secado rápido. Los tiempos de secado son menores a 60 días en madera con espesores mayores a 7,5 cm. Luego del secado, la madera aserrada presenta baja incidencia de defectos de secado.																												
Tiempo de secado	<p>La madera de caoba presenta una razón de secado que oscila entre 0,64 a 1,22%/día y tiempos para alcanzar el 20% de contenido de humedad entre 24 y 57 días para espesores menores de 7,5 cm. El siguiente cuadro muestra los diferentes parámetros de secado al aire para diferentes espesores.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Espesor (cm)</th> <th>CHI* (%)</th> <th>Número de días**</th> <th>Razón de secado (%/día)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1,2</td> <td>49,63</td> <td>24</td> <td>1,22</td> </tr> <tr> <td>2,5</td> <td>54,62</td> <td>31</td> <td>1,14</td> </tr> <tr> <td>3,8</td> <td>49,66</td> <td>45</td> <td>0,66</td> </tr> <tr> <td>5,0</td> <td>51,39</td> <td>45</td> <td>0,69</td> </tr> <tr> <td>6,2</td> <td>57,44</td> <td>57</td> <td>0,66</td> </tr> <tr> <td>7,5</td> <td>55,61</td> <td>57</td> <td>0,64</td> </tr> </tbody> </table> <p>*Contenido de humedad inicial (CHI). **Número de días para alcanzar 20% en CH. Ensayos realizados en la ciudad de Nicoya-Guanacaste-Costa Rica.</p>	Espesor (cm)	CHI* (%)	Número de días**	Razón de secado (%/día)	1,2	49,63	24	1,22	2,5	54,62	31	1,14	3,8	49,66	45	0,66	5,0	51,39	45	0,69	6,2	57,44	57	0,66	7,5	55,61	57	0,64
Espesor (cm)	CHI* (%)	Número de días**	Razón de secado (%/día)																										
1,2	49,63	24	1,22																										
2,5	54,62	31	1,14																										
3,8	49,66	45	0,66																										
5,0	51,39	45	0,69																										
6,2	57,44	57	0,66																										
7,5	55,61	57	0,64																										
Calidad del secado	<p><i>Grietas y rajaduras:</i> en el secado al aire no se incrementan significativamente las grietas o rajaduras producidas en el aserrío de las trozas. <i>Arqueadura:</i> no se incrementa la arqueadura producida en el proceso de aserrío, siempre que la tabla se haya apilado apropiadamente. <i>Encorvadura:</i> no se presenta en madera apilada apropiadamente. <i>Alabeo:</i> no se presenta en madera apilada apropiadamente. <i>Acanalado:</i> se presenta en piezas anchas, de poca incidencia en piezas angostas. <i>Colapso:</i> no se presenta. <i>Manchas:</i> no se presentan.</p>																												



Apilado de madera por lo ancho antes del secado



Apilado y protección de la madera durante el secado solar



Rajaduras asociados a los nudos en el secado

10. Secado al horno de la madera

Clasificación	Descripción	Programa de secado recomendado			
Clasificación	De moderado a lento secado y con pocos problemas de rajaduras, grietas, torceduras y pandeos.				
Tiempo de secado	Tablas de 2,54 cm de espesor y con un CHI de 42%, alcanzan un 8% de CH en un tiempo de secado de 187 horas, por lo que la velocidad de secado es de 0,15%/hora. Este valor incrementa o disminuye con el aumento o decrecimiento del espesor de la tabla.	Etapa	T (°C)	CHE (%)	HR (%)
		Calefacción	45	40	-
Secado	45		16	-	
	49	14.4	50		
	49	12.1	45		
	49	9.6	40		
	49	6.5	35		
	55	4.0	30		
	60	2.9	25		
	66	3.2	20		
	82	3.5	15		
	Igualación	85	3.5	12	
Acondicionamiento	65	3.5	-		
Enfriamiento	35	4.0	-		
Calidad del secado	Las rajaduras o grietas ocurren en alrededor del 50% de las piezas luego del secado; sin embargo, estas no alcanzan longitudes superior a 2 cm. La arqueadura por el secado no aumenta ni disminuye o aparece en nuevas tablas por el secado. El alabeo no incrementa su magnitud, pero aparece este defecto en piezas que no lo tenían antes del secado. La acanaladura aparece cuando se está trabajando con tablas anchas y su magnitud es de 1,4 mm.	T: Temperatura (°C) CHE: Contenido de Humedad en Equilibrio (%) HR: Humedad Relativa (%) Fuente: programa T6-D4 en Sydney et al. 1988.			



Madera de caoba apilada en secadora convencional



Presencia de acanalado en madera aserrada de caoba luego del secado



Presencia de rajaduras en tablas de caoba luego del secado

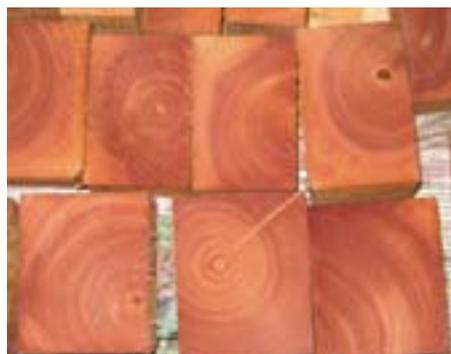
Fotografías | Róger Moya

11. Preservación de la madera

Preservación	Descripción														
Tratamiento de inmersión-difusión	<p>La madera de caoba preservada, utilizando el método de inmersión-difusión con sales de boro, es penetrada totalmente en tiempos adecuados, según sea el espesor de la tabla. La madera así preservada es recomendable para uso de interiores, sin exposición al agua. El siguiente cuadro muestra el tiempo de difusión necesario para que las sales de boro alcancen una penetración del 100%.</p> <table border="1"><thead><tr><th>Espesor (cm)</th><th>Tiempo difusión (días)</th></tr></thead><tbody><tr><td>1,2</td><td>16</td></tr><tr><td>2,5</td><td>22</td></tr><tr><td>3,8</td><td>28</td></tr><tr><td>5,0</td><td>32</td></tr><tr><td>6,2</td><td>37</td></tr><tr><td>7,5</td><td>40</td></tr></tbody></table>	Espesor (cm)	Tiempo difusión (días)	1,2	16	2,5	22	3,8	28	5,0	32	6,2	37	7,5	40
Espesor (cm)	Tiempo difusión (días)														
1,2	16														
2,5	22														
3,8	28														
5,0	32														
6,2	37														
7,5	40														
Tratamiento vacío-presión	<p>En el duramen de esta especie la penetración del preservante es nula, mientras que en la albura se logra una penetración parcial e irregular. La absorción del preservante en la madera es de 239,6 litros/m³ y la retención es de 4,8 kg/m³. La madera preservada con este método y utilizando un preservante tipo CCA-C se clasifica como riesgo Clase 2, por lo que se recomienda para uso cubierto bajo techo y temporalmente humedecida.</p>														



Penetración de las sales de boro en 5 de almacenamiento



Penetración total de las sales de boro luego de 40 días de almacenamiento

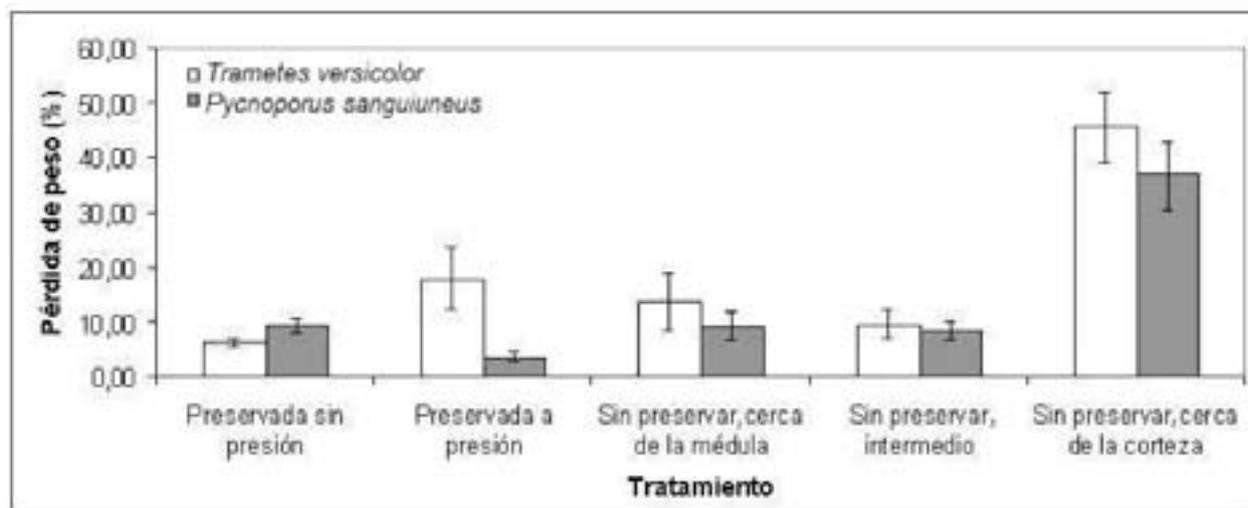


Poste preservado mostrando el duramen (sin preservar) y la albura (preservada irregularmente)

Fotografías | Róger Moya y Alexander Berrocal

12. Durabilidad de la madera

Tipo de ataque	Descripción
Hongos	Las pruebas aceleradas con hongos de producción blanco <i>Trametes versicolor</i> y <i>Pycnoporus sanguineus</i> muestran que la durabilidad de la madera sin preservar está relacionado a la posición de la tabla respecto a la médula. La madera alrededor de médula y toda la región del duramen es altamente resistente y la madera cortada cerca de la corteza, generalmente albura, se clasifica como no resistente. La madera aserrada de acacia preservada con preservante tipo CCA, se clasifica como altamente resistente, mientras que la madera preservada con sales de boro como altamente resistente.
Insectos	La madera de albura de acacia es poco resistente al ataque de termitas, coleópteros, barrenadores y organismos xilófagos de madera seca y de madera húmeda, pero la madera duramen es más resistente a todos estos insectos. Para aumentar la resistencia al ataque de insectos es necesario preservar la madera con sales de boro o preservante tipo CCA, en especial la madera de albura.



La figura muestra la pérdida de peso en porcentaje de caoba por ataque del hongo *T. versicolor* y *P. sanguineus* en madera preservada a presión y madera sin preservar. La madera sin preservar de la parte interna de la troza (cerca de la corteza y la región intermedia) presenta pérdidas de pesos bajos y similares a la madera preservada, pero la región próxima a la corteza (duramen) es de mayor degradación o pérdida de peso.

13. Trabajabilidad de la madera

Operación	Descripción
Cepillado	<p><i>Clasificación:</i> de excelente cepillado, más del 85-90% de la superficie queda libre de defectos con ángulos de ataque en cuchillas de 30° y 15°, en madera tangencial con ángulo de ataque de 15° y velocidad de alimentación de 20 m/min la calidad del cepillado disminuye.</p> <p><i>Presencia de defectos:</i> es posible encontrar madera luego del cepillado con grano veloso y grano arrancado en muy bajas cantidad y siempre en la categoría de leve.</p> <p><i>Recomendación:</i> No se recomienda utilizar ángulos de ataque de 15° y velocidad de alimentación de 20 m/minuto en madera de corte tangencial ya que la superficie libre de defectos tiende a disminuir hasta en un 15%.</p>
Lijado	<p><i>Clasificación:</i> es fácilmente lijable, prácticamente no hay embotamiento de la lija dando superficies de buena calidad, los defectos que se presentan son discontinuos y poco abundantes.</p> <p><i>Presencia de defectos:</i> rayas y vellosidad ligera y discontinua, pero con pocos efectos en la calidad de la superficie.</p> <p><i>Recomendación:</i> es importante utilizar la lija # 60 para eliminar los defectos del cepillado y finalmente la lija de grano superior a 100 para lograr superficies de buena calidad.</p>
Taladrado	<p><i>Clasificación:</i> utilizando broca para madera la penetración del taladro es muy deficiente mientras que con broca para metal es muy eficiente. La broca para madera produce superficie excelente, mientras que la broca para metal produce una superficie de buena a regular calidad.</p> <p><i>Defectos:</i> con broca para madera no se presentan defectos. Con broca para metal presenta grano arrancado y la superficie irregular. Se produce grano arrancado con la broca para metal al hacer orificios.</p> <p><i>Recomendación:</i> utilizar broca para madera. Importante considerar que para aumentar la eficiencia en la penetración del taladro se recomiendan revoluciones superiores a 1000 rpm.</p>



Superficie cepillada de excelente calidad obtenida



Presencia de grano veloso leve en las superficies lijadas



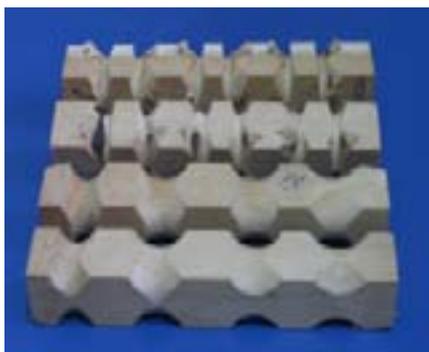
Calidad de orificios obtenidos con broca para madera y broca para metal

Fotografías | Cynthia Salas

Continúa en la siguiente página ►

13. Trabajabilidad de la madera

Operación	Descripción
Torneado	<i>Clasificación:</i> resulta de excelente calidad cuando se utiliza la gubia de forma horizontal, pero al inclinar la gubia el corte pierde calidad hasta en un 50%. <i>Presencia de defectos:</i> cuando la gubia se introduce en forma inclinada, se produce el grano arrancado y quemaduras en la superficie torneada <i>Recomendación:</i> apta para este tipo de trabajo en todos los cortes.
Moldurado	<i>Clasificación:</i> de excelente calidad de la superpie en el momento del moldurado. <i>Presencia de defectos:</i> no se presentan. <i>Recomendación:</i> es apta para este tipo de trabajo en todos los cortes.
Escopleado	<i>Clasificación:</i> la calidad de los orificios generados por el escopleado es muy buena. <i>Presencia de defectos:</i> presentan pocas grano vellosa o grano arrancado. <i>Recomendación:</i> es una madera muy apta para este tipo de trabajo en todos los cortes.



Calidad de superficies torneadas



Moldura de excelente calidad



Escopleados de muy buena calidad

Fotografías | Cynthia Salas

Teca

Nombre científico
***Tectona grandis* L.f.**

Familia
Verbenaceae



Róger Moya Roque
Freddy Muñoz Acosta
Alexander Berrocal Jiménez

Referencia bibliográfica de la Ficha Técnica nº 7

Moya Roque, R; Muñoz Acosta, F; Berrocal Jiménez, A. 2010. Teca: *Tectona grandis* L.f. Verbenaceae. Ficha técnica 7. In Tecnología de madera de plantaciones forestales: Fichas técnicas. R. Moya R., [et al]. (en línea). Revista Forestal Mesoamericana Kurú 7(18-19):117-131. (Editorial Corporación Garro y Moya, (ISBN: 978-9968-9643-3-3). Disponible en www.tec.ac.cr/revistaforestal

1. Aprovechamiento de plantaciones

Característica	Descripción
Facilidad de corte y volteo	En sitios planos, el corte tradicional presenta buen rendimiento, pues el fuste no es quebradizo ni propenso a producir rajaduras. En sitios inclinados, el corte Humboldt es apropiado en esta especie.
Caída natural y dirección de caída	En plantaciones con buen manejo y trozas con diámetros menores a 30 cm de diámetro, se puede modificar la caída natural, si se quisiera reducir el impacto en los árboles vecinos o mantener las condiciones del sitio.
Desafilado de sierras	La cadena no se embota con ningún tipo de resina y el filo en ella se desgasta moderadamente.
Susceptibilidad a quebrantaduras	No presenta este problema.
Fisonomía del fuste	Muy dependiente del manejo y de la genética, por lo general los árboles presentan buena forma, excepto en la base por la presencia de gambas pequeñas.
Trozas por árbol	Se obtienen de 3 a 6 trozas comerciales por árbol (4 trozas en promedio) de 2,5 m de longitud y diámetros mayores a 13 cm.
Frecuencia de ramas y operación de desrame	Poca cantidad de ramas en la parte baja del fuste y una mayor cantidad en la parte alta. La operación de desrame se lleva a cabo fácilmente, ya que la especie no presenta alta incidencia de ramas y en general estas son delgadas.



Plantación de 7 años de edad en San Carlos, Costa Rica



Medición de trozas para efectos de cubicación en madera



Aprovechamiento en plantación joven

Fotografías | Róger Moya

2. Troceo, transporte y durabilidad de las trozas

Característica	Descripción
Troceo	De fácil troceo. La especie presenta tensiones de crecimiento leves a moderadas que afectan poco esta operación.
Acarreo	Trozas de 2,5 m de largo con 20 cm de diámetro promedio (densidad de 1100 kg/m ³ en condición verde) tienen un peso aproximado de 86 kg. El acarreo de trozas al patio de acopio, con dimensiones menores a las señaladas, se puede realizar por medio de la fuerza humana; para diámetros mayores es necesario utilizar otros equipos o bien fuerza animal.
Apilado	El apilado es poco uniforme en trozas largas y/o provenientes de la base de árbol; sin embargo, las trozas cortas y/o de la parte alta del árbol son acomodadas fácilmente en una pila.
Durabilidad de trozas	En época seca, las trozas pueden permanecer hasta tres meses en el campo; no obstante, este periodo se acorta a un mes en época lluviosa. La albura es susceptible al ataque de escarabajos barrenadores de la madera (familia <i>Scolytidae</i>); mientras que solo el duramen de árboles jóvenes es susceptible a este ataque.



Trozas en pista de arrastre



Trozas apiladas para su transporte



Medición de trozas para exportación

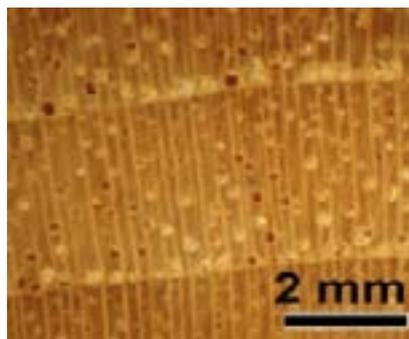
Fotografías | Róger Moya

3. Descripción general y macroscópica de la madera

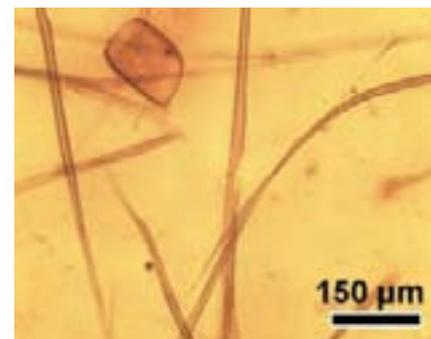
Descripción	Detalle
General	<p><i>Diferenciación entre albura y duramen:</i> presente y de forma abrupta. <i>Color:</i> en la condición seca la albura de color amarillo pálido (5Y 8/2 a 5Y 8/3), el duramen presenta mayor variación del color desde amarillo pálido hasta marrón verde oliva ligero (2.5Y 4/4 a 2.5Y 7/4). <i>Veteado:</i> muy definido por los anillos de crecimiento. <i>Textura:</i> de mediana a fina. <i>Olor:</i> característico. <i>Sabor:</i> imperceptible. <i>Brillo:</i> moderado en la superficie radial y opaco en la superficie tangencial. <i>Tipo de grano:</i> recto a muy recto. <i>Anillos de crecimiento:</i> bien marcados en sitios de baja precipitación, poco definidos en sitios de alta precipitación. <i>Densidad:</i> seca al aire presenta una densidad de 0,63 a 0,65 g/cm³, por lo que es considerada como madera moderadamente pesada.</p>
Macroscópica	<p><i>Vasos:</i> ligeramente visibles a simple vista, de tamaño medio, poros solitarios y algunos múltiples radiales de 2 a 3 células en sentido radial, de mediana abundancia, porosidad semi-anular y gomas presentes en los vasos del duramen. <i>Parénquima axial:</i> visible solo con aumento de 10X, de tipo paratraqueal vasicéntrico escaso, algunas veces se observa bandas finas al inicio o al final del anillo de crecimiento. <i>Parénquima radial:</i> visible solo con aumento de 10X, radios finos, un solo ancho, de abundancia media y no estratificada. <i>Otras estructuras visibles:</i> ausentes.</p>



Corte tangencial longitudinal



Corte transversal macroscópico (marcación de albura y duramen)

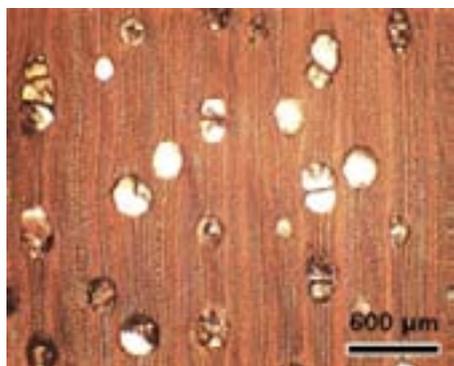


Fibra, parénquima y vaso en material macerado

Fotografías | Carlos Olivares

4. Descripción microscópica de la madera

Descripción microscópica	Detalle
Vasos/poros	<p><i>Porosidad:</i> semianular. <i>Distribución:</i> no se observa un patrón definido. <i>Agrupamiento:</i> solitarios, promedio 85 % (82 - 87) y múltiples de 2 a 3 células en sentido radial. <i>Frecuencia:</i> pocos, promedio de 4 poros/mm² (3 - 7). <i>Longitud:</i> cortos, promedio de 236 μm (111 - 394). <i>Diámetro:</i> medio, promedio de 150 μm (50 - 320). <i>Engrosamiento helicoidal de las paredes:</i> ausente. <i>Apéndices:</i> cortos, se pueden presentar en uno o en los dos extremos. <i>Platinas de perforación:</i> simples. <i>Gomas:</i> presentes en los vasos del duramen. <i>Tíldes:</i> no se observan. <i>Presencia de cristales:</i> en las láminas fijas parece que se presenta sílice vítreo. <i>Punteaduras inter-vasculares:</i> simples, hexagonales, alternas, sin presencia de ornamentaciones y diámetro pequeño 6 μm (4 - 8). <i>Punteaduras radio-vasculares:</i> con borde distinto, similar a las inter-vasculares en forma y tamaño a través de las células de radio.</p>
Fibras	<p><i>Septos:</i> presentes. <i>Punteaduras:</i> aeroladas de tamaño muy pequeño. <i>Dimensiones:</i> longitud de 1,04 mm (0,52 - 1,60); diámetro del lumen de 17 μm (11 - 30), diámetro de fibra de 26 μm (16 - 38), y espesor de pared celular 5 μm (3 - 6). <i>Presencia de cristales:</i> presentes, con sílice vítreo. <i>Estratificación:</i> ausente.</p>
Parénquima radial	<p><i>Tipo:</i> predominantemente de radios multiseriados, de 3 a 10 radios. <i>Estratificación:</i> ausente. <i>Dimensiones:</i> de 1 a 5 (comúnmente 3 a 4) células de ancho y alturas superior a 1 mm, comúnmente 3 a 4 células de ancho 58 μm (23 - 112). <i>Frecuencia:</i> media, promedio de 5 radios/mm (2 - 7). <i>Tipo de células:</i> homocelular, células procumbentes y heterocelular con una fila de células cuadradas en los extremos y células procumbentes en la parte central. <i>Presencia de cristales:</i> ausentes.</p>
Parénquima axial	<p><i>Tipo:</i> paratraqueal vasicéntrico escaso y en algunos árboles se observa apotraqueal de bandas finas de 1 a 3 células de ancho al final/o inicio del anillo de crecimiento. <i>Tipo de células:</i> fusiformes de 3 a 5 células por filamento. <i>Estratificación:</i> ausente. <i>Presencia de cristales:</i> ausentes.</p>
Otras estructuras	Ausente



Corte transversal



Corte tangencial-longitudinal



Corte radial-longitudinal

5. Propiedades físicas de la madera

Propiedad Física	Básica	Seca	Anhidra
Densidad (g/cm ³)	1,10 (0,05 / 6,02)	0,83 (0,04 / 4,82)	0,58 (0,07 / 12,95)
Peso específico*	0,56 (0,04 / 7,14)	0,57 (0,04 / 7,02)	0,59 (0,04 / 6,78)

*Clasificación de la madera de esta especie: pesada

Propiedad Física	Condición verde	Condición seca
Contenido de humedad inicial (%)	117,90 (28,46 / 24,14)	-
Capacidad calórica (KJ/kg)	9510 (2409 / 25,33)	19390 (1903 / 9,81)

Propiedad Física	Normal (Verde-12%)	Total (Verde-0%)	Clasificación
Contracción radial (%)	4,54 (1,32 / 12,47)	2,60 (3,05 / 11,54)	baja
Contracción tangencial (%)	4,06 (1,43 / 13,02)	5,52 (0,41 / 7,49)	mediana
Contracción volumétrica (%)	7,06 (2,60 / 36,95)	6,35 (1,62 / 25,51)	baja
Razón contracción T/R	1,38 (0,60 / 11,65)	1,93 (0,20 / 10,36)	alta

Notas:

Números entre paréntesis representan la desviación estándar y el coeficiente de variación, respectivamente.

Condición verde sobre el punto de saturación de fibras.

Condición seca al 12% de contenido de humedad.

Razón de contracción T/R: relación contracción tangencial / contracción radial.

Clasificación de peso específico según Hess y Wangard (1950).

Clasificación de contracción según Barcenas (1985).

6. Propiedades mecánicas de la madera

Propiedad mecánica		Condición humedad	
		Verde	Seca
Esfuerzo máximo compresión paralela a la fibra (kg/cm ²)		373 (15,0 / 55,2)	425 (49,1 / 11,7)
Esfuerzo máximo compresión perpendicular a la fibra (kg/cm ²)		263 (13,9 / 8,4)	396 (10,5 / 11,4)
Esfuerzo máximo tensión paralela a la fibra (kg/cm ²)		339 (99,7 / 29,4)	912 (206,1 / 22,6)
Flexión estática (1 carga) (kg/cm ²)	MOR	545 (12,5 / 89,8)	951 (81,7 / 8,5)
	MOE*1000	116 (18,0 / 16,4)	131 (11,2 / 36,7)
Esfuerzo máximo cortante paralelo a la fibra (kg/cm ²)	tangencial	76 (11,8 / 12,01)	71 (10,8 / 15,2)
	radial	-	62 (10,5 / 16,3)
Esfuerzo máximo tensión perpendicular a la fibra (kg/cm ²)	tangencial	30 (9,5 / 31,8)	22 (5,7 / 25,9)
	radial	25 (3,8 / 15,3)	21 (4,2 / 20,0)
Esfuerzo máximo clavaje (kg/cm ²)	tangencial	5,9 (1,5 / 25,2)	3,8 (2,1 / 54,7)
	radial	6,5 (0,9 / 13,8)	2,5 (0,9 / 37,8)
Dureza janka (kg)	axial	397 (11,6 / 46,6)	490 (11,1 / 53,5)
	lateral	401 (11,5 / 45,3)	488 (11,5 / 51,3)
Extracción de clavos (kg)	axial	40 (14,5 / 36,6)	30 (5,9 / 20,1)
	lateral	36 (9,1 / 34,1)	35 (17,2 / 48,9)

Notas:

Condición verde sobre el punto de saturación de fibras.

Condición seca: valores ajustados al 12% CH.

MOR: módulo de ruptura, MOE: módulo de elasticidad

Entre paréntesis: desviación estándar y coeficiente de variación (%).

n = 18 muestras ensayadas por cada propiedad mecánica

7. Propiedades químicas de la madera

Propiedad química	Composición	
Composición global	Holocelulosa (%)	59,65 (0,85 / 1,42)
	Lignina (%)	30,91 (1,41 / 4,56)
	Extractos totales (%)	13,67(1,32 / 9,66
	Cenizas (%)	0,78 (0,13 / 16,67)
Análisis químico elemental en cenizas	Nitrógeno (%)	0,20 (0,01 / 5,00)
	Fósforo (%)	0,04 (0,02 / 50,00)
	Calcio (%)	0,14 (0,06 / 42,86)
	Magnesio (%)	0,07 (0,04 / 57,14)
	Potasio (%)	0,50 (0,09 / 18,00)
	Azufre (%)	0,01 (0,00 / 0,00)
	Hierro (mg/kg)	1,00 (0,58 / 58,00)
	Cobre (mg/kg)	5,00 (1,00 / 20,00)
	Zinc (mg/kg)	2,00 (1,00 / 50,00)
	Manganeso (mg/kg)	0,00 (0,00 / 0,00)
Boro (mg/kg)	2,67 (1,53 / 57,30)	
Extractivos solubles en	NaOH (al 1(%))	11,98 (1,17 / 9,77)
	H2O caliente (%)	3,13 (0,87 / 27,80)
	H2O fría (%)	3,28 (0,93 / 28,35)
	Diclorometano (%)	2,20 (0,08 / 3,64)
	Tolueno-etanol (%)	1,18 (0,00 / 0,00)
Otras propiedades	pH	6,41 (0,07 / 1,09)

Notas:

Números entre paréntesis representan la desviación estándar y el coeficiente de variación (%).

n = 9 repeticiones por propiedad química.

8. Desempeño y calidad de aserrío

Aserrío	Descripción																				
Desempeño en aserrío	El aserrío de las trozas es de mediana dificultad por el desafilado de las herramientas de corte. Las trozas de esta especie presentan poca cantidad de nudos, curvaturas poco pronunciadas y baja conicidad, permitiendo un buen manipuleo. No se producen muchos problemas de entramamientos (atascamientos) de las sierras de corte. El aserrío de trozas de diámetro pequeño produce madera aserrada con pocas torceduras o pandeos. En el caso de las sierras de corte, en especial las de cinta, se presentan serios problemas con el desafilado. En sierras circulares es necesario utilizar calzas con carburo de tungsteno, para aumentar su resistencia al desgaste.																				
Calidad de la madera	Observaciones realizadas en madera aserrada mostraron ausencia de grano vellosa o levantado, las grietas estaban presentes en el 35% de las tablas, con una longitud superior a 1 cm; las rajaduras en el 40%, con longitud media superior a 1 cm; la arqueadura en el 97% de las tablas, con un promedio de 13 mm de flecha, la encorvadura se presentó en un 10% de las tablas, con un de promedio de 4,6 mm de flecha, el alabeo en el 48%, con promedio de 3,3 mm; no se presentó acanalado de las tablas. En muchas de las piezas se presentó madera con médula que afectó su calidad.																				
Rendimiento de la madera	<p>El rendimiento promedio es bajo en trozas de diámetro pequeño; no obstante, ese rendimiento puede ser superior a 50% cuando las trozas son rectas y han sido aserradas a lo ancho del rollo. En trozas más torcidas y de bajas dimensiones, el rendimiento puede disminuir hasta el 30%. Aunque estas trozas presentan bajo rendimiento, se comercializan en los mercados internacionales cuando tienen alto porcentaje de duramen. El siguiente cuadro muestra los rendimientos esperados para los diferentes rangos diamétricos:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Categoría de diámetro (cm)</th> <th>Cantidad de trozas</th> <th>Diámetro Promedio (cm)</th> <th>Rendimiento (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10 - 15</td> <td>30</td> <td>13,88</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>15 - 25</td> <td>180</td> <td>19,11</td> <td>43</td> </tr> <tr> <td>25 - 30</td> <td>105</td> <td>22,45</td> <td>52</td> </tr> <tr> <td>Mayor a 30 cm</td> <td></td> <td></td> <td>55-60</td> </tr> </tbody> </table>	Categoría de diámetro (cm)	Cantidad de trozas	Diámetro Promedio (cm)	Rendimiento (%)	10 - 15	30	13,88	30	15 - 25	180	19,11	43	25 - 30	105	22,45	52	Mayor a 30 cm			55-60
Categoría de diámetro (cm)	Cantidad de trozas	Diámetro Promedio (cm)	Rendimiento (%)																		
10 - 15	30	13,88	30																		
15 - 25	180	19,11	43																		
25 - 30	105	22,45	52																		
Mayor a 30 cm			55-60																		



Aserrío de trozas en sierra doble de cadenas



Aserrío en aserraderos portátiles de cinta



Madera en bloques labrados para exportación

9. Secado al aire de la madera

Parámetro	Descripción																
Clasificación	La especie se clasifica como de secado rápido y con pocos defectos de secado. Es una especie de secado rápido en relación con otras especies de plantación. Los tiempos de secado son menores a 25 días en madera con espesores mayores a 5 cm. Una vez seca, la madera aserrada presenta alguna incidencia de defectos, principalmente en la madera de árboles jóvenes o de las partes altas del árbol.																
Tiempo de secado	<p>La madera de teca presenta una razón de secado que oscila entre 2,58 a 4,50 %/día y tiempos para alcanzar el 20% de contenido de humedad entre 14 y 23 días para espesores menores de 5 cm. El siguiente cuadro muestra los valores de secado al aire para teca de diferentes espesores.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Espesor (cm)</th> <th>CHi* (%)</th> <th>Número de días**</th> <th>Razón de secado (%/día)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2,54</td> <td>79,21</td> <td>14,00</td> <td>4,50</td> </tr> <tr> <td>3,81</td> <td>78,76</td> <td>18,00</td> <td>3,46</td> </tr> <tr> <td>5,08</td> <td>77,05</td> <td>23,00</td> <td>2,58</td> </tr> </tbody> </table> <p>*CHi: Contenido de humedad inicial **Número de días para alcanzar 20% de CH. Ensayos realizados en la ciudad de Nicoya, Guanacaste, Costa Rica</p>	Espesor (cm)	CHi* (%)	Número de días**	Razón de secado (%/día)	2,54	79,21	14,00	4,50	3,81	78,76	18,00	3,46	5,08	77,05	23,00	2,58
Espesor (cm)	CHi* (%)	Número de días**	Razón de secado (%/día)														
2,54	79,21	14,00	4,50														
3,81	78,76	18,00	3,46														
5,08	77,05	23,00	2,58														
Calidad del secado	<i>Grietas y rajaduras</i> : presentes en el secado al aire, en especial en madera próxima a los nudos y en la región próxima a la médula. <i>Arqueadura</i> : este defecto se acentúa poco con el secado. <i>Encorvadura</i> : de poca magnitud y frecuencia entre la madera verde y la madera seca. <i>Alabeo</i> : baja presencia. <i>Colapso</i> : no se presenta este defecto. <i>Acanalado</i> : presente en piezas anchas, baja incidencia en piezas angostas. <i>Manchas</i> : no se presentan.																



Madera aserrada apilada al aire (protegida del sol y el agua)



Muestras para control de humedad



Rajaduras en extremos de la tabla, asociadas a la presencia de médula

Fotografías | Paula Gómez y Róger Moya

10. Secado al horno de la madera

Clasificación	Descripción	Programa de secado recomendado			
Clasificación	Se considera una madera de rápido secado y uniformidad en el contenido de humedad final, en la carga de madera.				
Tiempo de secado	Madera de 2,54 cm de espesor presenta un tiempo de secado de 142-168 horas, con un contenido de humedad inicial de 72% y un contenido de humedad final de la madera aproximadamente entre 8-10%.	Etapa	T (°C)	CHE (%)	HR (%)
		Calefacción	55	-	-
Calidad del secado	La aparición de rajaduras y grietas se asocia con la presencia de médula y nudos. La arqueadura afecta entre un 2% y un 3% de las tablas. La encorvadura afecta entre un 24% y un 28% de las tablas. El alabeo se presenta en un 27% a 78% de las piezas, con una magnitud máxima de 1,8 mm, siendo un defecto importante que aparece después del secado, y que podría estar influenciado por el programa de secado aplicado y el patrón de corte en las tablas; las piezas más propensas a este defecto son las de corte oblicuo. Las rajaduras se presentan en un 13% al 15% de las tablas y las grietas entre un 9% y un 13%). Las rajaduras más críticas presentan un incremento de 24,5 mm luego del secado.		Secado	58	14,0
		60		13,8	80
		60		12,5	75
		60		10,0	65
		65		8,5	55
		70		7,7	50
		72		6,4	40
		75		5,2	30
75	3,7	25			
Igualación	75	11,0	-		
Acondicionamiento	75	11,5	-		
Enfriamiento	35	11,5	-		
T: Temperatura CHE: Contenido de Humedad en Equilibrio HR: Humedad Relativa Fuente: Schedule H (Adjust) en Sydney et al. 1988					



Secado en cámara convencional



Calidad de madera en secadora convencional



Apilado en cámara de secadora solar

11. Preservación de la madera

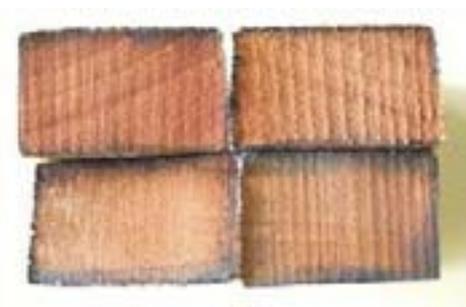
Preservación	Descripción								
Tratamiento de inmersión-difusión	<p>La madera de teca preservada, utilizando el método de inmersión-difusión con sales de boro, es penetrada totalmente en los diferentes espesores de tabla en tiempos adecuados según sea el espesor. La madera preservada con este método es recomendable para uso en interiores, sin exposición al agua. El siguiente cuadro muestra el tiempo de difusión recomendado para que las sales de boro alcancen una penetración del 100%.</p> <table border="1"><thead><tr><th>Espesor (cm)</th><th>Tiempo difusión (días)</th></tr></thead><tbody><tr><td>2,54</td><td>15</td></tr><tr><td>3,81</td><td>20</td></tr><tr><td>5,08</td><td>30</td></tr></tbody></table>	Espesor (cm)	Tiempo difusión (días)	2,54	15	3,81	20	5,08	30
Espesor (cm)	Tiempo difusión (días)								
2,54	15								
3,81	20								
5,08	30								
Tratamiento vacío-presión	<p>La penetración del preservante es nula en el duramen de esta especie; aunque en algunas ocasiones, es posible la penetración parcial debido a la presencia de porciones del leño temprano con poros grandes y abundantes; en la albura se logra una penetración total. La absorción del preservante en la madera es de 292,9 litros/m³ y la retención es de 3,0 kg/m³. La madera preservada con este método y utilizando un preservante tipo CCA-C se clasifica como riesgo Clase 1, por lo que se recomienda para uso bajo techo y constantemente seca. En caso de exposición a la intemperie se debe aumentar la concentración del preservante al 10 %.</p>								



Madera preservada con boro (cubierta para difundir el preservante)



Color rojo intenso indica penetración casi total del preservante

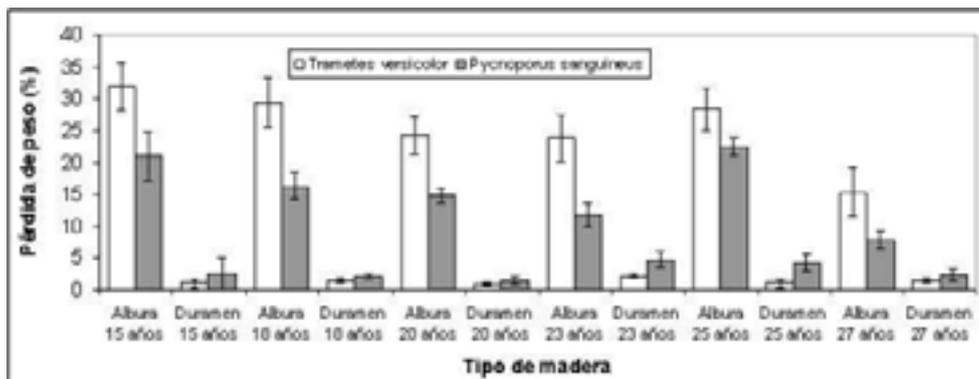


Penetración casi nula en madera con duramen (el color azul indica la penetración del preservante)

Fotografías | Paula Gómez

12. Durabilidad de la madera

Tipo de ataque	Descripción
Hongos	Las pruebas aceleradas con hongos de producción blanca, <i>Trametes versicolor</i> y <i>Pycnoporus sanguineus</i> , muestran que la durabilidad natural de la madera del duramen (sin preservar) está relacionada con la edad. La madera de duramen de árboles jóvenes presenta una durabilidad natural moderada, en tanto que la madera de árboles viejos presenta una alta resistencia al ataque de insectos. La albura de la madera presenta una durabilidad natural de moderada a baja; y con preservante tipo CCA, se clasifica como altamente resistente.
Insectos	La madera de duramen es altamente resistente al ataque de termitas de madera seca y moderadamente resistente a las de madera húmeda, así como a coleópteros, barrenadores de la madera (líctidos, anóbidos, escolítidos y cerambícidos) y organismos xilófagos marinos; con la ventaja de que al preservar la madera se logra incrementar aún más su resistencia al ataque de estos agentes de biodeterioro.



La figura muestra la pérdida de peso (en %) por ataque de los hongos *T. versicolor* y *P. sanguineus* en árboles de diferentes edades. La madera de albura presenta mayores pérdidas de peso para las diferentes edades evaluadas, y la mayor degradación se presenta con el hongo *T. versicolor*.

Muestras de madera con ataque de termitas

Fotografía | Alexander Berrocal

13. Trabajabilidad de la madera

Operación	Descripción
Cepillado	<p><i>Clasificación:</i> el cepillado de madera juvenil (6 a 12 años) presenta un elevado porcentaje de área libre de defectos (80 - 90%). Se considera que esta madera es de fácil a moderadamente fácil cepillado.</p> <p><i>Presencia de defectos:</i> los defectos encontrados son el grano arrancado (asociado con nudos) y el grano rugoso y veloso, que se clasifican como de grado leve.</p> <p><i>Recomendación:</i> para obtener madera de teca de buena calidad superficial en cepillado en las primeras fases del maquinado (cepillado, moldurado) es recomendable que la mayoría de los cortes sean tangenciales. Con máquinas de cepillado convencionales, se recomienda emplear velocidades de avance de 9 - 12 m/min; aunque en maderas con alta cantidad de nudos se debe utilizar una velocidad de avance menor (6 m/min) para disminuir el defecto de grano arrancado. Se recomienda además, un menor ángulo de corte (10°) que genera un menor porcentaje de grano arrancado (en comparación con el ángulo de corte de 30°). En una línea de producción, se debe buscar el balance entre la calidad deseada (menor porcentaje de grano arrancado) y una mayor producción por hora.</p>
Lijado	<p><i>Clasificación:</i> se clasifica de fácil lijado, pues no presenta dificultades importantes para su desbaste.</p> <p><i>Presencia de defectos:</i> la combinación del rayado, la textura gruesa y los defectos generados después del cepillado (grano rugoso), hacen difícil la obtención de una superficie completamente lisa, a menos que el lijado se realice en áreas libres de defectos.</p> <p><i>Recomendación:</i> dada la frecuente aparición de rayado de la superficie, se recomienda utilizar lija # 120 ó 150 y en algunos casos granos más finos, para lograr una buena calidad superficial previa al acabado final.</p>
Taladrado	<p><i>Clasificación:</i> esta especie posee de regular a buenas características de taladrado, sin embargo la operación es muy dependiente del tipo de madera y de broca que se utilice.</p> <p><i>Presencia de defectos:</i> presenta grano arrancado, velosidad, falta de lisura y quemaduras internas.</p> <p><i>Recomendación:</i> utilizar una adecuada combinación de velocidad de giro y tipo de broca de acuerdo con la eficiencia y la calidad del orificio. En el caso de la broca para metal (modificada para madera), el taladrado es eficiente en la penetración, no obstante, la calidad de la superficie es relativamente mala. En contraste, la broca diseñada para madera produce una penetración deficiente y buena calidad del orificio.</p>



Presencia de grano arrancado luego del cepillado



Muestra de albura y duramen con excelente calidad superficial



Calidad del orificio en taladrado con broca para madera

Fotografías | Rafael Serrano

Continúa en la siguiente página ►

13. Trabajabilidad de la madera

Operación	Descripción
Torneado	<p><i>Clasificación:</i> en términos generales, la madera de teca muestra buenas características de torneado.</p> <p><i>Presencia de defectos:</i> la calidad del torneado es determinada por la presencia de defectos como grano arrancado, grano veloso y grano rugoso. En el corte oblicuo a la fibra (45°), la calidad es buena y en el corte paralelo a la fibra la calidad es regular.</p> <p><i>Recomendación:</i> los ángulos de 40 y 60° en el corte oblicuo son los más recomendados pues presentan una mejor calidad superficial. En el corte paralelo a las fibras, cuando se emplean ángulos de 0° y 15°, se obtiene resultados que pueden ser considerados como regulares, tomando en cuenta la magnitud de los defectos, como el grano arrancado y ocasionalmente grano rugoso.</p> <p><i>Recomendación general:</i> para todas las operaciones evaluadas, se debe considerar que la madera de teca presenta un alto grado de abrasividad que repercute directamente en un mayor desgaste de los filos de las herramientas de corte, por lo que se recomienda procesar esta madera con puntas y filos reforzados con carburo de tungsteno o materiales similares.</p>
Moldurado	<p><i>Clasificación:</i> en madera que se ha secado adecuadamente, se presentan muy buenos a excelentes moldurados, a pesar de su alta abrasividad que provoca la poca durabilidad del filo de las cuchillas.</p> <p><i>Presencia de defectos:</i> en madera de árboles jóvenes o de la parte interna del árbol es frecuente encontrar grano arrancado combinado con grano veloso, pero se cataloga de leve a moderado. La madera adulta libre de nudos presenta pocos defectos.</p> <p><i>Recomendación:</i> se requiere de cuchillas/perfiles contruidos con carburo de tungsteno para contrarrestar la alta abrasividad de la especie.</p>
Escopleado	<p><i>Clasificación:</i> la calidad del escopleado en esta especie es muy buena.</p> <p><i>Presencia de defectos:</i> se presentan pocos defectos y poca presencia de grano arrancado.</p> <p><i>Recomendación:</i> apta para este tipo de trabajo en todos los cortes.</p>



Buena calidad del torneado en madera aserrada



Moldura de macho-hembra



Pieza escopleada en respaldo de silla

Amarillón

Nombre científico
***Terminalia amazonia* A. Chev.**

Familia
Combretaceae



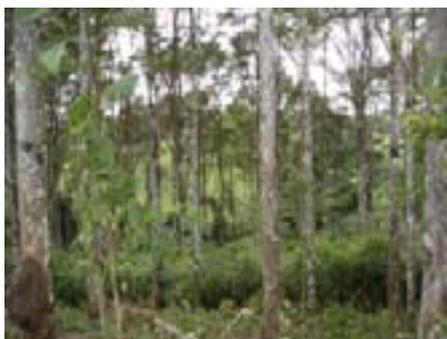
Róger Moya Roque
Freddy Muñoz Acosta
Cynthia Salas Garita
Alexander Berrocal Jiménez

Referencia bibliográfica de la Ficha Técnica nº 8

Moya Roque, R; Muñoz Acosta, F; Salas Garita, C; Berrocal Jiménez, A. 2010. Amarillón: *Terminalia amazonia* A. Chev. Combretaceae. Ficha técnica 8. In Tecnología de madera de plantaciones forestales: Fichas técnicas. Moya R., [et al]. (en línea). Revista Forestal Mesoamericana Kurú 7(18-19):132-146. (Editorial Corporación Garro y Moya, (ISBN: 978-9968-9643-3-3). Disponible en www.tec.ac.cr/revistaforestal

1. Aprovechamiento de plantaciones

Característica	Descripción
Facilidad de corte y volteo	Fácil de cortar. El árbol desarrolla “gambas” que no afectan el rendimiento de corte de los árboles. La dureza de la madera no provoca desgaste excesivo en la herramienta de corte.
Caída natural y dirección de caída	Es fácil determinar la caída natural debido a que el árbol no desarrolla una copa simétrica, dando como resultado que la copa se posiciona hacia unos de sus lados y así se define su caída natural. La misma irregularidad de la copa, así como la existencia de “gambas” de mediano tamaño, hace que cambiar la dirección de caída sea de mediana dificultad
Desafilado de sierras	Ocurre el desafilado normal, para especies de mediana densidad. Sin embargo, ocurre embotamiento de la cadena de la motosierra por la acumulación de resinas con aserrín, por lo que cada lapso de tiempo debe eliminarse esta acumulación de resina alrededor de los dientes.
Susceptibilidad a quebrantaduras	No se presentan problemas con quebrantaduras del fuste.
Fisonomía del fuste	El fuste tiene una forma cilíndrica hasta las primeras ramas, por lo que produce trozas rectas y de forma casi circular. No obstante, en la sección que contiene ramas, la calidad de las trozas disminuye por la frecuencia y grosor de las ramas y por la presencia de deformaciones.
Trozas por árbol	La buena forma de fuste permite obtener entre 4 a 6 (promedio de 5) trozas por árbol. No obstante, como se mencionó, la calidad de las trozas es inferior en la parte alta del árbol.
Frecuencia de ramas y operación de desrame	Poca presencia de ramas en las trozas de la parte inferior (de 2 a 4 ramas/metro lineal de troza). La operación de desrame en la parte baja es realizada rápidamente debido a la poca frecuencia de ramas, no así en la parte alta del fuste, donde es ligeramente mas lenta debido a que se concentran ramas en esta sección del árbol.



Plantación de 15 años de edad en el Cantón de Pérez Zeledón



Presencia de “gambas” en la base del árbol



Operación de corte durante el aprovechamiento

2. Troceo, transporte y durabilidad de las trozas

Característica	Descripción
Troceo	Fácil de trocear. No obstante, en ocasiones el troceo se ve afectado por la presencia de tensiones de crecimiento y la presencia de ramas en la parte alta del árbol.
Acarreo	Las trozas de 2,5 m de largo con 25 cm de diámetro poseen un peso aproximado de 100 kg (densidad en condición verde es de 810 kg/m ³). El acarreo de trozas al patio de acopio, con dimensiones menores a las señaladas, se puede realizar por medio de la fuerza humana; para diámetros mayores es necesario utilizar otros equipos o bien fuerza animal.
Apilado	La operación es sencilla y las trozas se acomodan fácilmente por su excelente forma.
Durabilidad de trozas	En la época de lluvias, las trozas dejadas dentro de la plantación o en sitios de acopio, después de un periodo de 3 meses, son atacadas por insectos de tipo <i>Lycitis</i> sp, los cuales son fácilmente apreciables por la presencia de un polvo blanco cerca de las trozas y saliendo de la corteza. En época seca, el periodo puede ser de hasta 5 meses sin ser afectadas por hongos o insectos, pero con grandes problemas de reventaduras en lo extremos.



Despuntado del árbol durante la operación de aprovechamiento



Troceo del árbol en patio de acopio



Reventaduras de trozas en patio de acopio

Fotografías | Róger Moya

3. Descripción general y macroscópica de la madera

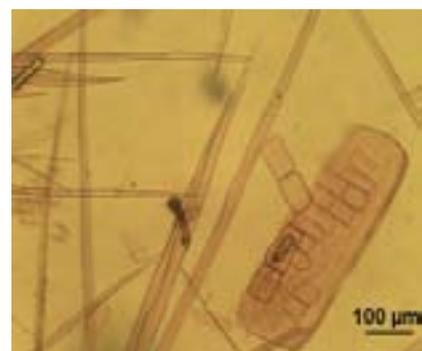
Descripción	Detalle
General	<i>Diferenciación entre albura y duramen:</i> no se evidencia en árboles de plantaciones. <i>Color:</i> en condición seca, la madera es amarillo pálido (5Y 8/2 a 5Y 8/3). <i>Veteado:</i> poco presente, con líneas verticales un poco oscuras que contrastan con el color amarillento de la madera. <i>Textura:</i> fina. <i>Olor:</i> imperceptible. <i>Sabor:</i> imperceptible. <i>Brillo:</i> de regular a brillante. <i>Tipo de grano:</i> recto. <i>Anillos de crecimiento:</i> existe marcación de anillos de crecimiento por bandas marginales de parénquima y paredes celulares más gruesas en las fibras. <i>Densidad:</i> en condición seca al aire es de 0,54 g/cm ³ , por lo que se considera como madera moderadamente pesada.
Macroscópica	<i>Vasos:</i> ligeramente visibles a simple vista, de tamaño medio, poros solitarios y algunos múltiples radiales de 2 a 3 células en sentido radial, mediana abundancia, porosidad: semianular a difusa, tendencia a formar bandas tangenciales y oblicuas y tílides presentes en los vasos del duramen de color blanco en el lumen. <i>Parénquima axial:</i> visible: visible a simple vista, de tipo paratraqueal vasicéntrico, aliforme losangular y poco de tipo confluyente. <i>Parénquima radial:</i> visible solo a un aumento de 10X, radios finos, un solo tamaño, de abundancia media y estratificación ausente. <i>Otras estructuras visibles:</i> ausentes



Corte tangencial longitudinal



Corte transversal macroscópico



Fibra, parénquima y vaso en material macerado

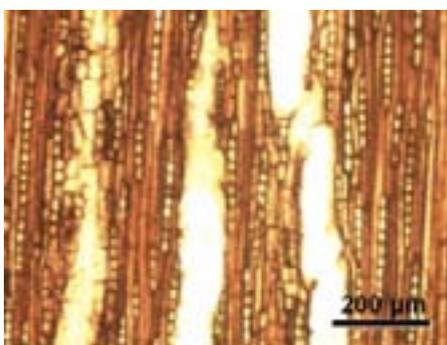
Fotografías | Carlos Olivares

4. Descripción microscópica de la madera

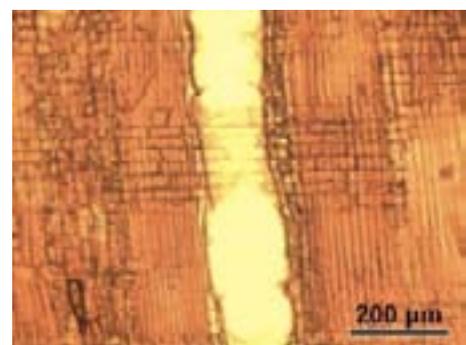
Descripción microscópica	Detalle
Vasos/poros	<p><i>Porosidad:</i> semianular a difusa. <i>Distribución:</i> tiende a formar bandas tangenciales y oblicuas, radiales. <i>Agrupamiento:</i> mediana presencia de poros solitarios, en promedio 73% (58 – 84%) y numerosos múltiples de 2 - 4 células en sentido radial. <i>Frecuencia:</i> poco numerosos, promedio de 7 poros/mm² (5 - 11). <i>Longitud:</i> longitud media, promedio de 464,72 μm (320,86 - 685,48). <i>Diámetro:</i> poros de diámetro medio, con promedio de 121,04 μm (76,33 - 183,62). <i>Engrosamiento helicoidal de las paredes:</i> ausentes. <i>Apéndices:</i> en ambos extremos y de tamaño cortos a medianos. <i>Platinas de perforación:</i> simples. <i>Gomas:</i> se observan. <i>Tíldes:</i> presentes en algunos vasos. <i>Presencia de cristales:</i> no se observa. <i>Punteaduras ínter - vasculares:</i> poligonales, múltiples, alternas, abundantes y borde distintivo. Diámetro pequeño, promedio 4,4 μm (3,53 - 5,73), de gran abundancia y con presencia de ornamentaciones. <i>Punteaduras radio-vasculares:</i> con borde distinto, similar a las inter-vasculares en forma y tamaño a través de las células de radio.</p>
Fibras	<p><i>Forma:</i> fusiformes. <i>Septos:</i> ausentes. <i>Punteaduras:</i> Simples a diminutas aeroladas. <i>Dimensiones:</i> largo pequeño, promedio de 1,11 mm (0,78 - 1,46); diámetro promedio de 26,78 μm (19,04 - 33,83); diámetro promedio de lumen de 19,96 μm (12,44 - 27,08) y fibra con espesor promedio de la pared celular delgada de 3,41 μm (1,80 - 4,49). <i>Presencia de cristales:</i> ausentes. <i>Estratificación:</i> medianamente estratificadas.</p>
Parénquima radial	<p><i>Tipo:</i> predominantemente de radios uniseriados y regularmente estratificados. <i>Dimensiones:</i> radios uniseriados de 9 células en altura (4 - 15), diámetro promedio 259,26 μm (115,3 - 419,34) y de 18,23 μm (12,95 - 24,56) en ancho. <i>Frecuencia:</i> mediana, promedio de 7,4 radios/mm (5,6 - 8,9). <i>Tipo de células:</i> homocelulares de células procumbentes. <i>Presencia de cristales:</i> alta, tipo alargados de oxalato de calcio y alta abundancia.</p>
Parénquima axial	<p><i>Tipo:</i> paratraqueal escaso o vasicéntrico escaso, aliforme losangular y de tipo confluyente. <i>Tipo de células:</i> fusiformes de 3 - 8 células por filamento. <i>Estratificación:</i> ausente. <i>Presencia de cristales:</i> alargados de oxalato de calcio.</p>



Corte transversal



Corte tangencial-longitudinal



Corte radial-longitudinal

5. Propiedades físicas de la madera

Propiedad Física	Básica	Seca	Anhida
Densidad (g/cm ³)	0,81 (0,09 / 10,95)	0,60 (0,07 / 11,74)	0,54 (0,07 / 12,28)
Peso específico*	0,49 (0,06 / 12,15)	0,52 (0,06 / 12,29)	0,55 (0,06 / 11,53)

*Clasificación de la madera de esta especie: moderadamente pesada

Propiedad Física	Condición verde	Condición seca
Contenido de humedad inicial (%)	65,99 (15,49 / 23,47)	-
Capacidad calórica (KJ/kg)	7456 (1954 / 26,21)	15918 (888 / 5,58)

Propiedad Física	Normal (Verde-12%)	Total (Verde-0%)	Clasificación
Contracción radial (%)	1,61 (0,56 / 35,10)	3,34 (0,88 / 26,46)	Baja
Contracción tangencial (%)	2,78 (0,49 / 17,54)	5,31 (0,65 / 12,23)	Media
Contracción volumétrica (%)	5,07 (0,68 / 13,34)	9,92 (5,70 / 57,46)	Media
Razón contracción T/R	1,87 (0,59 / 31,54)	1,67 (0,38 / 22,65)	Baja

Notas:

Condición verde sobre el punto de saturación de fibras.

Condición seca al 12% de contenido de humedad.

Números entre paréntesis: desviación estándar y coeficiente de variación.

Razón de contracción T/R: relación contracción tangencial / contracción radial.

Clasificación de peso específico según Hess y Wangard, 1950.

Clasificación de contracción según Barcenás (1985).

6. Propiedades mecánicas de la madera

Propiedad mecánica		Condición humedad	
		Verde	Seca
Esfuerzo máximo compresión paralela a la fibra (kg/cm ²)		140 (38,2 / 27,3)	179 (22,3 / 12,0)
Esfuerzo máximo compresión perpendicular a la fibra (kg/cm ²)		139 (24,0 / 17,3)	223 (50,2 / 22,3)
Esfuerzo máximo tensión paralela a la fibra (kg/cm ²)		116 (13,1 / 11,3)	567 (154,6 / 27,2)
Flexión estática (1 carga) (kg/cm ²)	MOR	560 (89,8 / 16,0)	746 (118,8 / 15,8)
	MOE*1000	100 (25,6 / 25,5)	119 (10,8 / 9,0)
Esfuerzo máximo cortante paralelo a la fibra (kg/cm ²)	tangencial	85 (7,8 / 9,2)	94 (27,5 / 28,6)
	radial	76 (10,2 / 13,4)	75 (16,3 / 21,6)
Esfuerzo máximo tensión perpendicular a la fibra (kg/cm ²)	tangencial	18 (22,6 / 27,5)	23 (9,6 / 41,0)
	radial	12 (11,5 / 52,6)	17 (5,1 / 31,9)
Esfuerzo máximo clivaje (kg/cm ²)	tangencial	3,7 (1,0 / 27,1)	3,7 (1,2 / 31,8)
	radial	4,2 (0,8 / 18,8)	3,7 (1,8 / 21,5)
Dureza janka (kg)	axial	216 (43,2 / 19,9)	384 (97,5 / 25,4)
	lateral	167 (38,7 / 23,2)	225 (90,6 / 40,0)
Extracción de clavos (kg)	axial	36,9 (10,9 / 29,5)	45 (16,1 / 38,0)
	lateral	62 (13,3 / 21,3)	58 (11,2 / 37,8)

Notas:

Condición verde sobre el punto de saturación de fibras.

Condición seca: valores ajustados al 12% CH.

MOR: módulo de ruptura, MOE: módulo de elasticidad

Entre paréntesis: desviación estándar y coeficiente de variación (%).

n = 18 muestras ensayadas por cada propiedad mecánica

7. Propiedades químicas de la madera

Propiedad química	Composición	
Composición global	Holocelulosa (%)	66,44 (1,62 / 2,44)
	Lignina (%)	31,35 (1,20 / 3,82)
	Cenizas (%)	0,38 (0,07 / 17,47)
	Sílice (ppm)	2,17 (1,47 / 67,94)
Análisis químico elemental en cenizas	Nitrógeno (%)	0,30 (0,04 / 0,12)
	Fósforo (%)	0,01 (0,00 / 0,00)
	Calcio (%)	0,09 (0,01 / 0,07)
	Magnesio (%)	0,01 (0,00 / 0,00)
	Potasio (%)	0,14 (0,02 / 0,15)
	Azufre (%)	0,02 (0,01 / 0,35)
	Hierro (mg/kg)	18,33 (10,41 / 0,57)
	Cobre (mg/kg)	2,50 (2,12 / 0,85)
	Zinc (mg/kg)	2,00 (1,00 / 0,50)
	Manganeso (mg/kg)	11,67 (2,31 / 0,20)
Boro (mg/kg)	2,00 (1,00 / 0,50)	
Extractivos solubles en	NaOH (al 1%) (%)	22,40 (1,06 / 4,73)
	H ₂ O caliente (%)	15,28 (1,62 / 10,58)
	H ₂ O fría (%)	8,24 (1,18 / 14,35)
	Diclorometano (%)	1,04 (0,67 / 64,32)
	Tolueno-alcohol (%)	3,38 (1,60 / 47,41)
Otras propiedades	pH	3,79 (0,12 / 3,15)

Notas:

Números entre paréntesis representan la desviación estándar y el coeficiente de variación (%).

n = 9 repeticiones por propiedad química.

8. Desempeño y calidad de aserrío

Aserrío	Descripción												
Desempeño en aserrío	<p>Las trozas de pequeño diámetro presentan en general un buen comportamiento, no obstante en algunas trozas se presentan tensiones de crecimiento que producen madera aserrada con pandeos o torceduras. También es frecuente encontrar alrededor de los dientes de las herramientas de corte un embotamiento producto de una mezcla entre el aserrín y algún tipo de resina presente en la madera en condición verde.</p>												
Calidad de la madera	<p>En el proceso de aserrío de trozas provenientes de plantaciones forestales se producen algunos problemas relacionados con las torceduras y rajaduras de las tablas, debido a la presencia de tensiones de crecimiento y a la presencia de medula. Observaciones realizadas en tablas aserradas se encontró que las grietas estuvieron presente en el 28,75% de ellas (longitud media de 4,55 cm), las rajaduras en el 92,50% de las piezas (longitud media de 23,99 cm), el acanalado no fue encontrado en madera de 7,5 cm de ancho, el 66,25% de las tablas presentaron arqueduras (promedio de 2,27mm de flecha), el 97,50% con problemas de encorvadura (promedio de 15,21 mm de flecha) y el 6,25% con problemas de alabeo (promedio de 0,20 mm).</p>												
Rendimiento de la madera	<p>El rendimiento puede ser superior a 50% cuando estas trozas son aserradas a lo ancho de la troza. Sin embargo, en el momento de llevar esta madera al mercado puede limitar su comercialización por el alto porcentaje de tablas con encorvadura y alabeos producto de la liberación de tensiones. La siguiente tabla muestra los rendimientos para diferentes diámetros de troza:</p> <table border="1" data-bbox="657 1030 1198 1306"> <thead> <tr> <th>Diámetro (cm)</th> <th>Rendimiento (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>15 - 20</td> <td>25 - 35</td> </tr> <tr> <td>20 - 25</td> <td>30 - 40</td> </tr> <tr> <td>25 - 30</td> <td>40 - 50</td> </tr> <tr> <td>30 - 35</td> <td>45 - 55</td> </tr> <tr> <td>Mayor a 35 cm</td> <td>50 - 65</td> </tr> </tbody> </table>	Diámetro (cm)	Rendimiento (%)	15 - 20	25 - 35	20 - 25	30 - 40	25 - 30	40 - 50	30 - 35	45 - 55	Mayor a 35 cm	50 - 65
Diámetro (cm)	Rendimiento (%)												
15 - 20	25 - 35												
20 - 25	30 - 40												
25 - 30	40 - 50												
30 - 35	45 - 55												
Mayor a 35 cm	50 - 65												



Presencia de tensiones de crecimiento durante el aserrío con aserradero tradicional



Rajaduras producidas por la presencia de la médula en la madera aserrada



Madera aserrada, mostrando los nudos y la presencia de la médula

9. Secado al aire de la madera

Parámetro	Descripción																												
Clasificación	La madera de amarillón proveniente de plantaciones jóvenes es considerado de rápido secado, ya que para piezas con espesores entre 5,0 y 7,5 cm se obtienen tiempos de secado inferiores a 35 días.																												
Tiempo de secado	<p>La madera presenta una razón de secado que oscila entre 0,76 a 3,18% día⁻¹ y tiempos para alcanzar el 20% de contenido de humedad entre 8 y 35 días para los diferentes espesores. La siguiente tabla muestra los diferentes parámetros de secado al aire para amarillón de diferentes espesores.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Espesor (cm)</th> <th>Chi* (%)</th> <th>Número de días**</th> <th>Razón de secado (%/día)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1,2</td> <td>45.42</td> <td>8</td> <td>3,18</td> </tr> <tr> <td>2,5</td> <td>41.59</td> <td>13</td> <td>1,66</td> </tr> <tr> <td>3,8</td> <td>47.53</td> <td>20</td> <td>1,38</td> </tr> <tr> <td>5,0</td> <td>45.62</td> <td>28</td> <td>0,91</td> </tr> <tr> <td>6,2</td> <td>44.34</td> <td>32</td> <td>0,76</td> </tr> <tr> <td>7,5</td> <td>44.72</td> <td>35</td> <td>0,77</td> </tr> </tbody> </table> <p>*Contenido de humedad inicial (Chi). **Número de días para alcanzar 20% en CH. Ensayos realizados en la ciudad de Cartago-Costa Rica.</p>	Espesor (cm)	Chi* (%)	Número de días**	Razón de secado (%/día)	1,2	45.42	8	3,18	2,5	41.59	13	1,66	3,8	47.53	20	1,38	5,0	45.62	28	0,91	6,2	44.34	32	0,76	7,5	44.72	35	0,77
Espesor (cm)	Chi* (%)	Número de días**	Razón de secado (%/día)																										
1,2	45.42	8	3,18																										
2,5	41.59	13	1,66																										
3,8	47.53	20	1,38																										
5,0	45.62	28	0,91																										
6,2	44.34	32	0,76																										
7,5	44.72	35	0,77																										
Calidad del secado	<p><i>Grieta y rajaduras:</i> además de las producidas en el aserrío de la troza por tensiones de crecimiento, durante el secado aparecen nuevas grietas, rajaduras o reventaduras en los extremos de las tablas y/o cerca de los nudos. Los defectos de arquedura y encorvadura se presentan con frecuencia, en tanto que el acanalado o alabeo son poco frecuentes. <i>Manchas:</i> cuando la madera es apropiadamente apilada no ocurren problemas de manchas o ataque de hongos.</p>																												



Madera en proceso de secado al aire



Protección de la madera ante la radiación solar y la lluvia en secado al aire



Desarrollo de rajaduras durante el secado al aire

Fotografías | Róger Moya

10. Secado al horno de la madera

Clasificación	Descripción	Programa de secado recomendado			
Clasificación	De moderado a rápido secado y con problemas de rajaduras, grietas, torceduras y pandeos.	Etapa	T (°C)	CHE (%)	HR (%)
Tiempo de secado	Madera de 2,54 cm de espesor con un contenido de humedad inicial de 66,61 % presenta un tiempo de secado de 186 horas para llegar al 12 %, lo que significa una velocidad de secado de 0,32 %/hora, incrementando y disminuyendo este tiempo con el aumento o decrecimiento del espesor de la madera.	Calefacción	39	-	-
			40	17,6	-
		Secado	43	17,6	50
			43	16,3	45
			43	16,3	40
			43	13,6	30
			49	9,9	25
			54	5,7	20
			60	2,9	15
			71	3,4	12
Igualación	71	3,4	12		
Acondicionamiento	70	5,0	-		
Enfriamiento	30	5,0	-		
Calidad del secado	Las rajaduras o grietas ocurren en alrededor del 50% de las piezas luego del secado, con un promedio en longitud de 3,2 cm. La arqueadura por el secado aumenta en las piezas que ya lo presentaban. El alabeo no se incrementa por el secado, en las piezas que ya lo mostraban. La encorvadura y el acanalado se incrementan ligeramente después del secado.	T: Temperatura (°C) CHE: Contenido de Humedad en Equilibrio (%) HR: Humedad Relativa (%) Fuente: Programa T3 - C2 Sydney et al. 1988			



Madera antes del proceso de secadora convencional



Apilado de madera en secadora convencional



Ubicación de las sondas de medición de humedad en la madera

Fotografías | Róger Moya

11. Preservación de la madera

Preservación	Descripción
Tratamiento de difusión	La madera preservada utilizando el método de inmersión-difusión con sales de boro es penetrada en el 100% de la sección transversal de diferentes espesores en un lapso menor a 5 días, lo que la cataloga como una especie fácilmente de preservar con este método. Se debe tener cuidado de no mantener la madera aserrada cubierta con plástico por mucho tiempo, ya que es susceptible a que se produzcan hongos superficiales que tienden a dar un color negro a la pieza, sin embargo este tipo de hongo es superficial.
Tratamiento a presión	Con el tratamiento a presión, se logra una penetración vascular y parcial irregular en la albura, mientras que en el duramen la penetración es nula. La absorción del preservante en la madera es de 216,1 litros/m ³ y la retención es de 4,3 kg/m ³ . La madera preservada con el método vacío - presión (preservante Wolmanit CX - 10®), que se clasifica como riesgo Clase 2, se recomienda para uso bajo techo y temporalmente humedecida.



Madera de diferentes espesores preservadas con el método inmersión - difusión (el color rojo intenso indica la penetración)



Desarrollo de hongos superficiales en madera que ha estado cubierta durante la difusión de boro.

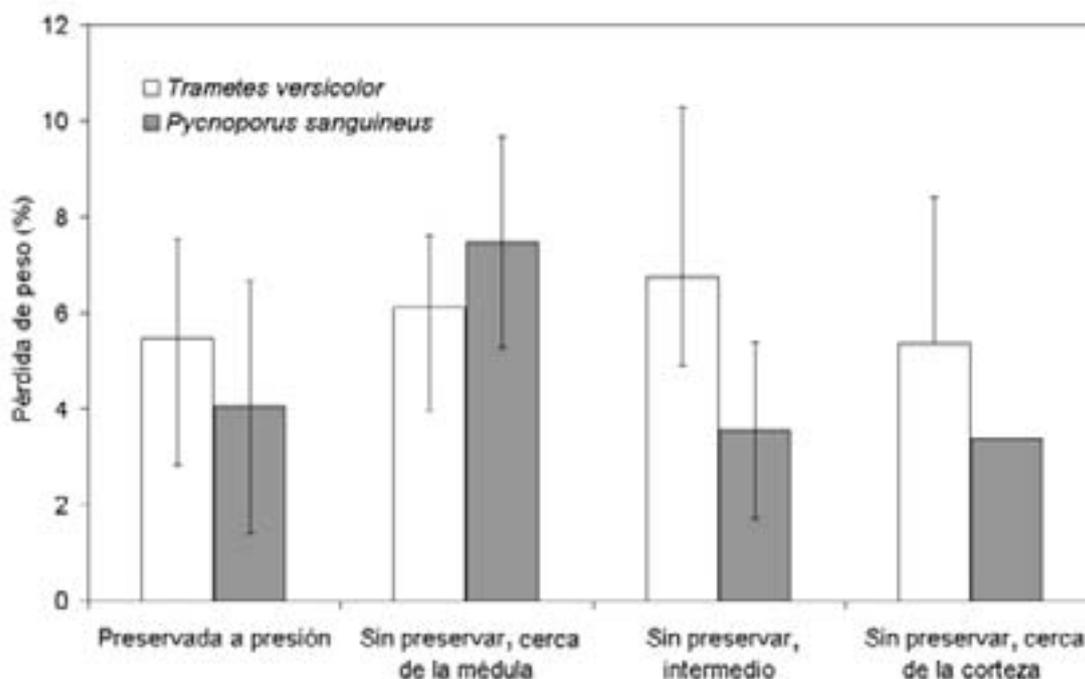


Penetración casi nula en madera de duramen (el color azul indica la penetración del preservante)

Fotografías | Róger Moya y Alexander Berrocal

12. Durabilidad de la madera

Tipo de ataque	Descripción
Hongos	Según ensayos de durabilidad natural, realizados bajo la norma ASTM D 2017 - 84 (1994) y utilizando los hongos <i>Trametes versicolor</i> y <i>Pycnoporus sanguineus</i> (estándares internacionales para este tipo de ensayo), la madera de amarillón preservada a presión con CCA, se clasifica como altamente resistente al ataque de ambos hongos. La madera sin preservar cercana a la médula, en posición intermedia y cerca de la corteza se clasifica igualmente como altamente resistente a ambos tipos de hongos. Los valores obtenidos para la madera preservada a presión fueron muy similares a los obtenidos por la madera sin tratamiento, ya que este especie es impermeable y no permite la entrada de sustancias preservantes.
Insectos	El amarillón es poco resistente al ataque de termitas de madera seca y húmeda cuando se trata de madera de albura, pero la madera de duramen es moderadamente resistente al ataque de este insecto. La madera de árboles adultos con duramen es altamente resistente al ataque de termitas. Para aumentar la resistencia al ataque de estos insectos en madera de plantación es necesario preservar la madera con sales de boro.



La figura muestra la pérdida de peso en porcentaje de amarillón por ataque del hongo *T. versicolor*. En madera preservada con sales de CCA a presión se observó una pérdida de peso del 5%; mientras que la madera sin preservar proveniente de tres posiciones distintas dentro del árbol (zona central, intermedia y externa) presentaron valores de 6%, 7% y 5% respectivamente. Con *P. sanguineus*, las pérdidas de peso fueron de 7%, 3,5% y 3,4% para las mismas posiciones radiales, respectivamente, y para la madera tratada con CCA fue de 4%.

13. Trabajabilidad de la madera

Operación	Descripción
Cepillado	<p><i>Clasificación:</i> de buena calidad al utilizar ángulo de ataque en cuchillas de 30° y velocidad de alimentación de 20 m/min, logrando una superficie libre de daño del 75%. Velocidades inferiores a la indicada propician la aparición de defectos.</p> <p><i>Presencia de defectos:</i> se presenta madera con vello leve cuando se usa la cuchilla con ángulo de 30 ° y velocidad de 20 m/min. Si se disminuye la velocidad aparece el gran arrancado de leve a moderado, afectado hasta un 50% de la superficie.</p> <p><i>Recomendación:</i> Utilizar la cuchilla con ángulo de ataque de 30 ° y velocidades de avance altas cercanas a los 20 m/min. No se recomienda utilizar cuchillas con ángulo de ataque de 15 ° pues se propicia la aparición del grano arrancado moderado hasta en un 60% de la superficie.</p>
Lijado	<p><i>Clasificación:</i> es muy fácil de lijar, hay un embotamiento y desgaste normal de la lija. La superficie que se lija se calienta y alcanza temperaturas altas que alcanzan en promedio los 42 °C.</p> <p><i>Presencia de defectos:</i> la superficie podría presentar rayas.</p> <p><i>Recomendación:</i> preferiblemente empezar a lijar con lija # 60 para eliminar los defectos del cepillado y finalizar con lija # 100, para lograr superficies más fina.</p>
Taladrado	<p><i>Clasificación:</i> con broca para metal y taladro con 1000 rpm se hacen orificios de manera rápida y de muy buena calidad en la superficie taladrada. Con la broca para madera se logran orificios de muy buena calidad, pero la penetración de la broca es más lenta.</p> <p><i>Defectos:</i> con broca para metal, la superficie del orificio pierde lisura y se presenta grano arrancado hasta en un 25% del área taladrada.</p> <p><i>Recomendación:</i> Utilizar el taladro a 1000 rpm y la broca para metal.</p>



Superficie con grano arrancado moderado



Superficie con excelente calidad de lijado



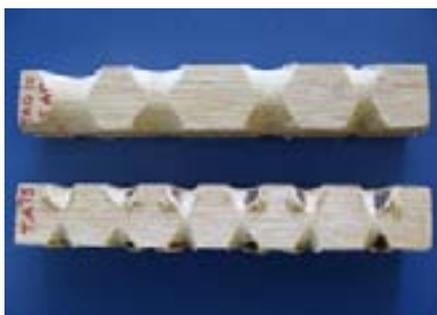
Orificios taladrados con broca para madera de buena calidad

Fotografías | Cynthia Salas

Continúa en la siguiente página ►

13. Trabajabilidad de la madera

Operación	Descripción
Torneado	<p><i>Clasificación: resulta de buena calidad cuando se introduce la gubia de forma horizontal, pero el corte pierde calidad hasta en un 50% al inclinar la gubia, en este caso aparecen quemaduras en la superficie torneada.</i></p> <p><i>Presencia de defectos: se observa grano arrancado leve cuando la gubia se introduce horizontal. Si la gubia ingresa inclinada la superficie torneada se quema producto del calentamiento de la misma. Cuando la gubia ingresa de forma inclinada se presenta grano arrancado hasta en 50% de la superficie</i></p> <p><i>Recomendación: utilizar la gubia en forma horizontal y prestar atención al filo de la herramienta.</i></p>
Moldurado	<p><i>Clasificación: la calidad del moldurado que se obtiene en esta especie es muy buena.</i></p> <p><i>Presencia de defectos: presenta vellosidad leve.</i></p> <p><i>Recomendación: esta especie es apta para este tipo de trabajo.</i></p>
Escopleado	<p><i>Clasificación: la calidad del escopleado es muy buena.</i></p> <p><i>Presencia de defectos: se presentan vellosidad leve</i></p> <p><i>Recomendación: apta para este tipo de trabajo.</i></p>



Superficies torneadas con gubia ingresando en forma inclinada y en forma horizontal



Superficie moldurada de buena calidad



Orificio escopleado con presencia de vellos en la superficie

Fotografías | Cynthia Salas

Surá



Nombre científico
***Terminalia oblonga* A. (Ruiz & Pav.) Sted**

Familia
Combretaceae

Róger Moya Roque
Freddy Muñoz Acosta
Cynthia Salas Garita
Alexander Berrocal Jiménez

Referencia bibliográfica de la Ficha Técnica nº 9

Moya Roque, R; Muñoz Acosta, F; Salas Garita, C; Berrocal Jiménez, A. 2010. Surá: *Terminalia oblonga* A. (Ruiz & Pav.) Sted. Combretaceae. Ficha técnica 9. In Tecnología de madera de plantaciones forestales: Fichas técnicas. Moya R., [et al]. (en línea). Revista Forestal Mesoamericana Kurú 7(18-19):147-161. (Editorial Corporación Garro y Moya, (ISBN: 978-9968-9643-3-3). Disponible en www.tec.ac.cr/revistaforestal

1. Aprovechamiento de plantaciones

Característica	Descripción
Facilidad de corte y volteo	En general los árboles son de fácil corte. Sin embargo, esta especie presenta “aletones” en la base del árbol, desde temprana edad, por lo que se debe invertir más tiempo en la eliminación de estos.
Caída natural y dirección de caída	Eliminando apropiadamente los aletones, no se presentan problemas con la caída natural, ya que el fuste es bastante recto. El cambio de dirección de caída podría verse afectado por la presencia de “aletones”.
Desafilado de sierras	Desafilado normal para especies con madera de mediana densidad. No obstante, se da embotamiento alrededor de los dientes por la acumulación de resinas con aserrín, por lo que cada cierto periodo esta debe eliminarse.
Susceptibilidad a quebrantaduras	No se presentan problemas.
Fisonomía del fuste	De forma irregular en la base del árbol, por la presencia de “aletones”, el resto del árbol produce troza rectas y de forma casi circular.
Trozas por árbol	Debido a la excelente forma de fuste, la cantidad de trozas a obtener por árbol puede variar de 4-7 trozas (promedio de 5 trozas/árbol).
Frecuencia de ramas y operación de desrame	En la parte inferior del fuste se presentan pocas ramas, y en la parte superior puede oscilar de 3-5 ramas/metro lineal de troza. El desrame es una labor que se ejecuta rápidamente debido a que se producen pocas ramas y estas se concentran principalmente en la parte superior del árbol.



Fisonomía de un árbol de surá de 14 años



Presencia de “aletones” en la base del árbol



Eliminación de “aletones” antes del corte del árbol

Fotografías | Róger Moya

2. Troceo, transporte y durabilidad de las trozas

Característica	Descripción
Troceo	Es realizado fácilmente producto de las pocas tensiones de crecimiento y la poca presencia de ramas.
Acarreo	El transporte de las trozas de diámetro pequeño se puede realizar por medio de la fuerza humana. Las trozas de 2,5 m de largo, de 25 cm de diámetro promedio (su densidad es de 930 kg/m ³ en condición en verde), poseen un peso aproximado de 114 kg. En tanto trozas de mayor tamaño debe realizarse con otros equipos o bien fuerza animal.
Apilado	Fácilmente ejecutable, debido a la excelente forma de las trozas. No obstante, puede que ocurra deslizamiento entre ellas, pues el fuste posee corteza lisa.
Durabilidad de trozas	Después de tres meses, las trozas dejadas dentro de la plantación o en sitios de acopio son atacadas por insectos de tipo Lycitis sp. El daño es fácilmente apreciable por la presencia de un polvo blanco cerca de las trozas y/o saliendo de la corteza.



Eliminación de los "aletones" para mejorar la forma de la troza



Inicio del troceo del árbol



Transporte con fuerza humanoacopio

Fotografías | Róger Moya

3. Descripción general y macroscópica de la madera

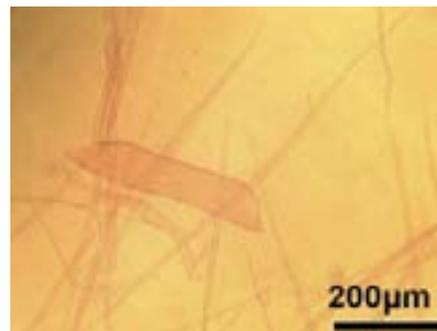
Descripción	Detalle
General	<i>Diferenciación entre albura y duramen:</i> no se evidencia en árboles de plantaciones. <i>Color:</i> en la condición seca, el duramen de color oliva (2.5Y 3/2) y la albura de color amarillo (5Y 8/6). <i>Veteado:</i> definido por los anillos de crecimiento. <i>Textura:</i> media a fina. <i>Olor:</i> característico. <i>Sabor:</i> imperceptible. <i>Brillo:</i> medio. <i>Tipo de grano:</i> inclinado. <i>Anillos de crecimiento:</i> marcados por bandas marginales de parénquima. <i>Densidad:</i> en condición seca al aire es de 0,87 g/cm ³ , por lo que se considera como madera pesada.
Macroscópica	<i>Vasos:</i> visibles simple vista, de tamaño medio, solitarios y múltiples de dos células en sentido radial, abundantes, porosidad difusa y sustancias ausentes. <i>Parénquima axial:</i> visible con aumento de 10X, de tipo paratraqueal vasicéntrico, aliforme, aliforme-confluente, confluyente. Bandas aparentemente marginales. <i>Parénquima radial:</i> ligeramente visible a aumento, radios finos, un solo tamaño, abundantes y no estratificado. <i>Otras estructuras:</i> ausentes



Corte tangencial longitudinal



Corte transversal macroscópico

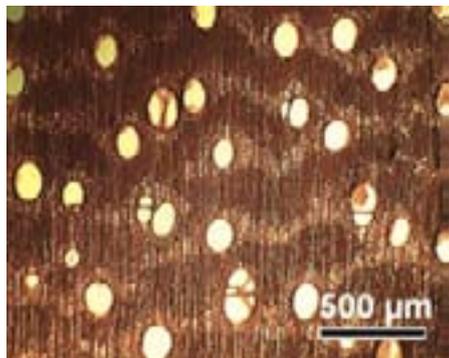


Fibra, parénquima y vaso en material macerado

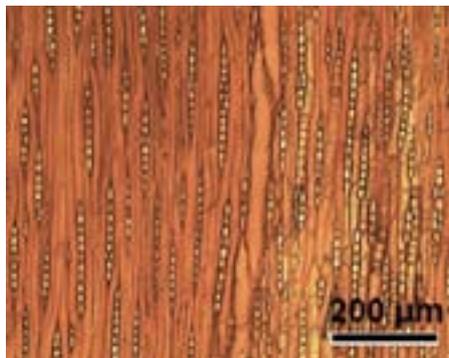
Fotografías | Carlos Olivares

4. Descripción microscópica de la madera

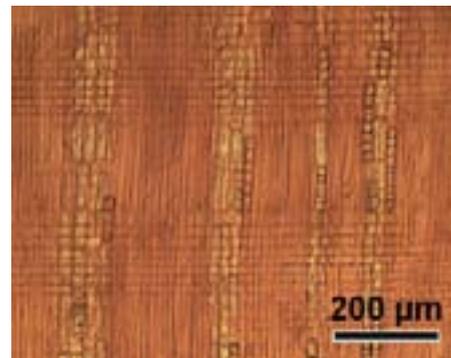
Descripción microscópica	Detalle
Vasos/poros	<p><i>Porosidad:</i> difusa. <i>Distribución:</i> sin patrón definido. <i>Agrupamiento:</i> presencia de poros solitarios, en promedio 84,6% (74,2 – 100) y de poros múltiples, con promedio 15,38% (0 – 25,81), de 2 a 3 células en sentido radial y otros de tipo agregados. <i>Frecuencia:</i> pocos vasos, con un promedio de 7,7 poros/mm² (5,8 – 9,0). <i>Longitud:</i> vasos pequeños, con promedio de 254,93 μm (157,03 – 366,7). <i>Diámetro:</i> poros de diámetro mediano, con promedio 119,94 μm (56,56 – 157,49). <i>Engrosamiento helicoidal de las paredes:</i> ausentes. <i>Apéndices:</i> de tamaño medio, en ambos extremos. <i>Platinas de perforación:</i> simples. <i>Gomas:</i> ausentes. <i>Tíldes:</i> ausentes. <i>Presencia de cristales:</i> no se observa. <i>Punteaduras:</i> simples, alternas de tipo poligonal y con ornamentaciones. Puntuaciones miniatura, con promedio 0,77 μm (0,65 - 1), muy abundantes y con presencia de ornamentaciones. <i>Punteaduras radio-vasculares:</i> similares a las ínter-vascular de forma y tamaño a través del radio y con ornamentaciones.</p>
Fibras	<p><i>Forma:</i> fusiformes. <i>Septos:</i> ausentes. <i>Punteaduras:</i> diminutas, de simples a aeroladas. <i>Dimensiones:</i> fibras largas con un promedio de 0,96 mm (0,65 – 1,28), diámetro de 15,91 μm (10,8 – 21,6), lumen de 10,67 μm (4,81 – 14,7) y fibra con espesor de pared medio, con promedio de 2,61 μm (1,62 – 4,04). <i>Presencia de cristales:</i> ausentes. <i>Estratificación:</i> ausente.</p>
Parénquima radial	<p><i>Tipo:</i> uniseriados. <i>Dimensiones:</i> de 9,52 (4 - 17) células en altura, altura promedio de 182,36 μm (85,17 – 324,08) o de 13,43 μm (6,78 – 25,06) en ancho. <i>Frecuencia:</i> mediana presencia radios, con promedio de 14 radios/mm (10 – 18,75). <i>Tipo de células:</i> homocelulares, de células procumbentes. <i>Presencia de cristales:</i> cuerpos de sílice.</p>
Parénquima axial	<p><i>Tipo:</i> paratraqueal vasicéntrico, aliforme, aliforme-confluente y de tipo confluente. <i>Bandas aparentemente marginales.</i> <i>Tipo de células:</i> fusiformes de 3-8 por filamento. <i>Estratificación:</i> ausente. <i>Presencia de cristales:</i> cristales no en cámaras y cuerpos de sílice.</p>



Corte transversal



Corte tangencial-longitudinal



Corte radial-longitudinal

5. Propiedades físicas de la madera

Propiedad Física	Básica	Seca	Anhidra
Densidad (g/cm ³)	0,93 (0,10 / 10,52)	0,65 (0,08 / 12,76)	0,61 (0,08 / 13,03)
Peso específico*	0,55 (0,07 / 12,03)	0,58 (0,07 / 12,72)	0,61 (0,08 / 13,03)

*Clasificación de la madera de esta especie: pesada

Propiedad Física	Condición verde	Condición seca
Contenido de humedad inicial (%)	71,12 (10,96 / 15,41)	-
Capacidad calórica (KJ/kg)	12270 (2506 / 20,42)	14403 (2184 / 15,16)

Propiedad Física	Normal (Verde-12%)	Total (Verde-0%)	Clasificación
Contracción radial (%)	1,51 (0,32 / 18,24)	2,78 (0,40 / 14,26)	baja
Contracción tangencial (%)	2,95 (0,54 / 18,24)	4,87 (0,77 / 15,78)	baja
Contracción volumétrica (%)	5,84 (0,77 / 13,28)	9,47 (0,85 / 9,02)	mediana
Razón contracción T/R	1,98 (0,35 / 17,74)	1,77 (0,29 / 16,3)	alta

Notas:

Condición verde sobre el punto de saturación de fibras.

La condición seca al 12% de contenido de humedad.

Números entre paréntesis desviación estándar y coeficiente de variación.

Razón de contracción T/R: relación contracción tangencial / contracción radial.

Clasificación de peso específico según Hess y Wangard, 1950.

Clasificación de contracción según Barcenas (1985).

6. Propiedades mecánicas de la madera

Propiedad mecánica		Condición humedad	
		Verde	Seca
Esfuerzo máximo compresión paralela a la fibra (kg/cm ²)		219 (36,5 / 16,7)	375 (31,2 / 8,4)
Esfuerzo máximo compresión perpendicular a la fibra (kg/cm ²)		195 (29,2 / 14,9)	353 (41,6 / 11,6)
Esfuerzo máximo tensión paralela a la fibra (kg/cm ²)		635 (177,3 / 27,9)	651 (185,8 / 28,5)
Flexión estática (1 carga) (kg/cm ²)	MOR	463 (82,4 / 17,8)	723 (73,3 / 8,6)
	MOE*1000	68 (14,8 / 21,6)	81 (11,1 / 13,7)
Esfuerzo máximo cortante paralelo a la fibra (kg/cm ²)	tangencial	62,4 (11,3 / 18,2)	84 (7,6 / 9,1)
	radial	57 (6,4 / 11,3)	76 (6,0 / 7,9)
Esfuerzo máximo tensión perpendicular a la fibra (kg/cm ²)	tangencial	36 (7,7 / 21,6)	27 (5,9 / 22,2)
	radial	34,3 (4,4 / 12,9)	28 (6,9 / 24,25)
Esfuerzo máximo clivaje (kg/cm ²)	tangencial	6,9 (1,8 / 25,1)	6,9 (1,80 / 25,9)
	radial	7,3 (1,2 / 16,9)	7,3 (1,4 / 16,9)
Dureza janka (kg)	axial	212 (47,5 / 22,0)	280 (60,0 / 21,5)
	lateral	252 (62,0 / 24,6)	338 (43,6 / 12,9)
Extracción de clavos (kg)	axial	61 (11,5 / 18,9)	48 (10,6 / 22,3)
	lateral	49 (12,3 / 25,3)	39 (8,2 / 20,9)

Notas:

Condición verde sobre el punto de saturación de fibras.

Condición seca: valores ajustados al 12% CH.

MOR: módulo de ruptura, MOE: módulo de elasticidad

Entre paréntesis: desviación estándar y coeficiente de variación (%).

n = 18 muestras ensayadas por cada propiedad mecánica

7. Propiedades químicas de la madera

Propiedad química	Composición	
Composición global	Holocelulosa (%)	69,04 (2,53 / 3,67)
	Lignina (%)	39,14 (2,17 / 5,67)
	Cenizas (%)	1,84 (0,07 / 4,07)
	Sílice (ppm)	13,33 (13,89 / 100,00)
Análisis químico elemental en cenizas	Nitrógeno (%)	0,34 (0,02 / 0,04)
	Fósforo (%)	0,02 (0,00 / 0,16)
	Calcio (%)	0,95 (0,09 / 0,10)
	Magnesio (%)	0,03 (0,01 / 0,17)
	Potasio (%)	0,22 (0,02 / 0,09)
	Azufre (%)	0,03 (0,00 / 0,09)
	Hierro (mg/kg)	18,76 (11,81 / 0,63)
	Cobre (mg/kg)	2,23 (0,38 / 0,17)
	Zinc (mg/kg)	1,83 (0,90 / 0,49)
	Manganeso (mg/kg)	3,21 (0,26 / 0,08)
Boro (mg/kg)	3,95 (0,84 / 0,21)	
Extractivos solubles en	NaOH (al 1%) (%)	19,02 (2,81 / 14,78)
	H ₂ O caliente (%)	11,21 (2,82 / 25,13)
	H ₂ O fría (%)	5,32 (1,07 / 20,11)
	Diclorometano (%)	1,05 (0,38 / 36,26)
	Tolueno-alcohol (%)	2,87 (0,81 / 28,24)
Otras propiedades	pH	4,13 (0,27 / 6,42)

Notas:

Números entre paréntesis representan la desviación estándar y el coeficiente de variación (%).

n = 9 repeticiones por propiedad química.

8. Desempeño y calidad de aserrío

Aserrío	Descripción												
Desempeño en aserrío	<p>Las trozas de diámetro pequeño presentan en general un buen comportamiento; no obstante en algunas trozas se presentan tensiones de crecimiento que producen madera aserrada con pandeos o torceduras. También es frecuente encontrar alrededor de los dientes de las herramientas de corte un embotamiento producto de una mezcla entre el aserrín y algún tipo de resina presente en la madera en condición verde.</p>												
Calidad de la madera	<p>En el proceso de aserrío de trozas provenientes de plantaciones forestales se producen algunos problemas relacionados con las torceduras y rajaduras de las tablas, debido a la presencia de tensiones de crecimiento y a la presencia de médula. Posterior al proceso de aserrío, se encontró que las grietas estuvieron presente en el 16% de las tablas (longitud media de 4,2 cm), las rajaduras estuvieron presente en el 33% de las piezas (longitud media de 5,8 cm), el acanalado no fue encontrado en madera de 7,5 cm de ancho, las arqueduras se presentaron en el 74% de las tablas (con 10 mm de flecha), la encorvadura en el 41% de las tablas (en promedio 3,3 mm de flecha) y problemas de aladeo en el 73% (promedio de 4,27 mm).</p>												
Rendimiento de la madera	<p>El rendimiento puede ser superior a 50% cuando son aserradas a lo ancho de la troza. Sin embargo, en el momento de llevar esta madera al mercado puede limitar su comercialización por el alto porcentaje de tablas con encorvadura y aladeos producto de las tensiones. La siguiente tabla muestra los rendimientos del surá, de acuerdo con diferentes diámetros de trozas:</p> <table border="1" data-bbox="657 991 1198 1271"> <thead> <tr> <th>Diámetro (cm)</th> <th>Rendimiento (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>15-20</td> <td>25-35</td> </tr> <tr> <td>20-25</td> <td>30-40</td> </tr> <tr> <td>25-30</td> <td>40-50</td> </tr> <tr> <td>30-35</td> <td>45-55</td> </tr> <tr> <td>Mayor a 35 cm</td> <td>50-65</td> </tr> </tbody> </table>	Diámetro (cm)	Rendimiento (%)	15-20	25-35	20-25	30-40	25-30	40-50	30-35	45-55	Mayor a 35 cm	50-65
Diámetro (cm)	Rendimiento (%)												
15-20	25-35												
20-25	30-40												
25-30	40-50												
30-35	45-55												
Mayor a 35 cm	50-65												



Proceso de aserrío con aserradero portátil de banda



Proceso de reaserrío en plantas estacionarias



Madera aserrada, mostrando los nudos y la presencia de la médula

9. Secado al aire de la madera

Parámetro	Descripción																												
Clasificación	El surá proveniente de plantaciones jóvenes es considerado de rápido secado, los espesores menor a 7,5 cm se tienen tiempos de secado inferior a 75 días.																												
Tiempo de secado	<p>La madera de surá presenta una razón de secado que oscila entre 0,78 a 2,27 %/ día y tiempos para alcanzar el 20% de contenido de humedad entre 20 y 75 días para los diferentes espesores. La siguiente tabla muestra los diferentes parámetros de secado al aire para madera de surá de diferentes espesores.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Espesor (cm)</th> <th>Chi* (%)</th> <th>Número de días**</th> <th>Razón de secado (%/día)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1,2</td> <td>45,48</td> <td>20</td> <td>2,27</td> </tr> <tr> <td>2,5</td> <td>48,99</td> <td>35</td> <td>1,40</td> </tr> <tr> <td>3,8</td> <td>61,83</td> <td>50</td> <td>1,24</td> </tr> <tr> <td>5,0</td> <td>51,49</td> <td>65</td> <td>0,79</td> </tr> <tr> <td>6,2</td> <td>52,91</td> <td>70</td> <td>0,76</td> </tr> <tr> <td>7,5</td> <td>58,78</td> <td>75</td> <td>0,78</td> </tr> </tbody> </table> <p>*Contenido de humedad inicial (Chi) **Número de días para alcanzar 20% de CH Sitio del ensayo: Cartago</p>	Espesor (cm)	Chi* (%)	Número de días**	Razón de secado (%/día)	1,2	45,48	20	2,27	2,5	48,99	35	1,40	3,8	61,83	50	1,24	5,0	51,49	65	0,79	6,2	52,91	70	0,76	7,5	58,78	75	0,78
Espesor (cm)	Chi* (%)	Número de días**	Razón de secado (%/día)																										
1,2	45,48	20	2,27																										
2,5	48,99	35	1,40																										
3,8	61,83	50	1,24																										
5,0	51,49	65	0,79																										
6,2	52,91	70	0,76																										
7,5	58,78	75	0,78																										
Calidad del secado	<p><i>Grieta y rajaduras:</i> en general se presentan pocas grietas y rajaduras, siendo susceptible de producir rajaduras en regiones próximas a la médula y en regiones alrededor de los nudos o en los extremos de las tablas: Los defectos de arqueadura, acanalado, encorvadura o aladeo aumentan ligeramente al secar al aire, sin embargo son de poca magnitud.</p> <p><i>Colapso:</i> no se presenta</p>																												



Pila de secado al aire, combinación de madera de surá y caoba



Rajaduras longitudinales por cabeza luego del secado (asociada con presencia de médula)



Grietas luego del secado (asociado con presencia de nudos)

Fotografías | Róger Moya

10. Secado al horno de la madera

Clasificación	Descripción	Programa de secado recomendado			
Clasificación	Es considerada de moderado a lento secado y con problemas de rajaduras, grietas, torceduras y pandeos.				
Tiempo de secado	Madera de 2,54 cm de espesor, con un contenido de humedad inicial de 53%, presenta un tiempo de secado de 303 horas para llegar al 8% de CH, lo que significa una velocidad de secado de 0,14%/hora, incrementando y disminuyendo este tiempo con el aumento o decrecimiento del espesor de la madera, respectivamente.	Etapa	T (°C)	CHE (%)	HR (%)
		Calefacción	39	-	-
			40	17,6	-
		Secado	43	17,6	50
			43	16,3	45
			43	16,3	40
			43	13,6	30
			49	9,9	25
			54	5,7	20
			60	2,9	15
71	3,4	12			
Igualación	71	3,4	12		
Acondicionamiento	70	5,0	-		
Enfriamiento	30	5,0	-		
Calidad del secado	Las rajaduras o grietas ocurren alrededor del 20% de las piezas luego del secado; sin embargo, estas no alcanzan longitudes superiores a 2 cm. La arqueadura por el secado no aumenta ni disminuye o aparece en nuevas tablas. El defecto de alabeo incrementa ligeramente por el secado en las piezas que presentan este defecto antes del secado. La encorvadura y acanalado se incrementa en la madera seca.	T: Temperatura (°C) CHE: Contenido de Humedad en Equilibrio (%) HR: Humedad Relativa (%) Fuente: Programa T3-C2 de Sydney et al. 1988			



Madera antes del proceso de secado convencional



Rajaduras longitudinales luego del secado



Arqueadura en madera aserrada luego del secado

11. Preservación de la madera

Preservación	Descripción
Tratamiento de difusión	En madera preservada sin presión (inmersión-difusión con sales de boro), aunque es posible, presenta el inconveniente que no ocurre una penetración total dentro de la madera. Solamente se logra 10 mm de penetración a cualquier espesor en aproximadamente en 15 días, después de ese periodo no se logra mayor penetración. Además, al almacenar la madera para permitir la difusión del preservante, se producen hongos de color blanco en la superficie de la madera, por lo que se debe agregar un anti-manchas para evitar la formación de estos hongos.
Tratamiento a presión	Con el tratamiento a presión, se logra una penetración nula tanto en albura como en duramen. Se clasifica como una madera difícil de preservar. La absorción del preservante es de 214,6 litros/m ³ y la retención es de 4,3 kg/m ³ . La madera preservada con el método vacío-presión (preservante Wolmanit CX-10®), que se clasifica como Clase 3, se recomienda para uso cubierto bajo techo y temporalmente humedecida



Penetración de sales de boro con 50 días de almacenamiento (el color rojo indica la penetración del preservante).



Desarrollo de hongos al mantener la madera almacenada con plástico en el proceso de difusión de sales de boro.

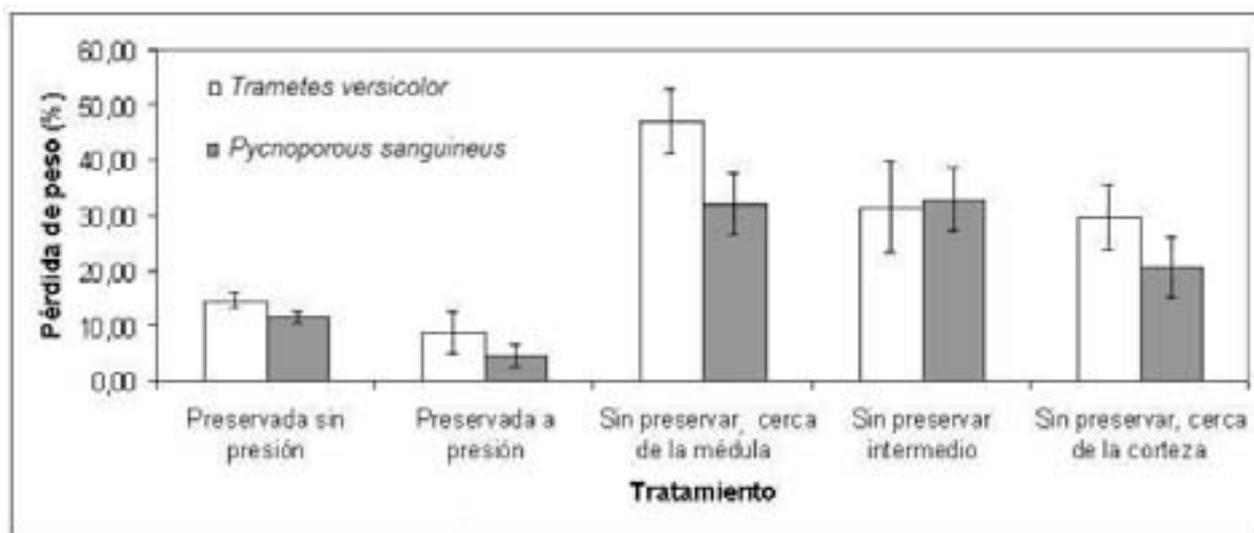


Poste preservado a presión. No muestra la penetración del preservante.

Fotografías | Róger Moya y Alexander Berrocal

12. Durabilidad de la madera

Tipo de ataque	Descripción
Hongos	Según ensayos de durabilidad natural, realizados bajo la norma ASTM D 2017-84 (1994) y utilizando los hongos <i>Trametes versicolor</i> y <i>Pycnoporus sanguineus</i> (estándares internacionales para este tipo de ensayo), la madera de surá preservada con boro sin presión, se clasifica como resistente a este ataque. La madera preservada a presión se clasifica como altamente resistente al ataque de ambos hongos. La madera sin preservar cercana a la médula se clasifica como no resistente al ataque de <i>T. versicolor</i> y moderadamente resistente al ataque de <i>P. sanguineus</i> . Finalmente, la madera obtenida de la sección intermedia y cercana a la corteza, se clasifica como moderadamente resistente al ataque de ambos hongos.
Insectos	Especie resistente al ataque de termitas de madera seca y húmeda, coleópteros barrenadores de la madera (anóbidos, escolítidos y cerambícidos) y organismos xilófagos marinos, altamente susceptible al deterioro por ictidos principalmente en madera elaborada y seca. Al preservar la madera, se logra incrementar su resistencia al ataque de estos agentes de biodeterioro.



La figura muestra la pérdida de peso (%) de *Terminalia oblonga* por ataque de los hongos, en madera preservada (con dos métodos) y madera sin preservar, proveniente de tres posiciones distintas dentro del árbol. Se puede observar que la madera sin preservar presenta pérdidas de peso de hasta un 47%, la preservada con boro sin presión tiene pérdidas de peso de un 14% y la preservada a presión solamente pierde un 9%.

13. Trabajabilidad de la madera

Operación	Descripción
Cepillado	<p><i>Clasificación:</i> excelente, con ángulo de ataque en cuchillas de 30° y velocidad de alimentación de 6 m/min se logra una superficie libre de daño en un 95%, si se aumenta la velocidad de alimentación la calidad de la superficie libre de daño baja a un 85%. La utilización de ángulo de ataque de 15° disminuye la calidad de la superficie a 80% con velocidad de alimentación de 6 m/min, y a 70% con velocidades de 20 m/min.</p> <p><i>Presencia de defectos:</i> con velocidad de alimentación de 20 m/min y ángulo de ataque de 30° se presenta grano arrancado de moderado a severo. Lo mismo sucede con el ángulo de 15° a velocidades de 20 m/min y 6 m/min.</p> <p><i>Recomendación:</i> se recomienda utilizar ángulo de ataque de 30° y velocidades bajas cercanas a los 6 m/min. No se recomienda utilizar ángulos de ataque de 15°.</p>
Lijado	<p><i>Clasificación:</i> es muy fácil de lijar, hay un embotamiento normal de la lija pero el desgaste de la superficie es alto y rápido. La superficie que se lija tiende a calentarse con rapidez.</p> <p><i>Presencia de defectos:</i> ninguno.</p> <p><i>Recomendación:</i> preferiblemente empezar a lijar con # 60 para eliminar los defectos del cepillado y finalmente la lija de grano superior a 100 para lograr superficies buena calidad, hay que considerar el desgaste rápido de las mismas.</p>
Taladrado	<p><i>Clasificación:</i> con la broca para metal, la velocidad con que se obtiene el orificio es alta y la calidad de la superficie taladrada es muy buena. Con la broca para madera, se logran orificios de excelente calidad, pero la penetración de la broca es lenta.</p> <p><i>Defectos:</i> con broca para madera, en algunas piezas la superficie taladrada se quema. Con broca para metal se presenta el grano arrancado.</p> <p><i>Recomendación:</i> es preferible utilizar la broca para madera en vez de la broca para metal. Para aumentar la eficiencia en la penetración del taladro se recomiendan revoluciones sobre 1000 rpm.</p>



Superficie libre de daños obtenida después del cepillado



Calidad de lijado excelente para esta especie



Orificios taladrados de excelente calidad obtenidos con broca para madera

Fotografías | Cynthia Salas

Continúa en la siguiente página ►

13. Trabajabilidad de la madera

Operación	Descripción
Torneado	<p><i>Clasificación:</i> resulta de excelente calidad cuando se introduce la gubia de forma horizontal; pero al inclinar la gubia, el corte pierde calidad hasta en un 50%.</p> <p><i>Presencia de defectos:</i> se visualiza grano arrancado cuando la gubia se introduce inclinada; además en algunos cortes la superficie torneada se quema, y presenta el grano arrancado en los bordes del corte.</p> <p><i>Recomendación:</i> resulta de regular calidad en esta madera. De realizarse, debe prestarse atención al filo de las gubias.</p>
Moldurado	<p><i>Clasificación:</i> la calidad del moldurado que se obtiene en la madera de esta especie es de muy buena a excelente.</p> <p><i>Presencia de defectos:</i> presenta vellosidad leve y escasa.</p> <p><i>Recomendación:</i> esta especie es apta para este tipo de trabajo.</p>
Escopleado	<p><i>Clasificación:</i> la calidad del escopleado es muy buena.</p> <p><i>Presencia de defectos:</i> se presenta grano vellosos y en algunas veces grano arrancado, pero en general muy escaso.</p> <p><i>Recomendación:</i> apta para este tipo de trabajo en todos los cortes.</p>



Superficies obtenidas torneadas con gubia ingresando en forma inclinada



Superficie moldurada de muy buena calidad en surá



Orificio escopleado con presencia de vellos en la superficie

Fotografías | Cynthia Salas

Cebo

Nombre científico
***Vochysia guatemalensis* Donn Sm.**

Familia
Vochysiaceae



Róger Moya Roque
Cynthia Salas Garita
Laura Leandro Zuñiga

Referencia bibliográfica de la Ficha Técnica nº 10

Moya Roque, R; Salas Garita, C; Leandro Zuñiga, L. 2010. Cebo: *Vochysia guatemalensis* Donn Sm. Vochysiaceae. Ficha técnica 10. In Tecnología de madera de plantaciones forestales: Fichas técnicas. Moya R., [et al]. (en línea). Revista Forestal Mesoamericana Kurú 7(18-19):162-176. (Editorial Corporación Garro y Moya, (ISBN: 978-9968-9643-3-3). Disponible en www.tec.ac.cr/revistaforestal

1. Aprovechamiento de plantaciones

Característica	Descripción
Facilidad de corte y volteo	Es de fácil corte, debido a que la madera es suave. No obstante, la copa muy desarrollada afecta la caída del árbol.
Caída natural y dirección de caída	Por lo general, los árboles poseen fustes rectos, con copa muy simétrica y desarrollada, lo cual dificulta encontrar la caída natural en sitios planos; no así en sitios con inclinación, donde la caída natural es fácil de apreciar. Esta misma condición de árbol recto y de buena forma permite dirigir su caída o dar un cambio en la misma, con el fin de evitar la caída en zonas inapropiadas.
Desafilado de sierras	No se produce desafilado excesivo de las herramientas de corte, de hecho el filo se mantiene por mucho tiempo debido a que es una madera de muy baja densidad. No se aprecia problemas relacionados con la presencia de sustancias que se adhieran en los dientes o cuerpos de las sierras.
Susceptibilidad a quebrantaduras	No se presentan problemas de quebrantaduras durante el aprovechamiento.
Fisonomía del fuste	A excepción de la primera troza, que presenta una forma irregular por su conicidad en la base del árbol, el resto de árbol produce trozas rectas y forma muy cilíndricas.
Trozas por árbol	Por su buena forma, es posible extraer entre 3 y 6 trozas por árbol, dependiendo de su edad. En el caso específico de un segundo raleo a los 8 años, se obtuvo un promedio de 4 trozas/árbol.
Frecuencia de ramas y operación de desrame	La parte baja del árbol presenta pocas ramas, no así en la parte superior, donde la cantidad de ramas puede variar de 3-6 ramas/metro lineal y diámetros que pueden ser superiores a los 2 cm. La operación de desrame no es tan rápida como en otras especies, ya que las ramas son abundantes y presentan mucha área foliar, que dificulta el movimiento del fuste para eliminar las ramas.



Plantación de 8 años de edad en la región Atlántica



Fisonomía de un árbol mostrando su abundante copa



Aplicación de corte tipo abierto en el aprovechamiento de árboles de 8 años

2. Troceo, transporte y durabilidad de las trozas

Característica	Descripción
Troceo	Es una operación de fácil ejecución. Sin embargo, en árboles gruesos se requieren ganchos u otros aditamentos de aprovechamiento para movilizar las trozas, debido al elevado peso.
Acarreo	Trozas de 2,5 m de largo con 20 cm de diámetro (su densidad en condición en verde de 900 kg/m ³), poseen un peso aproximado de 70 kg. El acarreo de trozas al patio de acopio, con dimensiones menores a las señaladas, se puede realizar por medio de la fuerza humana; para diámetros mayores es necesario utilizar otros equipos o bien fuerza animal.
Apilado	La operación puede ser sencilla de realizar en trozas delgadas, pues estas se acomodan fácilmente debido a su excelente forma. No obstante, en trozas gruesas y/o de la parte inferior de los árboles, la operación se dificulta por la elevada conicidad y peso de la troza.
Durabilidad de trozas	Las trozas dejadas dentro de la plantación o en sitios de acopio son de muy poca durabilidad, inferior a los dos meses. Las trozas son rápidamente atacadas por hongos e insectos en las caras, seguido por la aparición de manchas y ataques de <i>Lycitis</i> sp, u otro tipo de insectos, en la corteza.



Saneo de la base de un árbol durante el troceo



Transporte interno en la plantación con tractor agrícola y cargado manual



Trozas apiladas listas para ser transportadas

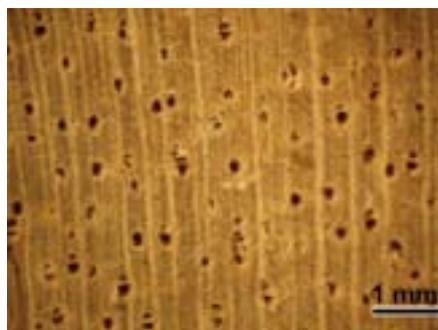
Fotografías | Róger Moya

3. Descripción general y macroscópica de la madera

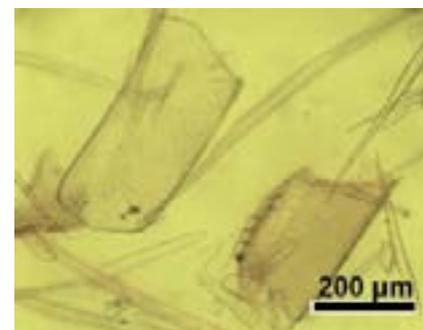
Descripción	Detalle
General	<i>Diferenciación entre albura y duramen:</i> presente, con poca marcación. <i>Color:</i> duramen de color café muy pálido (7.5YR 8/2) y la albura de color blanco (2.5Y 8/2). <i>Veteado:</i> presenta líneas verticales oscuras que contrastan con el color café pálido de la madera. <i>Textura:</i> gruesa. <i>Olor:</i> imperceptible. <i>Sabor:</i> imperceptible. <i>Brillo:</i> opaca. <i>Tipo de grano:</i> ondulado e inclinado. <i>Anillos de crecimiento:</i> no existe marcación de anillos de crecimiento. <i>Densidad:</i> en condición seca al aire es de 0,37 g/cm ³ considerado como madera liviana.
Macroscópica	<i>Vasos:</i> visibles a simple vista, de tamaño grande, en su mayoría simples, con poros múltiples de 2 - 3 células y algunos pocos en agregados, abundancia mediana, porosidad semi-difusa, tendencia a formar una patrón radial y sin presencia de sustancias. <i>Parénquima axial:</i> ligeramente visible con aumento de 10X y de tipo paratraqueal vasicéntrico escaso en poca cantidad, aliforme de alas cortas, losangular y confluyente. <i>Parénquima radial:</i> visible con aumento de 10X, radios grandes, un solo tamaño, de mediana abundancia y estratificación ausente. <i>Otras estructuras visibles:</i> ausentes.



Corte tangencial longitudinal



Corte transversal macroscópico

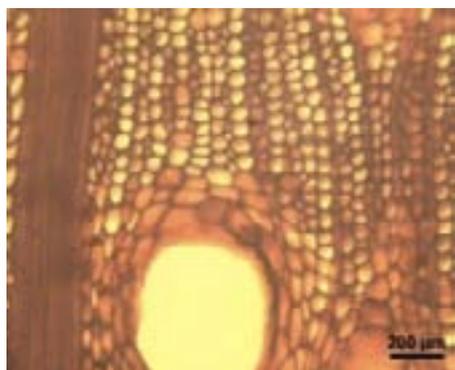


Fibra, parénquima y vaso en material macerado

Fotografías | Carlos Olivares

4. Descripción microscópica de la madera

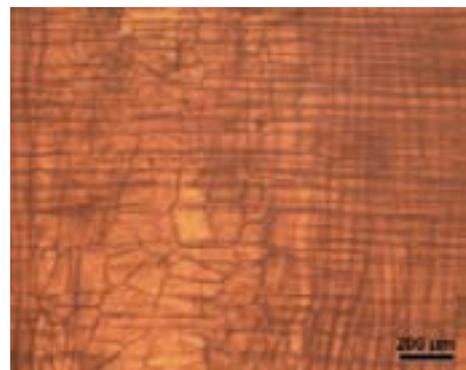
Descripción microscópica	Detalle
Vasos/poros	<p><i>Porosidad:</i> difusa. <i>Distribución:</i> tiende a formar un patrón radial. <i>Agrupamiento:</i> mediana presencia de poros solitarios, en promedio 75,58% (66,67–83,33) y pocos múltiples de 2 - 3 células en sentido radial. <i>Frecuencia:</i> pocos, promedio de 2,88 poros/mm² (2,34-3,51). <i>Longitud:</i> promedio de 339,18 μm (218,37 – 496,98). <i>Diámetro:</i> poros de regular tamaño, con promedio de 169,18 μm (92,35–219,64). Engrosamiento helicoidal de las paredes: ausentes. <i>Apéndices:</i> en ambos extremos y de corto tamaño. <i>Platinas de perforación:</i> simples. <i>Gomas:</i> no se observan. <i>Tíldes:</i> no se observan. <i>Presencia de cristales:</i> no se observan. <i>Punteaduras inter-vasculares:</i> poligonales, múltiples, alternas y abundantes. De diámetro pequeño, promedio de 3,04 μm (2,55 – 3,74) y con presencia de ornamentaciones. <i>Punteaduras radio-vasculares:</i> con borde muy reducido a aparentemente simple, puntuación redonda o angular, con ornamentaciones.</p>
Fibras	<p><i>Forma:</i> fusiformes. <i>Septos:</i> ausentes. <i>Punteaduras:</i> simples a diminutas, aeroladas. <i>Dimensiones:</i> largo promedio de 1,05 mm (0,75 – 1,30), con diámetro de fibra 24,68 μm (18,75-37,49), diámetro de lumen 17,31 μm (11,42-27,68) y con espesor de pared celular delgado de 4,1 μm (0,48-12,52). <i>Presencia de cristales:</i> ausentes. <i>Estratificación:</i> ausente.</p>
Parénquima radial	<p><i>Tipo:</i> multiseriados y no estratificados. <i>Dimensiones:</i> radios largos de 2-4 series y dos tamaños en altura, cada radio con altura promedio de 229,06 μm (110,05 – 402,86), de 81,54 μm (50,66 – 117,28) en ancho con 3 a 10 células de ancho. <i>Frecuencia:</i> poca frecuencia, promedio de 2,85 (1,44 – 3,37) radios/mm. <i>Tipo de células:</i> heterocelulares, con presencia de 4 filas de células erectas/cuadradas en la parte superior e inferior y procumbentes el cuerpo de radio. <i>Presencia de cristales:</i> ausentes.</p>
Parénquima axial	<p><i>Tipo:</i> paratraqueal vasicéntrico escaso, aliforme de alas cortas, losangular y confluyente. <i>Tipo de células:</i> fusiformes, de 3 a 6 células por filamento. <i>Estratificación:</i> ausente. <i>Presencia de cristales:</i> ausente.</p>
Otras estructuras	<p>Presencia de canales ubicados axialmente de forma difusa.</p>



Corte transversal



Corte tangencial-longitudinal



Corte radial-longitudinal

5. Propiedades físicas de la madera

Propiedad Física	Básica	Seca	Anhídrica
Densidad (g/cm ³)	0,88 (0,07 / 7,79)	0,44 (0,07 / 15,60)	0,36 (0,03 / 7,14)
Peso específico*	0,32 (0,02 / 7,28)	0,34 (0,02 / 6,88)	0,37 (0,03 / 7,74)

*Clasificación de la madera de esta especie: liviana

Propiedad Física	Condición verde	Condición seca
Contenido de humedad inicial (%)	177,99 (15,90 / 8,94)	-
Capacidad calórica (KJ/kg)	9109 (2207 / 22,07)	16591 (834 / 5,03)

Propiedad Física	Normal (Verde-12%)	Total (Verde-0%)	Clasificación
Contracción radial (%)	1,77 (0,48 / 26,90)	2,75 (0,44 / 16,10)	baja
Contracción tangencial (%)	5,01 (2,14 / 42,64)	7,38 (2,16 / 29,31)	alta
Contracción volumétrica (%)	8,15 (1,77/ 21,74)	12,70 (1,28 / 10,08)	alta
Razón contracción T/R	2,87 (0,95 / 33,16)	2,69 (0,58 / 21,51)	muy alta

Notas:

Condición verde sobre el punto de saturación de fibras.

Condición seca al 12% de contenido de humedad.

Números entre paréntesis: desviación estándar y coeficiente de variación.

Razón de contracción T/R: relación contracción tangencial / contracción radial.

Clasificación de peso específico según Hess y Wangard, 1950.

Clasificación de contracción según Barcenás (1985)

6. Propiedades mecánicas de la madera

Propiedad mecánica		Condición humedad	
		Verde	Seca
Esfuerzo máximo compresión paralela a la fibra (kg/cm ²)		145 (18,3 / 12,6)	213 (27,9 / 13,1)
Esfuerzo máximo compresión perpendicular a la fibra (kg/cm ²)		47 (7,3 / 15,7)	145 (22,9 / 15,8)
Esfuerzo máximo tensión paralela a la fibra (kg/cm ²)		339 (99,74 / 29,44)	394 (109,9 / 27,9)
Flexión estática (1 carga) (kg/cm ²)	MOR	306 (32,1 / 10,5)	404 (41,7 / 10,3)
	MOE*1000	55 (7,5 / 14,1)	64 (6,9 / 10,7)
Esfuerzo máximo cortante paralelo a la fibra (kg/cm ²)	tangencial	57 (12,3 / 21,6)	69 (10,5 / 15,2)
	radial	44 (8,2 / 18,6)	63 (10,4 / 16,4)
Esfuerzo máximo tensión perpendicular a la fibra (kg/cm ²)	tangencial	20 (5,0 / 25,5)	21 (6,2 / 29,3)
	radial	16,46 (3,5 / 21,5)	16 (3,9 / 24,2)
Esfuerzo máximo clivaje (kg/cm ²)	tangencial	6 (2,2 / 35,3)	8,1 (2,5 / 25,3)
	radial	5,9 (1,4 / 24,6)	6,9 (1,5 / 22,6)
Dureza janka (kg)	axial	122 (30,7 / 25,1)	184 (27,7 / 15,1)
	lateral	106 (36,4 / 34,19)	103 (35,2 / 34,2)
Extracción de clavos (kg)	axial	31 (6,7 / 21,5)	19 (5,5 / 28,8)
	lateral	25 (4,9 / 19,9)	20 (5,1 / 25,3)

Notas:

Condición verde sobre el punto de saturación de fibras.

Condición seca: valores ajustados al 12% CH.

MOR: módulo de ruptura, MOE: módulo de elasticidad

Entre paréntesis: desviación estándar y coeficiente de variación (%).

n = 18 muestras ensayadas por cada propiedad mecánica

7. Propiedades químicas de la madera

Propiedad química	Composición	
Composición global	Holocelulosa (%)	64,33 (3,67 / 5,71)
	Lignina (%)	48,39 (6,53 / 13,50)
	Cenizas (%)	3,57 (0,46 / 12,85)
	Sílice (ppm)	1,5 (1,05 / 69,92)
Análisis químico elemental en cenizas	Nitrógeno (%)	0,22 (0,02 / 0,07)
	Fósforo (%)	0,03 (0,01 / 0,33)
	Calcio (%)	0,05 (0,00 / 0,00)
	Magnesio (%)	0,14 (0,01 / 0,04)
	Potasio (%)	0,42 (0,13 / 0,31)
	Azufre (%)	0,02 (0,01 / 0,35)
	Hierro (mg/kg)	32,60 (1,53 / 0,05)
	Cobre (mg/kg)	8,33 (10,12 / 1,21)
	Zinc (mg/kg)	9,33 (6,66 / 0,71)
	Manganeso (mg/kg)	500,33 (238,55 / 0,48)
Boro (mg/kg)	5,66 (2,08 / 0,37)	
Extractivos solubles en	NaOH (al 1%) (%)	20,99 (3,97 / 18,93)
	H ₂ O caliente (%)	10,02 (1,68 / 16,76)
	H ₂ O fría (%)	11,49 (1,21 / 10,50)
	Diclorometano (%)	2,91 (1,29 / 44,30)
	Tolueno-alcohol (%)	2,84 (1,57 / 55,07)
Otras propiedades	pH	5,53 (0,18 / 3,22)

Notas:

Números entre paréntesis representan la desviación estándar y el coeficiente de variación (%).

n = 9 repeticiones por propiedad química.

8. Desempeño y calidad de aserrío

Aserrío	Descripción												
Desempeño en aserrío	Las trozas son de fácil aserrío y producen poco desafilado en las herramientas de corte. Como es de esperar en trozas provenientes de plantaciones de rápido crecimiento, se presentan problemas de torceduras en la madera aserrada, entre las que destacan pandeos, arqueaduras y rajaduras por presencia de la médula.												
Calidad de la madera	La madera aserrada proveniente de trozas de plantaciones forestales son susceptibles a producir torceduras y rajaduras de las tablas, debido a la presencia de tensiones de crecimiento y a la presencia de médula. Luego del proceso de aserrío, se encontró que las grietas estuvieron presente en el 11% de las tablas (longitud media de 4,9 cm), las rajaduras en el 19% de las piezas (longitud media de 9,2 cm), el acanalado no fue encontrado en madera de 7,5 a 10 cm de ancho, la arqueadura en el 81% de las tablas (con 9,3 mm de flecha), problemas de encorvadura en el 71% de las tablas (en promedio 8,7 mm de flecha) y ausencia del aladeo. En plantaciones sin un adecuado manejo, la calidad de la madera aserrada se ve disminuida por la presencia de la médula y de nudos.												
Rendimiento de la madera	<p>En trozas de árboles de plantación, en especial de aquellas con poco manejo, o en trozas con diámetros menores a 18 cm, el rendimiento puede alcanzar hasta el 20%. Este porcentaje aumenta al incrementar el diámetro de las trozas y puede llegar al 60%, en trozas con diámetros superiores a 35 cm.</p> <p>El siguiente cuadro muestra los rendimientos esperados para los diferentes rangos diamétricos:</p> <table border="1" data-bbox="657 991 1198 1271"> <thead> <tr> <th>Diámetro (cm)</th> <th>Rendimiento (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>15-20</td> <td>15-30</td> </tr> <tr> <td>20-25</td> <td>30-40</td> </tr> <tr> <td>25-30</td> <td>35-50</td> </tr> <tr> <td>30-35</td> <td>45-60</td> </tr> <tr> <td>Mayor a 35 cm</td> <td>50-65</td> </tr> </tbody> </table>	Diámetro (cm)	Rendimiento (%)	15-20	15-30	20-25	30-40	25-30	35-50	30-35	45-60	Mayor a 35 cm	50-65
Diámetro (cm)	Rendimiento (%)												
15-20	15-30												
20-25	30-40												
25-30	35-50												
30-35	45-60												
Mayor a 35 cm	50-65												



Proceso de aserrío con cinta de 900 mm de diámetro de volante



Aserrío con aserraderos portátiles en trozas con 30 a 40 cm de diámetro



Presencia de la médula en la madera aserrada

9. Secado al aire de la madera

Parámetro	Descripción																												
Clasificación	De acuerdo con la Norma COPAN (1972), la madera proveniente de plantaciones jóvenes puede considerarse como de rápido secado: espesores menores a 7,5 cm tienen tiempos de secado inferiores a los 100 días. Sin embargo, al comparar la madera de cebo con la de otras especies de plantación, se puede agrupar entre las de más lento secado, igual que la melina y la acacia.																												
Tiempo de secado	<p>Presenta una razón de secado que oscila entre 1,7 a 9,9% día-1 y tiempos para alcanzar el 20% de contenido de humedad entre 14 y 100 días para los diferentes espesores. La siguiente tabla muestra los diferentes parámetros de secado al aire para madera de cebo de diferentes espesores.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Espesor (cm)</th> <th>CHi* (%)</th> <th>Número de días**</th> <th>Razón de secado (%/día)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1,2</td> <td>139</td> <td>14</td> <td>9,9</td> </tr> <tr> <td>2,5</td> <td>112</td> <td>31</td> <td>3,6</td> </tr> <tr> <td>3,8</td> <td>122</td> <td>63</td> <td>1,9</td> </tr> <tr> <td>5,0</td> <td>127</td> <td>70</td> <td>1,8</td> </tr> <tr> <td>6,2</td> <td>154</td> <td>90</td> <td>1,7</td> </tr> <tr> <td>7,5</td> <td>168</td> <td>100</td> <td>1,7</td> </tr> </tbody> </table> <p>*Contenido de humedad inicial (Chi) **Número de días para alcanzar 20% de CH Sitio del ensayo: Cartago</p>	Espesor (cm)	CHi* (%)	Número de días**	Razón de secado (%/día)	1,2	139	14	9,9	2,5	112	31	3,6	3,8	122	63	1,9	5,0	127	70	1,8	6,2	154	90	1,7	7,5	168	100	1,7
Espesor (cm)	CHi* (%)	Número de días**	Razón de secado (%/día)																										
1,2	139	14	9,9																										
2,5	112	31	3,6																										
3,8	122	63	1,9																										
5,0	127	70	1,8																										
6,2	154	90	1,7																										
7,5	168	100	1,7																										
Calidad del secado	<p><i>Grieta y rajaduras:</i> en general se presentan pocas grietas y rajaduras, siendo susceptible de producir rajaduras en regiones próximas a la médula y en regiones alrededor de los nudos o en los extremos de las tablas: Los defectos de arqueadura, acanalado, encorvadura o aladeo aumentan ligeramente al secar al aire, sin embargo son de poca magnitud.</p> <p><i>Colapso:</i> no se presenta</p>																												



Pila de secado al aire (madera de cebo en combinación con madera de caoba)



Rajaduras longitudinales y por cabeza en madera seca



Hongos de manchas en madera seca al aire que no se cubrió apropiadamente durante el secado

10. Secado al horno de la madera

Clasificación	Descripción	Programa de secado recomendado			
Clasificación	Es considerada de moderado a lento secado y con problemas de rajaduras, grietas, torceduras y pandeos.				
Tiempo de secado	Madera de 2,54 cm de espesor, con un contenido de humedad inicial de 53%, presenta un tiempo de secado de 303 horas para llegar al 8% de CH, lo que significa una velocidad de secado de 0,14%/hora, incrementando y disminuyendo este tiempo con el aumento o decrecimiento del espesor de la madera, respectivamente.	Etapa	T (°C)	CHE (%)	HR (%)
		Calefacción	35	-	-
			37	14,8	-
		Secado	38	14,3	50
			38	11,9	45
			38	11,9	35
			44	7,6	30
			49	5,5	25
			55	4,0	20
			66	3,2	15
			66	3,2	12
Igualación	66	3,2	11		
Acondicionamiento	60	3,5	-		
Enfriamiento	30	3,5	-		
Calidad del secado	Las rajaduras o grietas ocurren alrededor del 20% de las piezas luego del secado; sin embargo, estas no alcanzan longitudes superiores a 2 cm. La arqueadura por el secado no aumenta ni disminuye o aparece en nuevas tablas. El defecto de alabeo incrementa ligeramente por el secado en las piezas que presentan este defecto antes del secado. La encorvadura y acanalado se incrementa en la madera seca.	T: Temperatura (°C) CHE: Contenido de Humedad en Equilibrio (%) HR: Humedad Relativa (%) Fuente: Programa T2-D4 de Sydney et al. 1988			



Madera apilada en secadora convencional



Acanalado en madera seca al horno



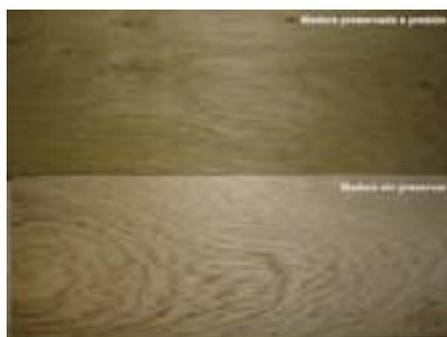
Presencia de rajaduras y grietas asociadas a nudos en madera seca

11. Preservación de la madera

Preservación	Descripción														
Tratamiento de difusión	<p>El método de inmersión-difusión con sales de boro es factible de aplicar a la madera de cebo y logra que la penetración en la sección transversal sea bastante rápida y eficiente. El siguiente cuadro muestra el tiempo de difusión necesario para que las sales de boro alcancen una penetración del 100%, para diferentes espesores de tabla.</p> <table border="1"><thead><tr><th>Espesor (cm)</th><th>Tiempo difusión (días)</th></tr></thead><tbody><tr><td>1,2</td><td>3</td></tr><tr><td>2,5</td><td>4</td></tr><tr><td>3,8</td><td>5</td></tr><tr><td>5,0</td><td>6</td></tr><tr><td>6,2</td><td>7</td></tr><tr><td>7,5</td><td>8</td></tr></tbody></table> <p>Debido a que esta especie es rápidamente atacada por hongos de mancha, es recomendable agregar un producto antimanchas a la solución del presentante de boro, para así evitar la formación de manchas durante el proceso de preservado.</p>	Espesor (cm)	Tiempo difusión (días)	1,2	3	2,5	4	3,8	5	5,0	6	6,2	7	7,5	8
Espesor (cm)	Tiempo difusión (días)														
1,2	3														
2,5	4														
3,8	5														
5,0	6														
6,2	7														
7,5	8														
Tratamiento a presión	<p>Con el tratamiento a presión, se logra una penetración total en la albura, aunque en el duramen se logra de forma irregular. La absorción del preservante en la madera es de 483,1 litros/m³ y la retención es de 9,7 kg/m³. La madera preservada con el método vacío-presión (preservante Wolmanit CX-10®), que se clasifica como riesgo Clase 4, se recomienda para uso en exterior, en contacto permanente con el suelo, con agua o si existe riesgo de ataque de termitas.</p>														



Poste preservado a presión (el color azul es indicador de la penetración del preservante)



Aspecto de la madera preservada con tratamiento de sales de cobre

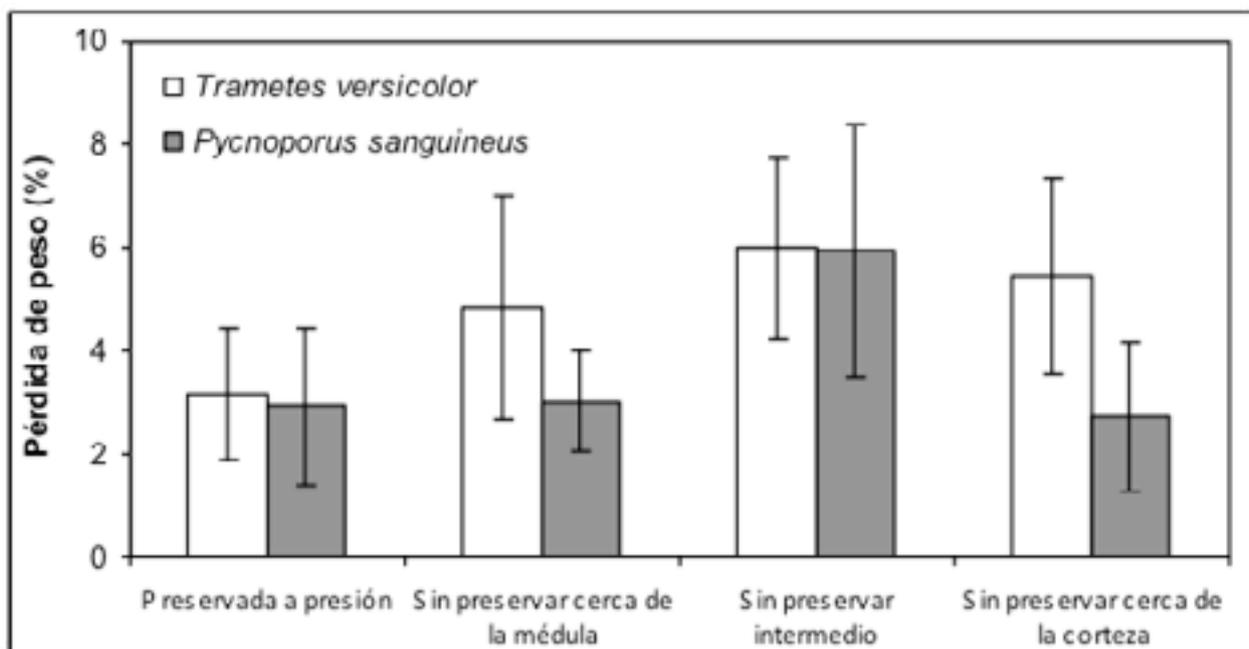


Penetración de las sales de boro con 5 días de almacenamiento (el color rojo indica la penetración del preservante)

Fotografías | Róger Moya

12. Durabilidad de la madera

Tipo de ataque	Descripción
Hongos	Según ensayos de durabilidad natural, realizados bajo la Norma ASTM D 2017-84 (1994) y utilizando los hongos <i>Trametes versicolor</i> y <i>Pycnoporus sanguineus</i> (estándares internacionales para este tipo de ensayo), la madera de cebo preservada a presión con sales de CCA, se clasifica como altamente resistente al ataque de ambos hongos. La madera sin preservar cercana a la médula, en la posición intermedia y cerca de la corteza, se clasificó también como altamente resistente; sin embargo con el hongo <i>T. versicolor</i> la madera presentó mayores pérdidas de peso que con <i>P. sanguineus</i> .
Insectos	El cebo es moderadamente resistente al ataque de termitas de madera seca y húmeda cuando se trata de madera de albura, pero la madera duramen es más resistente al ataque de este insecto. La madera de árboles adultos es más resistente al ataque de termitas, sin embargo es considerada de moderada resistencia. Para aumentar la resistencia al ataque de estos insectos es necesario preservar la madera con sales de CCA.



La pérdida de peso por ataque del hongo *T. versicolor*, en madera preservada fue de 3%, mientras que para la madera sin tratar cerca de la médula, en la zona intermedia y cerca a la corteza, las pérdidas de peso fueron de 5%, 6% y 5% respectivamente. Para el caso del hongo *P. sanguineus* la madera tratada con CCA tuvo una pérdida de peso del 3%, y de 3%, 6% y 3% para las posiciones cercana a la médula, intermedia y cerca de la corteza, siendo para esta especie la posición intermedia la que presentó mayores pérdidas de peso con los dos tipos de hongos.

13. Trabajabilidad de la madera

Operación	Descripción
Cepillado	<p><i>Clasificación:</i> de buena calidad al utilizar cuchillas con ángulo de ataque de 30° y velocidad de alimentación de 20 m/min, logrando una superficie libre de daño entre el 60% y el 80%. Si se utiliza cuchillas en 15° con velocidades altas y bajas, la superficie libre de daños disminuye a menos de un 50%.</p> <p><i>Presencia de defectos:</i> se presenta madera con vello moderado combinado con un arrancado leve que llegan a cubrir a veces casi el 40% de la superficie de la pieza. En menor cantidad, se presenta grano veloso leve y grano arrancado moderado.</p> <p><i>Recomendación:</i> si se requieren superficies libres de daño, lo más recomendable es utilizar la cuchilla con ángulo de ataque de 30° y velocidades de avance altas cercanas a los 20 m/min.</p>
Lijado	<p><i>Clasificación:</i> muy fácil de lijar, con embotamiento y desgaste normal de la lija. En el proceso de lijado, la superficie se calienta y alcanza temperaturas superiores a los 37 °C.</p> <p><i>Presencia de defectos:</i> no se presentan.</p> <p><i>Recomendación:</i> preferiblemente empezar con la lija #60, para eliminar los defectos del cepillado y finalizar con la lija #100, para lograr superficies más fina.</p>
Taladrado	<p><i>Clasificación:</i> con broca para metal se hacer los orificios rápidamente, pero la calidad de la superficie taladrada es regular. Con la broca para madera se logran orificios de buena calidad, pero la penetración de la broca es más lenta.</p> <p><i>Defectos:</i> con broca para metal la superficie de orificio pierde lisura y se presenta grano arrancado hasta en un 75% de la superficie.</p> <p><i>Recomendación:</i> para obtener orificios de calidad es preferible utilizar la broca de madera en vez de la broca de metal y para tener orificios de buena calidad es recomendable utilizar el equipo sobre las 1000 rpm.</p>



Superficie con grano arrancado moderado y con vellosidades



Superficie con excelente calidad de lijado



Orificios de buena calidad, taladrados con broca para madera

Fotografías | Cynthia Salas

Continúa en la siguiente página ►

13. Trabajabilidad de la madera

Operación	Descripción
Torneado	<p><i>Clasificación:</i> de regular a buena calidad cuando se introduce la gubia de forma horizontal; pero al inclinar la gubia, el corte pierde calidad hasta en un 50%.</p> <p><i>Presencia de defectos:</i> se visualiza grano arrancado leve cuando la gubia se introduce inclinada y la superficie torneada se quema producto del calentamiento de la misma. Cuando la gubia ingresa de forma horizontal, se presenta grano arrancado hasta en el 50% de la superficie</p> <p><i>Recomendación:</i> debe prestarse atención al filo de las gubias. La superficie torneada conlleva más tiempo en el proceso de lijado, de manera a obtener un acabado de mejor calidad.</p>
Moldurado	<p><i>Clasificación:</i> la calidad del moldurado que se obtiene en esta especie es de muy buena a excelente.</p> <p><i>Presencia de defectos:</i> presenta vellosidad leve y escasa.</p> <p><i>Recomendación:</i> esta especie es apta para este tipo de trabajo.</p>
Escopleado	<p><i>Clasificación:</i> la calidad del escopleado es muy buena.</p> <p><i>Presencia de defectos:</i> vellosidad leve</p> <p><i>Recomendación:</i> apta para este tipo de trabajo.</p>



Superficies torneadas con gubia ingresando en forma inclinada y horizontal



Superficie moldurada, de buena calidad



Orificio escopleado con presencia de vellos en la superficie

Fotografías | Cynthia Salas

Información comparativa de las 10 especies maderables evaluadas provenientes de plantación en Costa Rica



Róger Moya Roque

Referencia bibliográfica de la Ficha Técnica nº 11

Moya Roque, R. 2010. Información comparativa de las 10 especies maderables evaluadas provenientes de plantación en Costa Rica. Ficha técnica 11. In Tecnología de madera de plantaciones forestales: Fichas técnicas. R. Moya R., [et al]. (en línea). Revista Forestal Mesoamericana Kurú 7(18-19):177-201. Editorial Corporación Garro y Moya, (ISBN: 978-9968-9643-3-3). Disponible en www.tec.ac.cr/revistaforestal

Cuadro 6. Comparación de las características de aprovechamiento, troceo, transporte y durabilidad de trozas de 10 especies maderables estudiadas provenientes de plantaciones de Costa Rica.

Característica	<i>Acacia mangium</i>	<i>Alnus acuminata</i>	<i>Bombacopsis quinata</i>	<i>Cupressus lusitanica</i>	<i>Gmelina arborea</i>	<i>Swietenia macrophylla</i>	<i>Tectona grandis</i>	<i>Terminalia amazonia</i>	<i>Terminalia oblonga</i>	<i>Vochysia guatemalensis</i>
Facilidad de corte	Fácil	Fácil	Moderado	Moderado	Fácil	Moderado	Fácil	Moderado	Moderado	Fácil
Caída natural	Poco definida	Definida	Poco definida	Poco definida	Definida	Poco definida	Definida	Definida	Definida	Definida
Cambio de dirección de caída	Sin problema	Sin problema	Problema leve	Problema leve	Sin problema	Problema leve	Sin problema	Problema leve	Problema leve	Sin problema
Desafilado de sierras	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Moderado	Moderado	Moderado	Normal
Susceptibilidad a quebrantaduras	Propenso	Propenso	Sin problema	Sin Problema	Sin problema	Sin problema	Sin problema	Sin problema	Sin problema	Sin problema
Fisonomía del fuste	Irregular y cónico	Rectos	Irregular y cónico	Recto	Irregular y cónico	Irregular y cónico	Recto y cónico	Recto	Recto	Recto y cónico
Trozas por árbol	3-6	4-6	2-4	3-7	3-6	2-3	3-6	4-6	4-6	3-6
Frecuencia de ramas (ramas/metro)	2-5	3-4	2-4	5-12	2-3	5-10	3-4	2-4	3-5	3-6
Operación de desrame	Fácil y rápido	Fácil y rápido	Lento y difícil	Lento y difícil	Fácil y rápido	Fácil y rápido	Fácil y rápido	Fácil y rápido	Fácil y rápido	Fácil y rápido
Troceo	Fácil	Fácil	Moderado	Moderado	Fácil	Fácil	Fácil	Fácil	Fácil	Fácil
Acarreo en peso de troza de 20 cm de diámetro y 2, 5 m de largo (kg)	84	55	76	64	84	68	86	68	72	79
Apilado	Moderado	Fácil	Difícil	Moderado	Moderado	Fácil	Moderado	Fácil	Fácil	Moderado
Durabilidad de trozas en el campo en tiempo	Moderada	Baja	Baja	Alta	Alta	Alta	Alta	Baja	Baja	Baja

Características de aprovechamiento, troceo, transporte y durabilidad de las trozas en campo de las maderas de 10 especies de plantaciones de Costa Rica

- En general, las especies utilizadas en la reforestación comercial de Costa Rica son de fácil corte y presentan caída natural definida. Pero *Cupressus lusitanica* (por la alta cantidad de ramas), *Swietenia macrophylla* (por la presencia de una fisonomía irregular, específicamente de alta bifurcación), así como *Terminalia amazonia* y *Terminalia oblonga* (ambas con gambas muy desarrolladas), presentan moderada dificultad de corte. Las cuatro especies anteriormente señaladas, presentan moderados problemas al momento de definir la dirección de caída del árbol, o bien, al darle un cambio a la dirección de caída.
- *Tectona grandis* y las dos especies de *Terminalia*, presentan moderado desafilado de las sierras, lo cual exige el afilado constante de la sierra utilizada en la motosierra.

- Las quebraduras del fuste al momento de caer el árbol, puede que se presenten en *Alnus acuminata* y *Acacia mangium*.
- *Alnus acuminata*, *Cupressus lusitanica*, *Terminalia amazonia* y *Terminalia oblonga* se caracterizan por presentar un fuste bastante recto. En tanto que las otras especies presentan un fuste más irregular que las cuatro especies señaladas.
- Los árboles de *Swietenia macrophylla* se caracterizan porque se puede obtener una menor cantidad de trozas por árbol, en relación con el resto de las especies.
- *Bombacopsis quinata* y *Cupressus lusitanica*, presentan moderada dificultad durante las operaciones de desrame y troceo, esto porque se presenta una alta cantidad de agujones en el fuste y alta frecuencia de ramas. El resto de especies de reforestación presentan similar comportamiento durante el desrame y troceo del árbol.

- En caso de realizar un transporte o manejo de trozas utilizando la fuerza humana, resulta necesario considerar que las especies de *Acacia mangium*, *Gmelina arborea*, *Tectona grandis* y *Vochysia guatemalensis* presentan los pesos de trozas más altos; sobre 80 kg en una troza de 20 cm de diámetro y de 2,5 m de largo.

- *Acacia mangium*, *Gmelina arborea*, *Tectona grandis* y *Vochysia guatemalensis*, junto a *Bombacopsis quinata*, presentarán moderada dificultad de manipuleo durante el apilado. Esto debido a que tal y como se mencionó anteriormente, son de mayor peso, a excepción de *B. quinata* que presenta agujones en el fuste.

- En caso de realizar el corte de los árboles, o bien dejar las trozas en los patios de acopio en el aprovechamiento, las especies como *Terminalia amazonia*, *Terminalia oblonga* y *Vochysia guatemalensis* serán las más susceptibles al ataque de hongos e insectos. Por el contrario, *Cupressus lusitanica*, *Gmelina arborea*, *Tectona grandis* y *Swietenia macrophylla* son de las que soportan más tiempo en el campo, debido a su alta durabilidad bajo esas condiciones.

Cuadro 7. Comparación de la descripción general de la madera de 10 especies estudiadas provenientes de plantaciones de Costa Rica.

Característica	<i>Acacia mangium</i>	<i>Alnus acuminata</i>	<i>Bombacopsis quinata</i>	<i>Cupressus lusitanica</i>	<i>Gmelina arborea</i>	<i>Swietenia macrophylla</i>	<i>Tectona grandis</i>	<i>Terminalia amazonia</i>	<i>Terminalia oblonga</i>	<i>Vochysia guatemalensis</i>
Diferenciación entre albura y duramen	Presente	Ausente	Presente	Presente	Presente	Presente	Presente	Presente	Ausente	Ligera
Color albura	Amarillo pálido	Rosado claro	Blanco o amarillo pálido	Blanco o amarillo	Amarillo pálido	Amarillo pálido	Amarillo pálido	Amarillo pálido	Amarillo pálido	Blanco
Color duramen	Café oliva claro	Color rosado claro	Color rosado claro	Pardo amarillento claro	Amarillento grisáceo	Café a marrón	Marrón verde oliva ligero	Amarillo	Oliva	Café muy pálido
Veteado	Líneas y manchas café oscuras	Poco definido	Ligeramente definido	Definido	Poco definido	Definido	Definido	Definido por líneas rojizas	Poco definido	Poco definido
Textura	Mediana a gruesa	Mediana a fina	Mediana	Fina	Mediana a fina	Mediana a fina	Mediana a fina	Mediana a fina	Mediana a fina	Gruesa
Olor	Fuerte recién cortada	Imperceptible	Imperceptible	Característico	Imperceptible	Imperceptible	Característico	Imperceptible	Imperceptible	Imperceptible
Sabor	Imperceptible	Imperceptible	Imperceptible	Imperceptible	Imperceptible	Imperceptible	Imperceptible	Imperceptible	Imperceptible	Imperceptible
Brillo	Brillante	Opaco	Opaco	Moderado a brillante	Moderado a brillante	Moderado	Moderado	Moderado a brillante	Moderado	Opaco
Tipo de grano	Ondulado	Ondulado a entrecruzado	Recto	Recto a Inclinado	Recto	Recto	Recto	Recto	Recto	Ondulado a inclinado
Anillos de crecimiento	Ausente y presente	Ligero y ausente	Presente	Presente	Ausente y presente	Ausente y presente	Ausente y presente	Ausente y presente	Ausente y presente	Ausente
Densidad seca al aire (g/cm ³)	0,53	0,40	0,39	0,58	0,51	0,70	0,64	0,54	0,87	0,37
Clasificación de madera por resistencia	Moderada	Liviana	Liviana	Moderada	Moderada	Moderada a alta	Moderada	Moderada	Alta	Liviana

Descripción general de la madera de 10 especies estudiadas provenientes de plantaciones de Costa Rica

- La diferenciación del color de la madera en la albura y el duramen, se presenta muy marcada en las especies de *Acacia mangium*, *Bombacopsis quinata*, *Swietenia macrophylla* y *Tectona grandis*. Por su parte, se observa moderada marcación en las especies *Cupressus lusitanica*, *Gmelina arborea*, *Terminalia amazonia* y *Vochysia guatemalensis*. Finalmente se denota poca diferenciación en las especies *Alnus acuminata* y *Terminalia oblonga*.

- La madera de duramen en *Acacia mangium*, *Swietenia macrophylla* y *Tectona grandis*, presenta un vetado muy definido, especialmente en las tablas de corte tangencial. En tanto que en otras especies, el vetado es de medianamente a poco definido.

- En general, las especies utilizadas en la reforestación comercial de Costa Rica presentan una textura de moderada a fina, siendo el *Cupressus lusitanica* la única especie que presenta una textura más fina. Otras especies como la *Gmelina arborea*, *Tectona grandis*, las terminalias, *Bombacopsis quinata* y *Acacia mangium* presentan una textura de modera a fina.

- En relación con el olor de la madera, se observó que *Acacia mangium*, *Cupressus lusitanica* y *Tectona grandis*, presentan el olor característico y propio de estas especies. Sin embargo, este olor se mantiene por un corto tiempo, para luego desaparecer con el uso.

- El brillo de la madera se muestra opaco en las especies *Alnus acuminata*, *Bombacopsis quinata* y *Vochysia guatemalensis*. En el resto de las especies el brillo es de moderado a brillante.

- El grano recto en la madera de las diferentes especies es predominante, a excepción de las especies de *Acacia mangium*, *Alnus acuminata* y *Vochysia guatemalensis*, que presentan un grano ondulado o inclinado.

- Acorde con los valores de densidad, se tiene que *Bombacopsis quinata* y *Vochysia guatemalensis* son clasificadas como maderas livianas. *Terminalia oblonga* es de alta densidad y resistencia, en tanto son de resistencia moderada (conocidas como semiduras), *Gmelina arborea*, *Cupressus lusitanica* y *Swietenia macrophylla*. Las especies restantes se clasifican de moderada a alta resistencia.

Cuadro 8. Comparación de la descripción macroscópica de la madera de 10 especies estudiadas provenientes de plantaciones de Costa Rica.

Característica	<i>Acacia mangium</i>	<i>Alnus acuminata</i>	<i>Bombacopsis quinata</i>	<i>Cupressus lusitanica</i>	<i>Gmelina arborea</i>	<i>Swietenia macrophylla</i>	<i>Tectona grandis</i>	<i>Terminalia amazonia</i>	<i>Terminalia oblonga</i>	<i>Vochysia guatemalensis</i>
Poros:										
Visibilidad	Ligera	Ligera	Presente	No aplica	Presente	Presente	Presente	Presente	Presente	Presente
Tamaño	Medio	Pequeño	Grande	No aplica	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio
Composición	Solitarios y múltiples	Solitarios y múltiples	Solitarios y múltiples	No aplica	Solitarios y múltiples	Solitarios y múltiples	Solitarios y múltiples	Solitarios y múltiples	Solitarios y múltiples	Solitarios y múltiples
Abundancia	Media	Media	Poca	No aplica	Media	Abundante	Media	Media	Media	Media
Porosidad	Difusa	Difusa	Difusa	No aplica	Difusa	Difusa	Difusa y semi-anular	Difusa	Difusa	Difusa
Distribución	Sin patrón	Tienda a formar líneas radiales	Sin patrón	No aplica	Puede formar líneas tangenciales	Sin patrón	Sin patrón	Sin patrón	Sin patrón	Sin patrón
Gomas	Presentes	Ausentes	Presentes en duramen	No aplica	Ausentes	Ausentes	Presentes en duramen	Ausentes	Ausentes	Ausentes
Tilides	Ausentes	Ausentes	Ausentes	No aplica	Presentes en duramen	Presentes en duramen	Ausentes	Presentes en duramen	Presentes en duramen	Ausentes
Parénquima axial:										
Visibilidad	Poca	Poca	Presente	No aplica	Poca	Presente	Presente	Presente	Presente	Presente
Tipo	VC sca, uni y con	AP, dif	VC sca, AP ag y Mr	No aplica	VC sca y Mr	VC sca, AP dif y Mr	VC sca, y Mr	VC, Loz-alif y Loz-conf	VC, Loz-alif y Loz-conf	VC sca, Loz-alif y Loz-conf
Parénquima radial:										
Visibilidad	Poca	Poca	Presente	Poca	Poca	Poca	Poca	Poca	Poca	Poca
Diferencia de tamaños	Ausente	Presente	Presente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Ancho	Finos	Finos y medios	Finos y medios	Finos	Finos	Finos	Finos	Finos	Finos	Grandes
Abundancia	Media	Media	Media	Alta	Media	Media	Media	Media a alta	Media a alta	Media
Estratificación	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Presente y ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Otras estructuras	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes
AP= Parénquima apotraqueal, Dif =difuso, Agg=agregados, Sca=escaso, Con= paratraqueal confluyente, Vc= paratraqueal vasicéntrico, Loz-alif=losangular-aliforme: Loz-conf=losangular-confluyente, Mar=bandas marginales-										

Descripción macroscópica de la madera de 10 especies estudiadas provenientes de plantaciones de Costa Rica

La descripción general de la madera y la microscopía de las 10 especies provenientes de plantaciones forestales comerciales de Costa Rica y su posible identificación, permiten desarrollar la siguiente clave dicotómica. La misma considera todas las características presentes en los cuadros 8 y 9 del presente capítulo.

Esta clave se aplica para identificar las especies utilizando una lupa de 10X de aumento. La siguiente clasificación debe ser leída e interpretada, según se explica a continuación:

Por ejemplo: Se toma una muestra de madera y se observa primeramente la presencia de poros

1. Presencia de vasos. Acá vamos a encontrar dos posibilidades, que a continuación se detallan.

1 a. Presentes.....2 Significa que la característica **está presente**, el nº2 remite a 2, donde se estudia el tipo de porosidad.

1 b. Ausentes**Cupressus lusitánica**. Significa que si la característica **no está presente** se identifica la especie como *Cupressus lusitanica*.

Luego se continúa con el mismo procedimiento en los números siguientes

Cuadro 9. Clave dicotómica macroscópica de 10 especies maderables estudiadas provenientes de plantaciones de Costa Rica.

1. Presencia de vasos	
1a. Presentes	2
1b. Ausentes.....	<i>Cupressus lusitanica</i>
1. Tipo de porosidad	
2a. Porosidad difusa.....	3
2b. Porosidad semicircular y difusa.....	<i>Tectona grandis</i>
3. Tamaño de poros	
3a. Pequeños.....	<i>Alnus acuminata</i>
3b. Grandes.....	<i>Bombacopsis quinata</i>
3c. Medios	4
4. Parénquima axial	
4a. Muy visible.....	5
4b. Poco visible.....	6
5a. Parénquima vasicéntrico, losangular aliforme y losangular, confluyente y poros solitarios y múltiples y madera de color amarillo.....	<i>Terminalia amazonia</i> o <i>Terminalia oblonga</i>
5b. Parénquima vasicéntrico, losangular aliforme y losangular, confluyente y poros solitarios y múltiples y madera de color blanco	<i>Vochysia guatemalensis</i>
6. Estratificación de radios	
6a. Homocelulares	<i>Acacia mangium</i>
6b. Heterocelulares.....	7
7a. Parénquima apotraqueal difuso, paratraqueal escaso, bandas aparentemente marginales, y radios ligeramente estratificados	<i>Swietenia macrophylla</i>
7b. Parénquima paratraqueal escaso, cristales presente en los radios, tílides presente en los vasos y placas de perforación simples y escaliforme	<i>Gmelina arborea</i>
7c. Parénquima paratraqueal escaso, vasicéntrico, losangular aliforme, confluyente y bandas anchas	<i>Vochysia guatemalensis</i>

Cuadro 10. Comparación de las características de los vasos de la madera de 10 especies estudiadas provenientes de plantaciones de Costa Rica.

Especie de plantación	Porosidad	PSP (%)	FP (poros/mm ²)	LV (μm)	Vasos						
					DV (μm)	PP	Depósitos	PI	DPI	ORNA	VRP*
<i>Acacia mangium</i>	D	79	9	186	125	S	G	AP	3	-	30
<i>Alnus acuminata</i>	D	85	16	150	75	PE	-	OP	7	-	30
<i>Bombacopsis quinata</i>	D	37	3	119	294	S	G	AP	11	-	30-31
<i>Cupressus lusitanica</i>	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
<i>Gmelina arborea</i>	D	85	5	150	189	S-PE	T	AP	5	-	30
<i>Swietenia macrophylla</i>	D	70	13	150	137	S	G	AP	3	-	30
<i>Tectona grandis</i>	D-S	85	4	236	150	S	G	AP	6	-	30
<i>Terminalia amazonia</i>	D	73	7	465	121	S	G-T	AP	4	+	30
<i>Terminalia oblonga</i>	D	85	8	255	119	S	G	AP	2	+	30
<i>Vochysia guatemalensis</i>	D	76	3	340	169	S	-	AP	3	+	30

Porosidad: D= Difusa, S= Semi-anular, PSP=Porcentaje de poros solitarios, FP= Frecuencia de poros, LV= Longitud de vasos, DV=Diámetro de vasos, PP= Placas de perforación: S=Perforaciones simples, PE=Placas de perforación escalariforme, Depósitos en los vasos: T=tilides, G=gomas, PI=Puntuaciones intervasculares, AP= Puntuaciones alternas de forma poligonal, OP= Puntuaciones alternas de forma ovaladas, DIP=Diámetro de las puntuaciones intervasculares, ORNA=Presencia de ornamentaciones VRP*=Puntuaciones radio-vasculares acorde a la clases establecidas por IAWA (IAWA, 1989). NA: No aplica, por que *Cupressus lusitanica* es una conífera.

Características de los vasos estudiados microscópicamente, correspondientes a la madera de 10 especies estudiadas provenientes de plantaciones de Costa Rica

De igual forma como sucede con la descripción macroscópica de la madera, *Cupressus lusitanica* por tratarse de una especie de tipo conífera, presenta su estructura propia. Básicamente, se diferencia en que no presenta radios, presneta fibrotraqueidas en lugar de fibras y radios de tipo unicelulares.

En el resto de las especies latifoliadas se componen de vasos múltiples y vasos solitarios; sin embargo, en el caso de *Alnus acuminata* y *Swietenia macrophylla* presentan la mayor frecuencia de vasos (entre 13 y 16 vasos/mm²). Asimismo, se encontró placas de perforaciones escaliformes en los vasos de las especies *Alnus acuminata* y *Gmelina arborea*.

Las ornamentaciones en los vasos fueron observadas en *Terminalia amazonia*, *Terminalia oblonga* y *Vochysia guatemalensis*. En tanto que el mayor diámetro de las puntuaciones se presenta en *Bombacopsis quinta* y el más pequeño en *Terminalia amazonia*.

Las maderas latifoliadas de plantaciones forestales en general, presentan puntuaciones entre los vasos y los radios de similar forma y tamaño que las que se presentan en las intervasculares. Pero en *Bombacopsis quinata* se presentan de tipo oval, no así en el resto de las especies estudiadas.

Cuadro 11. Comparación de las características de las fibras y parénquima radial de la madera de 10 especies estudiadas provenientes de plantación de Costa Rica.

Especie de plantación	Fibras									Parénquima radial				
	LF	DL	EPC	CF	SF	PF	PFRT	FS	Altura de radios	Ancho de radio	Frecuencia de radios	Tipo	Estratificación	R (C)
<i>Acacia mangium</i>	0,83	15	3	-	-	PSBD	-	-	104	4-10	2	Ho	-	-
<i>Alnus acuminata</i>	1,02	35	3	-	+	PSBD	-	-	299	1-3	5	Ht	-	-
<i>Bombacopsis quinata</i>	0,79	28	4	-	+	PSBD	-	-	124	1-3	7	Ht	+-	U + P(-)
<i>Cupressus lusitanica</i>	3,00	35	4	-	-	NA	-	+	139	1	5	Ho	-	-
<i>Gmelina arborea</i>	1,02	35	5	-	+	PSBD	-	-	270	1-3, 4-10	6	Ht	-	U (+)
<i>Swietenia macrophylla</i>	0,85	21	4	-	- +	PSBD	-	++	147	1-3, 4-10	8	Ht	+-	U (+)
<i>Tectona grandis</i>	1,04	17	6	-	+	PSBD	-	-	440	1-3, 4-10	5	Ho - Ht	-	-
<i>Terminalia amazonia</i>	1,11	27	4	-	-	PSBD	-	++	259	1	7	Ho	-	U (+)
<i>Terminalia oblonga</i>	0,99	16	3	-	-	PSBD	-	-	182	1	11	Ho	-	U (+)
<i>Vochysia guatemalensis</i>	1,05	25	4	-	-	PSBD	-	-	229	1-3, 4-10	3	Ht	-	-

Fibras: LF=Largo de fibra, DL=Diámetro de lumen, EPC= Espesor de pared celular, CF=Cristales en fibras, SF=Septos en las fibras, PF=Puntuaciones de las fibras, PSBD=Puntuaciones simple a bordeados diminutos, PFRT=Puntuaciones presente en la parte radial y tangencial, FS=Fibras estratificadas. Elementos de los radios: Ht=Heterogéneo, Ho=Homogéneo; U(>)=Principalmente uniseriados, R(C) = Cristales presente en los radios, U = Cristales en la células marginales, P= Células procumbentes de radios, S=Cuerpo de sílica. NA: No aplica (por ser una conífera, la madera de *Cupressus lusitanica* no presenta fibras ni parénquima radial).

Características de las fibras y parénquima radial estudiadas microscópicamente en la madera de 10 especies provenientes de plantación de Costa Rica

Al igual que el resto de las propiedades anatómicas, *Cupressus lusitanica* presenta las fibras típicas de especies coníferas, fibras largas (cerca de 3 mm) y radios unicelulares.

Los elementos de las fibras en las especies latifoliadas varían sus dimensiones entre 0,83 y 1,11 mm de largo, siendo las fibras más cortas las de *Acacia mangium* y las más largas de *Terminalia amazonia*. En lo referente al diámetro del lumen, se tiene que este varía de 15 a 35 μm . El menor diámetro lo presenta *Acacia mangium* y el mayor *Gmelina arborea*. El espesor de la pared celular varía entre 3 y 6 μm , donde *Alnus acuminata*, *Acacia mangium* y *Terminalia oblonga* son las especies de menor espesor y *Tectona grandis* la de mayor espesor de pared.

Todas las especies presentaron puntuaciones simples a bordes diminutos y ligeramente estratificadas en la especie *Swietenia macrophylla*.

El parénquima radial, presenta alturas entre 104 y 440 μm , la especie *Acacia mangium* reportó el menor valor y *Tectona grandis* el valor más alto de radios. Los radios uniseriados estuvieron presentes en *Terminalia amazonia*, *Terminalia oblonga* y *Cupressus lusitanica*. Para el resto de las especies los radios se componen de 2 a 10 series de células en ancho. La madera de *Alnus acuminata* es la única especie que presenta radios en agregados.

La mayor frecuencia de radios se presenta en *Terminalia amazonia*, seguido de *Terminalia oblonga* y *Swietenia macrophylla* y lo hacen en dos tipos de radios: homocelulares y heterocelulares. Los radios se presentan ligeramente estratificados solamente en *Swietenia macrophylla*.

Cuadro 12. Comparación de las características del parénquima axial de la madera de 10 especies estudiadas provenientes de plantación de Costa Rica.

Especie de plantación	Parénquima axial								Otras características anatómicas	
	PA	Tipo	PP	Tipo	BP	Tipo	Estratificado	Cantidad de células		AP (C)
<i>Acacia mangium</i>	-	-	+	Sca, Vc, Los-alif, Con & Uni	-	-	-	2 & 3-4	+	
<i>Alnus acuminata</i>	+	Dif	-	-	-	-	-	5-8	-	Radios agregados, traqueidas
<i>Bombacopsis quinata</i>	+	Dif-agr	+	Sca, Vc,	+	Anch-Mar	+	3-4 & 5-8	+ (-)	
<i>Cupressus lusitanica</i>	+	Dif	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
<i>Gmelina arborea</i>	-	-	+	Sca, Vc	-	-	-	5-8	+ (+)	
<i>Swietenia macrophylla</i>	+	Dif	+	Sca	+	Mar	-	5-8	+ (+)	
<i>Tectona grandis</i>	-	-	+	Sca, Vc	+	Mar	-	5-8	-	Silica en vitrax
<i>Terminalia amazonia</i>	-	-	+	Sca, Vc, Los-alif, Con, uni	+	Anch-Mar	-	3-4, 5-8	+ (+)	
<i>Terminalia oblonga</i>	-	-	+	Sca, Vc, Los-alif, Con, uni	+	Anch-Mar	-	3-4, 5-8	+ (+)	
<i>Vochysia guatemalensis</i>	-	-	+	Sca, Vc, Loz-alif, Con	+	Anch	-	3-4, 5-8	-	

PA= Parénquima apotraqueal, Dif =Difusa. Ag=Agregados, PP= Parénquima paratraqueal, Sca=Escaso, Con=Confluente, Vc=Vasicentrico, Loz-alif=Losangular-aliforme: Loz-w=Losangular-con alas, uni=Unilateral, PB=Parénquima en bandas, Mar=Marginal, Anch=Bandas anchas, AP(C)=Cristales presentes en el parénquima axial (cristales en cámaras).

Características del parénquima axial o longitudinal estudiado microscópicamente en la madera de las 10 especies provenientes de plantación de Costa Rica.

Las maderas latifoliadas de *Alnus acuminata*, *Bombacopsis quinata* y *Swietenia macrophylla* son las únicas que presentan parénquima apotraqueal. En *Alnus acuminata* y *Swietenia macrophylla*, este tipo de parénquima es de tipo difuso. Pero en *Bombacopsis quinata* presenta agregados.

El parénquima paratraqueal de las especies latifoliadas estuvo ausente solamente en *Alnus acuminata*. En el resto de las especies se presenta, en general de tipo paratraqueal escaso y vasicéntrico. Pero, en *Acacia mangium*, *Terminalia amazonia*, *Terminalia oblonga* y en *Vochysia guatemalensis* se presenta la mayor cantidad de tipos de parénquima: paratraqueal escaso, vasicéntrico, losangular y de tipo confluyente.

El parénquima en banda se presenta en la mayoría de las especies latifoliadas, con excepción de *Acacia mangium* y *Alnus acuminata*. Este tipo de parénquima en general es en bandas aparentemente marginales y de bandas anchas en las especies de *Bombacopsis quinata*, las dos terminalias y *Vochysia guatemalensis*.

El parénquima ligeramente estratificado se presenta solamente en la especie *Bombacopsis quinata*, mientras que en el resto de las especies está estratificación y ausente.

La cantidad de células que componen el parénquima varía entre 2 y 8 células por filamento, pero solamente *Acacia mangium* es la que presenta menor cantidad de células por filamento (2-3 células), en tanto que la *Gmelina arborea*, *Tectona grandis* y *Swietenia macrophylla* son las especies con la mayor cantidad de células por filamento (5-8).

Los cristales en el parénquima axial o longitudinal no estuvieron presentes en las especies *Alnus acuminata*, *Tectona grandis* y *Vochysia guatemalensis*. En tanto que en el resto de las especies, los cristales sí estuvieron presentes. Se distingue la madera de *Tectona grandis* ya que presenta silica vitrax en el parénquima axial.

La descripción microscópica de las 10 especies maderables utilizadas en la reforestación comercial de Costa Rica y su posible identificación, permite desarrollar la siguiente clave dicotómica, que considera todas las características presentes en los cuadros 10, 11 y 12. Dicha clave puede ser utilizada para identificar estas especies, usando una lámina fija previamente preparada y un microscopio de luz de aumento hasta 40X. La clasificación debe ser leída de la siguiente manera:

Por ejemplo: Se toma la lámina permanente de madera

y se observa primeramente la presencia de poros

1. Presencia de vasos. Acá se encontrarán dos posibilidades, que a continuación se detallan.

1 a. Presentes.....2. Significa que la característica **está presente**, el nº2 remite a 2, donde se estudia el tipo de porosidad.

1 b. Ausentes**Cupressus lusitanica**. Significa que si la característica **no está presente** se identifica la especie como *Cupressus lusitanica*.

Luego se continúa con el mismo procedimiento en los números siguientes.

Cuadro 13. Clave dicotómica microscópica de 10 especies maderables estudiadas provenientes de plantaciones de Costa Rica.

1. Presencia de vasos	
1a. Presentes	2
1b. Ausentes.....	Cupressus lusitanica
2. Tipo de porosidad	
2a. Porosidad difusa.....	3
2b. Porosidad semicircular y difusa.....	Tectona grandis
3. Cantidad de radios en ancho	
3a. Radios uniseriados	4
3b. Radios de 1 a 3 células de ancho.....	5
3c. Radios de 1-3 y 4-10 células de ancho.....	6
4. Terminalia	
4a. Radios con frecuencia sobre 10 radios/mm ² , altura menor a 200 µm, y porcentaje de poros solitarios mayor a 80%	Terminalia oblonga
4b. Radios con frecuencia menor a 8 radios/mm ² , altura menor a 250 µm, porcentaje de poros solitarios mayor a 75%	Terminalia amazonia
5. Tipo de parénquima	
5a. Parénquima apotraqueal difuso, sin parénquima paratraqueal, radios pequeños y frecuencia de vasos sobre 16 vasos/mm ²	Alnus acuminta
5b. Parénquima apotraqueal difuso en agregados, paratraqueal escaso, y en bandas aparentemente marginales	Bombacopsis quinata
6. Tipo de radios	
6a. Homocelulares	Acacia mangium
6b. Heterocelulares.....	7
7a. Parénquima apotraqueal difuso, paratraqueal escaso, bandas aparentemente marginales, y radios ligeramente estratificados	Swietenia macrophylla
7b. Parénquima paratraqueal escaso, cristales presente en los radios, tílides presente en los vasos y placas de perforación simples y escaliforme	Gmelina arborea
7c. Parénquima paratraqueal escaso, vasicéntrico, losangular aliforme, confluyente y bandas anchas	Vochysia guatemalensis

Cuadro 14. Comparación de las propiedades físicas de la madera de 10 especies estudiadas provenientes de plantación de Costa Rica.

Propiedad de la madera	<i>Acacia mangium</i>	<i>Alnus acuminata</i>	<i>Bombacopsis quinata</i>	<i>Cupressus lusitanica</i>	<i>Gmelina arborea</i>	<i>Swietenia macrophylla</i>	<i>Tectona grandis</i>	<i>Terminalia amazonia</i>	<i>Terminalia oblonga</i>	<i>Vochysia guatemalensis</i>
Peso específico	0,45	0,34	0,32	0,49	0,40	0,51	0,56	0,49	0,55	0,32
Contenido de humedad inicial (%)	134,9	95,56	199,64	65,99	160,00	68,60	117,90	65,99	71,12	177,99
Densidad verde (g/cm ³)	1,06	0,67	0,96	0,81	1,04	0,86	1,10	0,81	0,93	0,88
Densidad al 12% (g/cm ³)	0,60	0,67	0,39	0,60	0,48	0,59	0,83	0,81	0,65	0,44
Densidad anhidra (g/cm ³)	0,57	0,39	0,35	0,54	0,45	0,56	0,58	0,54	0,61	0,36
Contracción radial total (%)	2,59	4,11	2,45	3,34	5,39	2,94	2,60	3,34	2,78	2,75
Contracción radial al 12% (%)	0,79	2,82	1,06	1,61	2,76	1,54	4,54	1,61	1,51	1,77
Contracción tangencial total (%)	4,40	6,31	3,18	5,31	7,00	4,09	5,52	5,31	4,87	7,38
Contracción tangencial al 12% (%)	1,93	5,31	1,60	2,78	5,16	2,26	4,06	1,87	2,95	5,01
Contracción volumétrica total (%)	13,24	11,01	6,28	9,92	10,28	8,33	6,35	9,92	9,47	12,70
Contracción volumétrica al 12% (%)	11,13	7,64	5,34	5,07	6,39	4,83	7,06	5,07	5,84	8,15
Razón de contracción	1,78	1,62	1,34	1,67	1,42	1,40	1,93	1,67	1,77	2,69
Capacidad calórica verde (KJ/kg)	5821	10793	6119	6051	9860	14609	9510	7456	12270	9109
Capacidad calórica seca (KJ/kg)	16423	17157	15642	16188	15687	20576	19390	15918	14403	16591

Propiedades físicas de la madera de 10 especies estudiadas provenientes de plantación de Costa Rica.

- El peso específico de las especies varió de 0,32 a 0,56, siendo los más bajos (0,32) *Bombacopsis quinata* y *Vochysia guatemalensis*, mientras que los valores más altos (0,56) fueron los de *Tectona grandis* y *Terminalia oblonga*.
- Las especies de *Acacia mangium*, *Bombacopsis quinata*, *Gmelina arborea*, *Tectona grandis* y *Vochysia guatemalensis* presentaron contenido de humedad inicial sobre el 120%, mientras que en el resto de las especies fue inferior al 100%.
- Las contracciones radiales totales variaron de 2,59% en *Acacia mangium* a 5,39% en *Gmelina arborea*, en tanto que los valores totales en sentido radial se mantuvieron en un rango de 4,09% a 7,38%, en las maderas de *Swietenia macrophylla* y *Vochysia guatemalensis* respectivamente. La mayor

contracción volumétrica total se presenta en las especies *Acacia mangium* y *Vochysia guatemalensis*, con valores superiores al 12%.

- Los coeficientes de contracción son un indicativo de los posibles problemas que presenta la madera durante el proceso de secado, en este sentido *Vochysia guatemalensis* posee el valor más alto (2,69). Las pruebas de secado confirmaron que la especie presenta este problema.
- En la actualidad, la capacidad calórica de la madera es una de las propiedades más importantes, siendo *Tectona grandis*, *Swietenia macrophylla* y *Alnus acuminata* las que cuentan con valores de capacidad calórica sobre 17 000 KJ/kg de madera en condición seca.

Cuadro 15. Comparación de las propiedades mecánicas en condición seca (12% de contenido de humedad) de la madera de 10 especies estudiadas provenientes de plantación de Costa Rica.

Propiedad de la madera		<i>Acacia mangium</i>	<i>Alnus acuminata</i>	<i>Bombacopsis quinata</i>	<i>Cupressus lusitanica</i>	<i>Gmelina arborea</i>	<i>Swietenia macrophylla</i>	<i>Tectona grandis</i>	<i>Terminalia amazonia</i>	<i>Terminalia oblonga</i>	<i>Vochysia guatemalensis</i>
Compresión (kg/cm ²)	Paralela	290	340	87	143	318	480	425	179	375	213
	Perpendicular	156	240	107	241	-	472	396	223	353	145
Tensión perpendicular (kg/cm ²)	Tangencial	40	30	18	16	-	30	22	23	27	21
	Radial	26	28	10	14	-	26	21	17	28	16
Tensión (kg/cm ²)	Paralela	677	897	430	522	447	746	912	567	651	394
Flexión estática (kg/cm ²)	MOR	519	784	358	576	503	897	951	746	723	404
	MOE x 10 ³	77	123	55	71	83	94	131	119	81	64
Cortante paralelo a la fibra (kg/cm ²)	Tangencial	91	99	53	101	63	87	71	94	84	69
	Radial	79	96	47	94	68	79	62	75	76	63
Clivaje (kg/cm ²)	Tangencial	9	5	3	2	-	7	4	4	7	8
	Radial	6	5	3	3	-	5	3	4	7	7
Dureza janka (kg)	Axial	147	398	157	298	285	296	490	384	280	184
	Lateral	191	290	100	187	271	318	488	225	338	103
Extracción de clavos (kg)	Axial	24	23	17	37	-	35	30	44	48	19
	Lateral	19	31	20	48	-	37	35	58	39	20

Propiedades mecánicas en condición seca de la madera de las 10 especies estudiadas provenientes de plantación de Costa Rica.

- En el esfuerzo en compresión se encontró que no existe una tendencia clara si la resistencia en compresión es mayor en sentido paralelo a la fibra, en relación con la compresión perpendicular de ésta. *Swietenia macrophylla*, *Tectona grandis* y *Terminalia oblonga* son las especies con la mayor resistencia en compresión en condición seca, tanto en sentido paralelo como perpendicular a la fibra.
- La tensión en sentido perpendicular a las fibras tiende a ser mayor en madera de corte tangencial en relación con la madera de corte radial. En este tipo de resistencia mecánica, las especies *Acacia mangium* y *Swietenia macrophylla* presentan la mayor resistencia y la menor es *Cupressus lusitanica*.
- En el esfuerzo en tensión paralela, las especies *Alnus acuminata* y *Tectona grandis* presentan los mayores valores de resistencia, mientras que *Gmelina arborea* y *Vochysia guatemalensis* los valores más bajos.
- En la resistencia en flexión estática en condición seca, los mayores valores se presentan en *Swietenia macrophylla* y *Tectona grandis*. En tanto que los

valores más bajos se presentan en *Bombacopsis quinata*, *Gmelina arborea* y *Vochysia guatemalensis*.

- En el esfuerzo en cortante paralelo a la fibra, el sentido tangencial presenta más resistencia que el sentido radial para todas las especies provenientes de plantación. *Cupressus lusitanica* y *Alnus acuminata* presentan los mayores valores de resistencia.
- En la resistencia al clivaje no existe una tendencia clara entre la resistencia en sentido tangencial ni en sentido radial. La mayor resistencia se presenta en *Acacia mangium*, *Terminalia oblonga* y *Vochysia guatemalensis*.
- En la resistencia a la dureza tampoco existe una tendencia, es decir, que el sentido axial presenta una mayor resistencia que el sentido lateral. Lo anterior debido a que en algunas especies la resistencia es mayor en sentido axial, como lo es el caso de *Alnus acuminata* en la resistencia a la dureza, pero en *Terminalia oblonga* ocurre el efecto contrario, la resistencia a la dureza es mayor en la parte lateral.

Cuadro 16. Comparación de las propiedades mecánicas en condición verde de la madera de 10 especies estudiadas provenientes de plantación de Costa Rica.

Propiedad de la madera		<i>Acacia mangium</i>	<i>Alnus acuminata</i>	<i>Bombacopsis quinata</i>	<i>Cupressus lusitanica</i>	<i>Gmelina arborea</i>	<i>Swietenia macrophylla</i>	<i>Tectona grandis</i>	<i>Terminalia amazonia</i>	<i>Terminalia oblonga</i>	<i>Vochysia guatemalensis</i>
Compresión (kg/cm ²)	Paralela	319	139	68	122	184	262	373	140	219	145
	Perpendicular	293	88	94	185	165	264	263	139	195	47
Tensión perpendicular (kg/cm ²)	Tangencial	31	26	15	16	38	26	30	18	36	20
	Radial	29	25	12	14	-	44	25	12	34	17
Tensión (kg/cm ²)	Paralela	843	440	381	509	390	531	339	116	635	339
Flexión estática (kg/cm ²)	MOR	663	305	381	476	390	630	545	560	463	306
	MOE x 10 ³	125	71	57	62	59	81	116	100	68	55
Cortante paralelo a la fibra (kg/cm ²)	Tangencial	78	48	53	75	50	78	76	85	62	57
	Radial	71	38	41	66	46	74	-	76	57	44
Clivaje (kg/cm ²)	Tangencial	10	8	3	4	7	7	6	4	7	6
	Radial	10	5	2	4	7	5	7	4	7	6
Dureza janka (kg)	Axial	323	134	99	185	253	314	397	216	212	122
	Lateral	302	127	89	167	265	336	401	167	252	107
Extracción de clavos (kg)	Axial	44	26	20	33	30	58	40	37	61	31
	Lateral	33	25	28	54	57	47	36	62	49	25

Propiedades mecánicas en condición verde de la madera de 10 especies estudiadas provenientes de plantación de Costa Rica.

- En el esfuerzo en compresión se encontró que no existe una tendencia clara si la resistencia es mayor en sentido paralelo a la fibra, en relación con la compresión perpendicular. *Acacia mangium*, *Swietenia macrophylla* y *Tectona grandis* son las especies con la mayor resistencia en compresión en condición verde (con valores sobre 250 kg/cm²), tanto en sentido paralelo como perpendicular a la fibra.

- Al igual que sucede con la anterior propiedad (compresión), no existe una tendencia clara entre la resistencia a la tensión perpendicular en sentido tangencial ni en sentido radial. En algunas casos la resistencia presenta un valor más alto en sentido tangencial que en el radial, como en el caso de la especie *Acacia mangium*. No obstante, en *Swietenia macrophylla* ocurre lo contrario, la mayor resistencia se presenta en sentido radial. Por su parte, *Tectona grandis* y las dos terminalias presentan la mayor resistencia en la madera verde.

- La tensión paralela se presenta con mayor resistencia en condición verde en la madera de *Acacia mangium*, seguido de *Terminalia oblonga* y *Swietenia macrophylla*. Por el contrario, la menor resistencia se presenta en la madera de *Terminalia amazonia*.

- En cuanto a la flexión estática, los mayores valores de Módulo de Elasticidad (MOE) y Módulo de ruptura (MOR) se presentan en la madera *Acacia mangium*, *Swietenia macrophylla*, *Tectona grandis* y *Terminalia amazonia*, con valores entre 545 y 663 kg/cm² para el MOR y de 81 x 10³ a 125 x 10³ kg/cm² para el MOE.

- La resistencia del cortante paralelo a la fibra, nuevamente posee un comportamiento uniforme entre las diferentes especies al afirmar que el sentido tangencial posee mayor resistencia en condición verde que la madera en sentido radial en esa misma condición de humedad. En todas las especies se determinó que el sentido tangencial posee una resistencia mayor que el sentido radial. Nuevamente, *Acacia mangium*, *Swietenia macrophylla*, *Tectona grandis* y *Terminalia amazonia* presentan los mayores valores de resistencia, sobre 71 kg/cm².

- La resistencia al clivaje en sentido tangencial y radial posee valores similares en los dos sentidos para todas las especies. La mayor resistencia se presenta en *Acacia mangium*, con 10 kg/cm² y la menor resistencia se presenta en *Bombacopsis quinata*, entre 2 y 3 kg/cm².

- Nuevamente *Acacia mangium*, *Swietenia macrophylla* y *Tectona grandis* presentan mayor resistencia en la dureza janka, con valores sobre los 300 kg. En tanto que la menor dureza janka en la madera se presenta en *Bombacopsis quinata*.

- La resistencia a la extracción de clavos así como la dureza janka, no presentan un comportamiento uniforme entre el sentido lateral y axial, en algunas especies la dureza y la resistencia a la extracción de clavos presentan mayor valor de resistencia que estos esfuerzo en la parte lateral. Por ejemplo, *Acacia mangium*, en sentido axial presenta 44 kg de dureza janka, valor mayor que el presentado en sentido lateral, con 33 kg. Pero en *Bombacopsis quinata* la mayor dureza janka se presenta en el sentido lateral.

Cuadro 17. Comparación de las propiedades químicas de la madera de 10 especies estudiadas provenientes de plantación de Costa Rica.

Propiedad de la madera	<i>Acacia mangium</i>	<i>Alnus acuminata</i>	<i>Bombacopsis quinata</i>	<i>Cupressus lusitanica</i>	<i>Gmelina arborea</i>	<i>Swietenia macrophylla</i>	<i>Tectona grandis</i>	<i>Terminalia amazonia</i>	<i>Terminalia oblonga</i>	<i>Vochysia guatemalensis</i>
Holocelulosa (%)	64,19	64,01	64,11	53,54	60,38	58,24	59,65	66,44	69,04	64,33
Lignina (%)	21,42	33	39,92	46,35	25,56	35,02	30,91	31,35	39,14	48,39
Cenizas (%)	0,582	0,38	3,99	0,19	1,07	0,64	0,78	0,38	1,84	3,57
Sílice (ppm)	0,00	38,5	4,67	10,64	9,20	40,78	-	2,17	13,33	1,50
Solubilidad hidróxido de sodio al 1% (%)	13,21	16,31	11,08	24,23	26,13	21,18	11,98	22,40	19,02	20,99
pH	5,66	6,04	9,72	4,92	5,55	5,23	6,41	3,79	4,13	5,53
Solubilidad en agua caliente (%)	2,45	2,74	6,16	8,01	8,97	9,65	3,13	15,28	2,23	10,02
Solubilidad en agua fría (%)	2,00	1,92	2,59	4,29	7,81	7,91	3,28	8,24	1,83	11,49
Solubilidad Diclorometano (%)	3,25	3,25	2,52	4,61	2,21	1,49	2,20	1,04	3,21	2,91
Solubilidad Etanol-Tolueno (%)	0,95	0,95	1,26	2,21	0,82	3,87	1,18	3,38	3,95	2,84
Nitrógeno (%)	0,34	0,34	0,37	0,33	0,24	0,27	0,20	0,30	0,34	0,22
Fósforo (%)	0,02	0,02	0,05	0,00	0,05	0,02	0,04	0,01	0,02	0,03
Calcio (%)	0,12	0,06	1,52	0,06	0,17	0,24	0,14	0,09	0,95	0,05
Magnesio (%)	0,02	0,02	0,04	0	0,02	0,01	0,07	0,01	0,03	0,14
Potasio (%)	0,05	0,14	0,64	0,02	0,38	0,15	0,50	0,14	0,22	0,42
Azufre (%)	0,01	0,02	0,02	0,01	0,03	0,01	0,01	0,02	0,03	0,02
Hierro (mg/kg)	15,36	15,37	23,67	36,70	15,85	5,34	1,00	18,33	18,76	32,60
Cobre (mg/kg)	1,00	3,09	1,00	1,00	2,03	2,78	5,00	2,50	2,23	8,33
Zinc (mg/kg)	6,67	2,92	2,67	0,00	10,26	1,56	2,00	2,00	1,83	9,33
Manganeso (mg/kg)	9,00	2,47	0,00	0,00	4,52	1,63	0,00	11,67	3,21	500,33
Boro (mg/kg)	3,00	3,91	1,67	1,67	1,82	1,50	2,67	2,00	3,95	5,66

Propiedades químicas de la madera de 10 especies estudiadas provenientes de plantación de Costa Rica.

- La cantidad de holocelulosa refleja la relación que existe entre la madera de especies coníferas y de especies latifoliadas. En el caso de *Cupressus lusitanica*, presentó el valor de holocelulosa más bajo (53,54%) y por lo tanto, el valor más alto de lignina (46,35%). Los valores de holocelulosa en las especies latifoliadas variaron de 58 a 69%, siendo el valor más bajo el de la madera de *Swietenia macrophylla* y el más alto el de la de *Terminalia oblonga*.
- La cantidad de cenizas que produce la madera en la mayoría de las especies fue inferior al 1%; no obstante, una alta cantidad fue encontrada para *Bombacopsis quinata*, *Gmelina arborea*, *Terminalia oblonga* y *Vochysia guatemalensis*.

- Los extractos en los diferentes componentes polares (como etanol) y no polares (como agua), son inferiores a los valores que se obtienen cuando la extracción se realiza con una solución de hidróxido de sodio al 1% de concentración. Esto debido a que la solución degrada más los constituyentes de la madera.
- En general se observa que los macro y micro nutrientes están presentes en cantidades muy pequeñas, a excepción del magnesio que sobresale, pues presenta concentraciones de 500 mg/kg.

Cuadro 18. Comparación de las características de aserrío de 10 especies maderables estudiadas provenientes de plantación de Costa Rica.

Especie	Desempeño en aserrío	Calidad de la madera	Rendimiento de Trozas	
			Categoría de diámetro (cm)	Rendimiento (%)
Acacia mangium	Moderada facilidad por la presencia de tensiones	Se presenta grietas, rajaduras, arqueadura, encorvadura, alabeo y acanalado. No se presenta madera con médula.	15 - 20	20 - 30
			20 - 25	25 - 30
			25 - 30	30 - 45
			30 - 35	45 - 55
			Mayor a 35 cm	50 - 60
Alnus acuminata	Moderada facilidad por nudos	Se presenta grano veloso, grietas, rajaduras, arqueadura, encorvadura y alabeo. Se desarrolla poco acanalado. No se presenta madera con médula.	10 - 15	30,3
			15 - 25	33,3
			20 - 25	37,3
			Mayor a 25 cm	50-65
Bombacopsis quinata	Fácil de aserrar. Especial cuidado con los agujijones	Se presenta baja incidencia de grietas, rajaduras, arqueadura, encorvadura, alabeo y acanalado. No se presenta madera con médula.	15 - 20	20 - 30
			20 - 25	25 - 30
			25 - 30	30 - 45
			30 - 35	45 - 55
			Mayor a 35 cm	50 - 60
Cupressus lusitanica	Fácil de aserrar. Especial cuidado con los nudos	Se presenta baja incidencia de grietas, rajaduras, arqueadura, encorvadura, alabeo y acanalado. No se presentó madera con médula	15 - 20	20 - 25
			20 - 25	20 - 40
			25 - 30	30 - 50
			30 - 35	50 - 55
			Mayor a 35 cm	50 - 65
Gmelina arborea	Moderada facilidad por las tensiones de crecimiento	Se presenta incidencia de grietas, rajaduras, arqueadura, encorvadura, alabeo y acanalado. Se presentó madera con médula	10 - 15	30 - 35
			15 - 25	40 - 45
			25 - 35	50 - 55
Swietenia macrophylla	Fácil de aserrar.	Se presenta baja incidencia de grietas, rajaduras, arqueadura, encorvadura, alabeo y acanalado. No se presentó madera con médula	10 - 15	30-40
			15 - 25	35-20
			20 - 25	Sobre 45
Tectona grandis	Moderada facilidad por el desafilado de la herramientas de corte	Se presenta incidencia de grietas, rajaduras, arqueadura, encorvadura, alabeo y acanalado. Se presenta madera con médula	10 - 15	30
			15 - 25	43
			25 - 30	52
			Mayor a 30 cm	55-60
Terminalia amazonia	Moderada facilidad por el embotamiento de sierras y tensiones de crecimiento	Se presenta incidencia de grietas, rajaduras, arqueadura, encorvadura, alabeo y acanalado. No se presenta madera con médula	15 - 20	25 - 35
			20 - 25	30 - 40
			25 - 30	40 - 50
			30 - 35	45 - 55
			Mayor a 35 cm	50 - 65
Terminalia oblonga	Moderada facilidad por embotamiento de sierras y tensiones de crecimiento	Se presenta incidencia de grietas, rajaduras, arqueadura, encorvadura, alabeo y acanalado. No se presenta madera con médula	15-20	25-35
			20-25	30-40
			25-30	40-50
			30-35	45-55
			Mayor a 35 cm	50-65
Vochysia guatemalensis	Fácil de aserrar.	Se presenta incidencia de grietas, rajaduras, arqueadura, encorvadura, alabeo y acanalado. No se presenta madera con médula	15-20	15-30
			20-25	30-40
			25-30	35-50
			30-35	45-60
			Mayor a 35 cm	50-65

Características de aserrío de las trozas de 10 especies maderables estudiadas provenientes de plantación de Costa Rica.

- El aserrío de las trozas de las 10 principales especies de plantación son catalogadas de fácil a moderada facilidad de aserrío. En el caso de *Cupressus lusitánica* y *Alnus acuminata*, son afectadas principalmente por la presencia de nudos y por la liberación de las tensiones de crecimiento durante el aserrío en *Terminalia amazonia*.

- Las trozas de *Alnus acuminata*, *Bombacopsis quinata*, *Swietenia macrophylla* y *Vochysia guatemalensis* son en general de fácil aserrío, no se presenta desgaste de las sierras en altas magnitudes, o bien, la calidad de las tablas que se producen en el aserrío son normales para trozas de bajas dimensiones, a excepción de *Alnus acuminata* que si produce algunos defectos.

- El aserrío de trozas de *Alnus acuminata*, *Gmelina arborea*, *Tectona grandis*, *Terminalia amazonia* y *Terminalia oblonga* presentó moderada dificultad, debido a que durante el proceso de corte de las trozas, principalmente en los primeros cortes, se liberan las tensiones de crecimiento de los árboles, dando como resultado una madera con torceduras y constantes volteos de las trozas.

- Dos especies son las de especial cuidado en cuanto a las trozas: *Tectona grandis* y *Terminalia amazonia*. La primera especie produce un mayor desgaste de las herramientas de corte, debido a que presenta alto contenido de sílice y la segunda especie, el aserrín produce cierto embotamiento alrededor de los dientes en las herramientas de corte.

- La generación de tablas con médula fue problemática, sobre todo en trozas de diámetros inferiores a 25 cm y se acentúa en las especies de *Gmelina arborea* y *Tectona grandis*.

- Los rendimientos de las trozas varían con su diámetro y las diferentes especies presentan los rangos normales para las dimensiones que se producen en las plantaciones forestales.

- El aserrío de trozas de *Bombacopsis quinata* se dificulta si este proceso involucra muchas actividades manuales, ya que las trozas presentan grandes y abundantes agujeros, dificultando su manipuleo.

Cuadro 19. Comparación de las propiedades de secado al aire de 10 especies maderables estudiadas provenientes de plantación de Costa Rica.

Propiedad de la madera	<i>Acacia mangium</i>	<i>Alnus acuminata</i>	<i>Bombacopsis quinata</i>	<i>Cupressus lusitanica</i>	<i>Gmelina arborea</i>	<i>Swietenia macrophylla</i>	<i>Tectona grandis</i>	<i>Terminalia amazonia</i>	<i>Terminalia oblonga</i>	<i>Vochysia guatemalensis</i>
Clasificación por velocidad de secado	Rápido	Rápido	Rápido	Moderado	Lento	Moderado	Rápido	Rápido	Lento	Lento
Espesor	Tiempo en secado (días)									
1,2	21	21	-	17	75	24	-	8	20	14
2,5	30	30	13	32	145	31	14	13	35	31
3,8	35	35	19	39	-	45	18	20	50	63
5,0	40	40	23	45	366	45	23	28	65	70
6,2	41	41	-	75	-	57	-	32	70	90
7,5	42	45	-	70	-	57	-	35	75	100
Calidad de secado	Moderada	Moderada	Buena	Moderada	Moderada	Buena	Moderada	Buena	Buena	Mala

Características de secado al aire de la madera de 10 especies maderables estudiadas provenientes de plantación de Costa Rica.

- Durante el proceso de secado al aire de la madera, en todas las especies se observó que para espesores de madera de hasta 7,5 cm, los tiempos de secado fueron inferiores a los 100 días. Este tiempo es considerado corto si se compara con maderas provenientes de bosques naturales y de climas tropicales.
- La *Gmelina arborea* con el espesor de 1,2 cm, presentó un tiempo de secado de 75 días, pero si el espesor es superior a 5 cm puede variar el tiempo de secado entre los 150 y los 365 días.
- En general el secado al aire de la madera de las 10 especies más utilizadas en la reforestación comercial, presenta pocos defectos y torceduras, siendo las especies de *Acacia mangium* y *Vochysia guatemalensis* las que presentan mayores problemas de calidad, principalmente por la presencia de torceduras y reventaduras de las tablas.

Cuadro 20. Comparación de los parámetros de secado en madera de 25 mm de espesor de 10 especies maderables estudiadas provenientes de plantación de Costa Rica.

Especie	Contenido de humedad inicial (%)	Contenido de humedad final (%)	Tiempo de secado (h)	Tasa de secado promedio (%/h)
<i>Acacia mangium</i>	131	17,30	376	0,31
<i>Alnus acuminata</i>	76	9,46	52	1,27
<i>Bombacopsis quinata</i>	182	10,40	143	0,91
<i>Cupressus lusitanica</i>	92	10,80	274	0,29
<i>Gmelina arborea</i>	170	11,50	278	0,53
<i>Swietenia macrophylla</i>	42	12,30	147	0,20
<i>Tectona grandis</i>	67	12,00	183	0,30
<i>Terminalia amazonia</i>	53	13,11	159	0,27
<i>Terminalia oblonga</i>	106	10,80	237	0,40
<i>Vochysia guatemalensis</i>	177	16,50	203	0,75

Cuadro 21. Comparación de la clasificación de defectos antes y después del secado de 10 especies estudiadas provenientes de plantación de Costa Rica.

Especie	Alabeo		Encorvadura		Acanaladura		Arqueadura		Reventadura		Rajaduras	
	Antes de secado	Después de secado										
<i>Acacia mangium</i>	Moderada	Baja	Moderada	Moderada	Baja	Moderada	Moderada	Moderada	Alta	Moderada	Moderada	Moderada
<i>Alnus acuminata</i>	Moderada	Baja	Moderada	Moderada	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Moderada	Moderada
<i>Bombacopsis quinata</i>	Moderada	Baja	Baja	Baja	Baja	-	-	-	Alta	Moderada	Moderada	Moderada
<i>Cupressus lusitanica</i>	Baja	Baja	Moderada	Moderada	Baja	Baja	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada
<i>Gmelina arborea</i>	Baja	Baja	Moderada	Moderada	Baja	Baja	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada
<i>Swietenia macrophylla</i>	Moderada	Baja	Moderada	Moderada	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Moderada	Moderada
<i>Tectona grandis</i>	Moderada	Baja	Moderada	Moderada	Baja	Baja	Moderada	Moderada	Moderada	Baja	Baja	Baja
<i>Terminalia amazonia</i>	Baja	Baja	Moderada	Moderada	Baja	Baja	Alta	Alta	Baja	Moderada	Alta	Alta
<i>Terminalia oblonga</i>	Baja	Baja	Moderada	Moderada	Baja	Baja	Moderada	Moderada	Baja	Baja	Moderada	Moderada
<i>Vochysia guatemalensis</i>	Baja	Baja	Moderada	Alto	Baja	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Baja	Moderada	Moderada

Características de secado en cámara convencional de la madera de 10 especies estudiadas provenientes de plantación de Costa Rica¹.

- En el secado convencional, *Acacia mangium* es la especie con mayor problema de secado no solo en cuanto al tiempo de duración (376 h), sino también en lo que atañe a la calidad del secado. Para *Gmelina arborea* el tiempo de secado no es tan prolongado (274 h).

- El contenido de humedad inicial de las especies varió de 42 a 182%, siendo *Bombacopsis quinata* el de mayor contenido inicial (182%) y *Swietenia macrophylla*, *Terminalia amazonia* y *Terminalia oblonga* con los valores de contenido de humedad inicial más bajos (42, 53 y 67 respectivamente). El contenido de humedad final varió de 10,8 a 17,3%. El más bajo fue medido en *Alnus acuminata* (9,46%) y los más altos fueron en *Acacia mangium* y *Vochysia guatemalensis* (17,30 y 16,55% respectivamente).

- La cantidad de horas en alcanzar el contenido de humedad deseado en el secado tradicional varió entre 52 y 376 h. Basados en los tiempos de secado de seis rangos, pueden ser establecidos los siguientes: rango 1 compuesto por *Acacia mangium*, el cual requiere el tiempo más alto en secar (376 h); rango 2 formado por *Cupressus lusitanica* y *Gmelina arborea*, con 274 y 278 h respectivamente; rango 3 constituido por *Tectona grandis* con 237 h y *Vochysia guatemalensis* con 203 h; rango 4 formado por *Terminalia oblonga* con 159 h y *Terminalia amazonia* con 183 h; rango 5 que lo componen *Bombacopsis quinata* con 143 h y *Swietenia macrophylla* con 147 h y el rango 6 formado por *Alnus acuminata* con el tiempo más corto (52 h).

- En general, las especies de los bosques naturales con alto peso específico tienden a presentar tiempos de secado más prolongados y son propensas a generar más defectos de secado que las especies de bajo peso específico básico. Sin embargo, el estudio de las especies provenientes de plantaciones forestales, no mostraron este comportamiento, algunas especies de bajo peso específico básico como *Vochysia guatemalensis*, *Alnus acuminata*, *Gmelina arborea* y *Bombacopsis quinata* no presentaron bajos tiempos de secado. En tanto

que especies con alto peso específico básico como *Terminalia amazonia* y *Terminalia oblonga* presentaron un tiempo intermedio de secado.

- La tasa de secado de las maderas de plantación varía de 0,20%/h a 1,27%/h. Acorde con los resultados de estas tasas, se establecieron cuatro grupos diferentes: Alta tasa (sobre 1,2 %/h e incluye las especies *Alnus acuminata* y *Bombacopsis quinata*. El siguiente grupo presenta un rango de secado de 0,57 a 0,79%/h y *Vochysia guatemalensis* y *Gmelina arborea* están incluida en ese grupo. Seguidamente se encuentra el grupo de especies con una tasa de secado de 0,20 a 0,40%/h y está formado por *Acacia mangium*, *Cupressus lusitanica*, *Tectona grandis*, *Terminalia amazonia* y *Terminalia oblonga*. Finalmente, *Swietenia macrophylla* y *Vochysia guatemalensis* conforman el grupo de más baja tasa de secado; menor a 0,20%/h.

- Las torceduras, reventaduras y rajaduras están presentes en la madera antes del proceso de secado. El alabeo en madera seca es moderado en el caso de *Alnus acuminata*, *Bombacopsis quinata*, *Swietenia macrophylla* y *Tectona grandis*. La encorvadura es de mediana presencia en todas las especies plantadas, excepto en *Cupressus lusitanica*, en la que este defecto es bajo. La madera recién aserrada de las 10 especies estudiadas no presenta acanalado. La arqueadura es de moderada presencia en todas las especies, excepto en *Alnus acuminata* y *Swietenia macrophylla*. Asimismo, *Terminalia amazonia* es una especie con alta presencia de arqueadura. Las reventaduras son de baja y moderada incidencia. Las rajaduras también son comunes en la madera verde, solo que en *Terminalia amazonia* se presenta en magnitud alta.

- Los defectos de alabeo, arqueadura, acanalado, reventaduras y rajaduras, en general aumentan luego del secado de la madera. Una especial disminución del alabeo ocurre luego del secado en *Alnus acuminata* y *Terminalia oblonga* y un decrecimiento de encorvadura ocurre en *Acacia mangium*, *Gmelina arborea*, *Swietenia macrophylla*, *Tectona grandis* y *Terminalia oblonga*.

¹ Se interpretan conjuntamente el Cuadro 14 y 15

Cuadro 22. Comparación de las propiedades de preservación por inmersión-difusión y vacío-presión de 10 especies maderables estudiadas provenientes de plantación de Costa Rica.

Propiedad de la madera	<i>Acacia mangium</i>	<i>Alnus acuminata</i>	<i>Bombacopsis quinata</i>	<i>Cupressus lusitanica</i>	<i>Gmelina arborea</i>	<i>Swietenia macrophylla</i>	<i>Tectona grandis</i>	<i>Terminalia amazonia</i>	<i>Terminalia oblonga</i>	<i>Vochysia guatemalensis</i>	
Difusión:											
Penetración albura	Posible e irregular	Posible e irregular	Permeable y uniforme	Permeable y uniforme	Permeable y uniforme	Permeable y uniforme	Permeable y uniforme	Permeable y uniforme	De poca penetración	Permeable y uniforme	
Penetración duramen	Posible e irregular	Posible e irregular	Permeable y uniforme	Impermeable	Permeable y uniforme	Permeable y uniforme	Permeable y uniforme	Permeable y uniforme	De poca penetración	Permeable y uniforme	
Cantidad de días en lograr el 100% de penetración en diferentes espesor	Esesor	Cantidad de días en lograr el 100% de penetración									
	1,2	17	-	-	50	10	16	-	<5	15	3
	2,5	21	18	21	55	25	22	15	<5	15	4
	3,8	25	21	25	70	50	28	20	<5	15	5
	5,0	28	25	28	85	75	32	30	<5	15	6
	6,2	31	28	-	100	75	37	-	<5	15	7
	7,5	39	-	-	120	106	40	-	<5	15	8
Presión:											
Penetración albura	Permeable y parcial	Permeable y parcial	Permeable y uniforme	Permeable e irregular	Permeable y uniforme	Permeable e irregular	Permeable y uniforme	Permeable y uniforme	Permeable y uniforme	Permeable e uniforme	
Penetración duramen	Impermeable	Impermeable	Impermeable	Impermeable	Impermeable	Permeable e irregular	Impermeable	Impermeable	Impermeable	Impermeable	
Absorción (litros/m ³)	386	119	198	103	185	240	293	216	215	483	

Características de preservación por inmersión-difusión y vacío-presión de la madera de 10 especies maderables estudiadas provenientes de plantación de Costa Rica.

- La técnica de preservación por inmersión-difusión, utilizada para la madera que estará sometida a condiciones de uso interior en las construcciones, aplica para todas las especies de maderas de plantación, exceptuando *Cupressus lusitanica*, para la cual la difusión del preservante se logra solo en la madera de albura y no en la de duramen.

- La velocidad de difusión de las sales de boro en general es muy rápida en *Terminalia amazonia* y *Terminalia obloga*, mientras que en las otras especies el proceso de difusión de las sales es más lento; siéndolo aún más en *Cupressus lusitanica*.

- Se observó que en las especies de reforestación compuestas por albura en su totalidad, es posible utilizar el método de preservación a presión, con la única excepción de la albura de *Cupressus lusitanica* ya que es totalmente impermeable.

- La penetración del preservante es irregular en la madera de albura de *Acacia mangium*, *Alnus acuminata* y *Swietenia macrophylla*.

- No resulta imposible preservar el duramen de todas las especies forestales con el método de vacío presión.

Cuadro 23. Comparación de la resistencia ante hongos e insectos de 10 especies maderables estudiadas provenientes de plantación de Costa Rica.

Propiedad de la madera	Condición	<i>Acacia mangium</i>	<i>Alnus acuminata</i>	<i>Bombacopsis quinata</i>	<i>Cupressus lusitanica</i>	<i>Gmelina arborea</i>	<i>Swietenia macrophylla</i>	<i>Tectona grandis</i>	<i>Terminalia amazonia</i>	<i>Terminalia oblonga</i>	<i>Vochysia guatemalensis</i>
Resistencia a hongos	Albura	Baja	Baja	Baja	Baja	Moderada	Moderada	Baja	Baja	Baja	Baja
	Duramen	Moderada	Moderada a alta	Moderada a alta	Moderada a alta	Moderada a alta	Moderada a alta	Moderada a alta	Moderada	Moderada	Moderada
	Albura preservada	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta
	Duramen preservado	No preserva	No preserva	No preserva	No preserva	No preserva	No preserva	No preserva	No preserva	No preserva	No preserva
Resistencia a insectos	Albura	Baja	Baja	Baja	Baja	Moderada	Moderada	Moderada	Baja	Baja	Baja
	Duramen	Baja	Moderada a alta	Alta	Moderada	Moderada a alta	Moderada a alta	Moderada a alta	Moderada	Moderada	Moderada
	Albura preservada	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta
	Duramen preservado	No preserva	No preserva	No preserva	No preserva	No preserva	No preserva	No preserva	No preserva	No preserva	No preserva

Características de resistencia al ataque de hongos e insectos de 10 especies maderables estudiadas provenientes de plantación de Costa Rica

- La madera de albura de casi todas las especies de plantación es catalogada de baja resistencia al ataque de hongos, por lo que este tipo de madera es conveniente preservarla, o bien alcanzar un secado a una humedad inferior al 16% e inmunizar a este tipo de madera. La madera de albura de *Swietenia macrophylla* es la especie de moderada durabilidad al ataque de hongos.
- Contrariamente, la madera de duramen es muy resistente al ataque de hongos.

- Cuando la madera de albura de todas las especies estudiadas se preserva, la madera se vuelve muy resistente al ataque de hongos.
- A excepción de la madera de albura de *Swietenia macrophylla*, *Gmelina arborea* y *Tectona grandis* que presentan moderada resistencia al ataque de insectos, para el resto de las especies estudiadas la madera de albura es resistente al ataque de hongos.
- Por su parte, el duramen en general es resistente al ataque de insectos y este se incrementa aún más con la preservación de la madera. El duramen de *Alnus acuminata* es el único que presenta baja resistencia al ataque de insectos.

Cuadro 24. Comparación de la trabajabilidad de la madera de 10 especies estudiadas provenientes de plantación de Costa Rica.

Propiedad de la madera	Parámetro	<i>Acacia mangium</i>	<i>Alnus acuminata</i>	<i>Bombacopsis quinata</i>	<i>Cupressus lusitanica</i>	<i>Gmelina arborea</i>	<i>Swietenia macrophylla</i>	<i>Tectona grandis</i>	<i>Terminalia amazonia</i>	<i>Terminalia oblonga</i>	<i>Vochysia guatemalensis</i>
Cepillado	Clasificación	Buena calidad	Mediana calidad	Excelente calidad	Buena calidad	Buena calidad	Buena calidad	Mediana calidad	Buena calidad	Buena calidad	Mediana calidad
	Presencia de defectos	Grano veloso y arrancado	Grano veloso y arrancado	Grano veloso leve y suave	Leve grano veloso y arrancado	Grano rasgado y veloso	Leve grano veloso y arrancado	Grano veloso y arrancado	Leve grano veloso y arrancado	Leve grano veloso y arrancado	Grano veloso y arrancado
	Recomendación	Ángulo de ataque=15° y velocidad de 6 m/min	Ángulo de ataque=15° y velocidad de 6 m/min	Ángulo de ataque de 15° y velocidad de 6 m/min	Ángulo de ataque de 30° y velocidad de 6-20 m/min	Ángulo de ataque de 30° y velocidad de 6-15 m/min	Ángulo de ataque de 15° y velocidad de 20 m/min	Ángulo de ataque de 10° y velocidad de 9-12 m/min	Ángulo de ataque de 30° y velocidad de 20 m/min	Ángulo de ataque de 30° y velocidad de 6 m/min	Ángulo de ataque de 30° y velocidad de 20 m/min
Lijado	Clasificación	Fácil	Fácil	Fácil	Fácil	Fácil	Fácil	Fácil	Fácil	Fácil	Fácil
	Presencia de defectos	Pocas marcas de lijas	Pocas marcas de lijas	Pocas marcas de lijas	Pocas marcas de lijas	Pocas marcas de lija	Pocas marcas de lijas	Pocas marcas de lijas	Pocas marcas de lijas	Pocas marcas de lijas	Pocas marcas de lijas
	Recomendación	Lijado normal	Lijado normal	Lijado normal	Lijado normal	Lijado normal	Lijado normal	Lijado normal	Lijado normal	Lijado normal	Lijado normal
Taladrado	Clasificación	Excelente calidad	Moderada calidad	Excelente calidad	Excelente calidad	Moderada calidad	Excelente calidad	Moderada calidad	Buena calidad	Buena calidad	Moderada calidad
	Presencia de defectos	Pocos defectos	Grano arrancado	Leve astillamiento	Leve astillamiento	Leve astillamiento	Pocos defectos	Leve astillamiento	Pocos defectos	Leve astillamiento	Grano arrancado
	Recomendación	Revoluciones sobre 1000 rpm	Revoluciones sobre 500 rpm	Revoluciones sobre 1000 rpm	Revoluciones sobre 1000 rpm	Revoluciones sobre 1000 rpm	Revoluciones sobre 1000 rpm	Revoluciones sobre 1000 rpm	Revoluciones sobre 1000 rpm	Revoluciones sobre 1000 rpm	Revoluciones sobre 1000 rpm
Moldurado	Clasificación	Excelente calidad	Moderada calidad	Excelente calidad	Excelente calidad	Buena calidad	Buena calidad	Buena calidad	Buena calidad	Buena calidad	Buena calidad
	Presencia de defectos	Poca presencia	Astillado y grano arrancado	Poca presencia	Poca presencia	Poca presencia	Poca presencia	Poca presencia	Vellosidad leve	Vellosidad leve	Vellosidad leve
Escopleado	Clasificación	Moderada calidad	Buena calidad	Buena calidad	Buena calidad	Buena calidad	Buena calidad	Buena calidad	Buena calidad	Buena calidad	Buena calidad
	Presencia de defectos	Grano fibroso	Grano veloso	Grano veloso	Pocos	Pocos	Leve presencia de grano veloso y arrancado.	Leve presencia de grano veloso y arrancado.	Leve presencia de grano veloso	Leve presencia de grano veloso	Leve presencia de grano veloso
	Recomendación	Lijar los bordes	Sin problemas	Sin problemas	Sin problemas	Sin problemas	Sin problemas	Sin problemas	Sin problemas	Sin problemas	Sin problemas
Torneado	Clasificación	Buena calidad	Moderada calidad	Buena calidad	Buena calidad	Moderada calidad	Buena calidad	Moderada calidad	Buena calidad	Buena calidad	Moderada calidad
	Presencia de defectos	Ligero astillado	Astillado y grano arrancado	Grano arrancado	Grano arrancado	Astillado y grano arrancado	Pocos	Astillado y grano arrancado	Ligero astillado	Ligero astillado	Astillado y el grano arrancado
	Recomendación	Gubia horizontal	Usar madera de árboles adultos	Pocos problemas	Colocar la gubia horizontal	Usar madera de árboles adultos	Colocar la gubia horizontal	Usar madera de árboles adultos	Colocar la gubia horizontal	Colocar la gubia horizontal	Usar madera de árboles adultos

Características de trabajabilidad de la madera de 10 especies estudiadas provenientes de plantación de Costa Rica

- En cuanto al cepillado, las especies estudiadas califican entre las categorías de bueno a excelente. Las especies que presentan algunos problemas de cepillado son *Alnus acuminata* y *Vochysia guatemalensis*, especialmente cuando la madera se obtiene de plantaciones cuya edad es inferior a 6 años.
- Los ángulos de corte (en cuchillas durante el cepillado) que deben utilizarse varían entre 15° y 30°, con velocidades de 6 a 20 m/min. Los ángulos pequeños y de bajas velocidades, se presentan en las especies de baja densidad. Por el contrario, en las especies de alta densidad se utilizan ángulos más altos y mayores velocidades.
- El lijado es fácil de realizar en todas las especies y se presenta pocos problemas.
- El taladrado es de moderado comportamiento en *Alnus acuminata*, *Gmelina arborea*, *Tectona grandis* y *Vochysia guatemalensis*, por lo que en estas especies deben utilizarse velocidades de giro adecuadas (sobre 660 rpm) y sobre todo, utilizar madera de árboles adultos. Para el resto de las especies, la propiedad de taladrado es catalogada de buena a excelente.
- El moldurado se presenta de bueno a excelente comportamiento en la mayoría de las especies y nuevamente la única excepción es *Alnus acuminata*, que presenta moderados problemas en esta operación de trabajabilidad.
- La operación de escopleado en todas las especies es de buen comportamiento, con la excepción de *Acacia mangium* ya que su comportamiento es descrito como moderado. Por lo que en cuanto al orificio realizado con esta operación, se debe lijar para evitar problemas al momento de ensamblar dos piezas de madera.
- La operación de torneado es considerada de mediano desempeño en las especies de *Alnus acuminata*, *Gmelina arborea*, *Tectona grandis* y *Vochysia guatemalensis*, ya que en la superficie torneada se presenta el grano levantado y por lo tanto, lijar esta superficie conlleva más tiempo que el resto de las especies. Para estas especies deben utilizarse velocidades de giro adecuadas (sobre 1000 rpm) y sobre todo utilizar madera proveniente de árboles adultos.

Conclusiones

Conclusiones

- Las propiedades y el comportamiento de las operaciones de transformación e industrialización de las 10 especies maderables estudiadas y provenientes de plantaciones forestales, se califican como aceptables.
- Se determinó que las operaciones de aprovechamiento y de proceso, no presentan inconvenientes en el aserrío, el secado, la preservación y la trabajabilidad de la madera. Algunas especies presentan un comportamiento diferente, el cual depende de la operación específica que se aplique a las trozas, o bien a las maderas.
- Algunos de los aspectos más importantes que deben tomarse en cuenta, según las propiedades de las especies maderables provenientes de plantaciones forestales, en sus diferentes etapas de aprovechamiento e industrialización son:
 - En la etapa de aprovechamiento se presentan algunos inconvenientes en *Terminalia amazonia* y *Terminalia ablonga*, dado que desarrollan gambas muy extendidas y dificultan un adecuado direccionamiento en la caída del árbol.
 - Para las especies *Bombacopsis quinata* y *Cupressus lusitanica*, el desrame y el transporte de los árboles pueden verse afectados, ya que ambas especies presentan gran cantidad de agujones y ramas en abundancia.
- La anatomía de la madera proveniente de plantaciones forestales, es típica de las especies desarrolladas en climas tropicales, a excepción de *Cupressus lusitanica*, ya que esas condiciones no producen inconvenientes en los procesos industriales. No obstante, en el caso de *Tectona grandis*, la abundancia de sílica vitrea provoca el desafilado de las herramientas de corte, problema que no presentan las otras especies evaluadas. Por lo tanto, se requiere del afilado constante, o bien el empleo de herramientas más resistentes al desafilado, para el proceso de corte de *Tectona grandis*.
- En cuanto a las propiedades físicas y mecánicas, se tiene que *Alnus acuminata*, *Bombacopsis quinata*, *Cupressus lusitanica*, *Gmelina arborea*, *Vochysia guatemalensis* y *Swietenia microphylla*, son maderas de moderado peso específico y por ende, moderada resistencia mecánica.
- Consecuentemente, las propiedades químicas mostraron que en general todas las maderas de las especies de plantaciones evaluadas, presentan una ligera acidez, aunque ésta no afecta el futuro desempeño de esas propiedades. Además, la capacidad calórica posee valores superiores a 15 mil KJ/kg, cifra superior a otros materiales lignocelulósicos, indicativo explícito de que las especies pueden ser utilizadas en la producción de energía.
- En la madera de *Acacia mangium* y *Tectona grandis* se observó que son especies con alto contenido de extractivos y si no se utilizan los adhesivos adecuados o si no se siguen los procedimientos establecidos para ese fin, los extractivos pueden afectar la adherencia del material adhesivo que se va a emplear.

- En la operación estudiada respecto al desempeño del aserrío, la madera produjo ciertas torceduras, producto de las tensiones durante el crecimiento de los árboles y son *Terminalia amazonia* y *Acacia mangium*, las maderas que presentaron la mayor problemática. Esto implica que las trozas de ambas especies deben ser procesadas de manera inmediata a la etapa de aprovechamiento y en lo posible se tiene que aplicar la técnica de cortes múltiples en las trozas.

- En cuanto a las propiedades de secado de la madera, se encontró que *Acacia mangium*, *Gmelina arborea* y *Vochysia guatemalensis*, presentan tiempos de secado prolongados y múltiples defectos que se manifiestan en ese proceso. Para obtener los mejores resultados debe prestarse especial cuidado durante el secado, siguiendo detalladamente los pasos que indican las fichas técnicas 1, 4 y 10 (desarrollados en este estudio). Los tiempos de secado y el desarrollo de defectos en la madera del resto de las especies, fueron similares a otras especies maderables provenientes de bosques naturales.

- Al aplicar la técnica de preservación con presión, el duramen no se preserva cuando está presente en la madera. Por el contrario, la preservación en albura es posible en el resto de las maderas incluidas en el estudio, excepto en *Cupressus lusitanica*. La técnica de preservación con inmersión-difusión obtuvo buenos resultados en todas las especies, excepto en *C. lusitanica* en la que la difusión solo se logra en albura, por lo que en ésta especie dicha técnica no es recomendable.

- La durabilidad de la madera de *Alnus acuminata* y *Vochysia guatemalensis* es baja. Contrariamente, *Tectona grandis* y *Acacia mangium* presentan altos valores de durabilidad. El resto de las maderas son de durabilidad media. Con el propósito de aumentar la durabilidad de baja y mediana resistencia, se deben preservar las maderas bajo las condiciones establecidas en cada una de las fichas técnicas establecidas en este estudio.

- Finalmente, en cuanto a la trabajabilidad de las maderas, de nuevo es la especie *Alnus acuminata* la que evidencia mayores problemas. Además, en operaciones como el lijado, taladrado y escopleado, se incrementan los problemas proporcionalmente en la medida que aumenta el peso específico básico de la madera. Así, para aumentar la calidad de las operaciones de trabajabilidad se deben seguir las pautas definidas para cada tipo de operación, según lo indicado en el contenido de las 10 fichas técnicas elaboradas.

Bibliografía

- ASTM (American Society for Testing and Materials, US). 2003a. D1106 Standard test method for acid-insoluble lignin in wood. (CD-ROM). *In* Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia, US, ASTM. Vol. 11.06. 2 p. (ASTM D 1106-96 Repeved 2001). 1 CD-ROM.
- _____. 2003b. D1666-93 Standard test methods for conducting machining tests of wood and wood-base materials 1. (CD-ROM). *In* Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia, US, ASTM. Vol. 11.06. 19 p. (ASTM D 1666-87 Repeved 2004). 1 CD-ROM.
- _____. 2003c. D2017-81 Standard method of accelerated laboratory test of natural decay resistance of woods. (CD-ROM). *In* Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia, US, ASTM. Vol. 11.06. 5 p (ASTM D 2017-81 Repeved 1994). 1 CD-ROM.
- _____. 2003d. D1108-96 Standard test method for dichloromethane solubles in wood. (CD-ROM). *In* Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.10. Philadelphia, US, ASTM. Vol. 11.06. 2 p. (ASTM D 1108-96 Repeved 2001). 1 CD-ROM.
- _____. 2003e. D1109-84 (1995) e1 Standard test method for 1% sodium hydroxide solubility of wood. CD-ROM. *In* Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia, US, ASTM. Vol. 11.06. 2 p. (ASTM D 1109-96 Repeved 2001). 1 CD-ROM.
- _____. 2003f. D1110-84 (1995) Standard test methods for water solubility of wood. (CD-ROM). *In*: Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia, US, ASTM. Vol. Vol. 11.06. 2 p. (ASTM D 1110-96 Repeved 2001). 1 CD-ROM.
- _____. 2003g. D1102-84 (1995) e1 Standard test method for ash in wood. (CD-ROM). *In* Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia, US, ASTM. Vol. Vol. 11.06. 2 p. (ASTM D 1102-81 Repeved 2001). 1 CD-ROM.
- _____. 2003h. D1107-96 Standard test method for ethanol-toluene solubility of wood. (CD-ROM). *In* Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia, US, ASTM. Vol. 04.10. 2 p. (ASTM D 1107-96 Repeved 2001). 1 CD-ROM.
- _____. 2003i. D5536-94 (2003) Standard practice for sampling forest trees for determination of clear wood Properties. (CD-ROM). *In* Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia, US, ASTM. Vol. Vol. 11.06. 9 p. (ASTM D 5536-94 Repeved 2004). 1 CD-ROM.
- _____. 2003j. D2395-02 Standard test methods for specific gravity of wood and wood-base materials. (CD-ROM). *In* Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia, US, ASTM. Vol. Vol. 11.06. 9 p. 1 CD-ROM.
- _____. 2003k. D143-94 Test methods for small clear specimens of timber. (CD-ROM). *In* Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia, US, ASTM. Vol. 04.10. 31 p. 1 CD-ROM.
- _____. 2003-l. D5865-04 Standard test method for gross calorific value of coal and coke. (CD-ROM.). *In* Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia, US, ASTM. Vol. 04.10. 14 p. 1 CD-ROM.
- _____. 2003m D3345-74. Laboratory evaluation of wood and other cellulosic materials for resistance to termites. (CD-ROM). *In* Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia, US, ASTM. Vol. 04.10. 3 p. (ASTM D 5536-94 Repeved 1999). 1 CD-ROM.

- Barrantes, A; Castro, G. 2007. Usos y aportes de la madera en Costa Rica. San José, CR, Oficina Nacional Forestal, Ministerio de Energía y Minas. 28 p.
- COPAN (Comisión Pan-Americana de Normas Técnicas, BR). 1974. Descripción macroscópica, microscópica y general de la madera. São Paulo, BR, COPAN. Vol. 30. p.1-19.
- Cordero, J. 2003. Propiedades de la madera. In Cordero, J; Boshier, DH. *Bombacopsis quinata* un árbol maderable para reforestar. Oxford Forestry Institute, UK, Department of Plant Science. University of Oxford. Tropical Forestry Paper, N°39. 119 p.
- Espinoza, N; León, W. 2001. Anatomía de la madera. Mérida, VE, Universidad de Los Andes. Consejo de Publicaciones y Consejo de Desarrollo Científico, Humanístico y Tecnológico. 397 p.
- Erickson, HD. 1962. Some aspects of method in determining cellulose in wood. Tappi 45:710-719.
- FAO (Food and Agriculture Organization, IT). 1986. Wood preservation manual. Mechanical wood products branch. Roma, IT, Forestry Dept., Forest Industries Division. 152 p.
- Hallock, H; Malcolm, FB. 1972. Sawing to reduce warp in plantation red pine studs. Madison, US, USDA Forest Service, Forest Products Laboratory. 35 p. (Research Paper FLP-164).
- Hess, RW; Wangaard, FF; Dickinson, FE. 1950. Properties and uses of tropical woods. Part II. Tropical Woods 97:1-137.
- IAWA (International Association of Wood Anatomist, US). 1989. List of microscopic features for hardwood identification. IAWA Bull. 10(3):219-332.
- INNC (Instituto Nacional de Normalización de Chile). 1992. NCh 819 E Of.77 Madera – Preservación – Clasificación de productos preservados y requisitos de penetración y retención. Santiago de Chile, INNC. 7 p.
- Johansen, DA. 1940. Plant microtechnique. New York, US, MacGraw-Hill. 533 p.
- Mac Corporation. 1994. Munsell soil color charts. New York, US, Macbeth Division of Kollmorgen Instruments Corporation. 35 p.
- Milota, MR. 1996. Method of measurement of bow and crook. Forest Products Journal 41(9):65-68.
- Moya Roque, R. 2004. Wood of *Gmelina arborea* in Costa Rica. New Forests 28(2-3):299-317.
- Moya Roque, R; Muñoz, F. 2008. Wet pockets in kiln-dried *Gmelina arborea* lumber. Journal of Tropical Forest Science 20(1):48-56.
- Moore, W; Johnson, D. 1967. Procedures for the chemical analysis of wood and wood products. Madison, WI, US, USDA, Forest Service, Forest Products Laboratory. 15 p. (Research Paper FLP).
- Rietz, R; Page, R. 1971. Air drying of lumber: A guide to industry practices. Madison, WI, US, Department of Agriculture. Forest Service. 62 p. (Agriculture Handbook No. 402).

- Sidney, R; Charles J; Kozlik, P; Bois, J; Wengert, E. 1988. Dry kiln schedules for commercial woods: Temperate and tropical. Madison, US, USDA, Forest Service Forest Products Laboratory. 158 p. (General Technical Report FPL-GTR-57).
- Sparks, DL. 1996. Methods of soil analysis. Part 3, Chemical methods. Madison, WI, US, Soil Science Society of America. 356 p.
- TAPPI (Technical Association of the Pulp and Paper Industry, US). 2002. Tappi T 222 om-02 revised 2002. Standard test for acid-insoluble lignin in wood and pulp. Parkway South Norcross, US, TAPPI. 4 p.
- UTHSCSA (University of Texas Health Science Center at San Antonio, US). 2006. Image Tools. San Antonio, Texas University, US. (en línea). Consultado 15 feb. 2006. Disponible en <http://ddsdx.uthscsa.edu/dig/download.html>
- Williams, L; Mauldin, J. 1986. Integrated protection against lyctid beetle infestations. III. Implementing boron treatment of Virola lumber in Brazil. *Forest Products Journal* 36 (11-12):24-28.
- Wise, LE; Murphy, M. 1946. Chlorite holocellulose. Its fractionation and bearing on summative wood analysis and on studies on the hemicelluloses. *Paper Trade Journal* 122:35-43.

