

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIÓN Y EXTENSIÓN

DIRECCIÓN DE PROYECTOS

ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INTEGRACIÓN BOSQUE INDUSTRIA

INFORME FINAL DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**MADHERAS II: TECNOLOGIA DE LA MADERA DE SEIS ESPECIES NATIVAS DE RAPIDO
CRECIMIENTO CON POTENCIAL PARA LA REFORESTACIÓN COMERCIAL EN COSTA
RICA**

(DOCUMENTO I)

INVESTIGADORES:

*Ing. Roger Moya R. Ph.D.
Ing. Carolina Tenorio M. M. Eng.
Ing. Alexander Berrocal J. Ph.D.
Ing. Cynthia Salas G. M.Sc.*

Diciembre, 2014

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
2. Resumen	3
3. Palabras clave:.....	3
4. Introducción	4
5. Marco Teórico	4
6. Metodología	6
3. Resultados.....	17

INFORME FINAL DE PROYECTO

“Madheras II: tecnología de la madera de seis especies nativas de rápido crecimiento con potencial para la reforestación comercial en Costa Rica”

MADHERAS II: TECNOLOGIA DE LA MADERA DE SEIS ESPECIES NATIVAS DE RAPIDO CRECIMIENTO CON POTENCIAL PARA LA REFORESTACIÓN COMERCIAL EN COSTA RICA

Código: 5401-1401-1027

1. Autores:

- 1.1. Ing. Roger Moya Roque. Ph.D. (Coordinador)
- 1.2. Ing. Carolina Tenorio Monge. M. Eng.
- 1.3. Ing. Alexander Berrocal Jimenez. Ph.D.
- 1.4. Ing. Cynthia Salas Gamboa. M.Sc.

2. Resumen

En Costa Rica se han plantado con éxito varias especies forestales para la producción de madera. No obstante, aunque la industria maderera de Costa Rica se abastece principalmente de productos de plantaciones forestales, sin embargo aún no se conocen en su totalidad aspecto de su calidad y sus propiedades. De forma que este proyecto generó información técnica concerniente a las propiedades físicas, mecánicas, químicas y energéticas, así como el comportamiento en el aprovechamiento, aserrío, secado, preservado y trabajabilidad, de seis especies utilizadas en plantaciones forestales en el país: *Cordia alliodora*, *Dipteryx panamensis*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Hieronyma alchorneoides*, *Samanea saman* y *Vochysia ferruginea*. Esta información es presentada en forma de fichas técnicas, que contienen datos e información confiable que facilite la toma de decisiones de los consumidores de acuerdo a sus expectativas y necesidades.

SUMMARY

Several forest species have successfully planted in Costa Rica for timber production. Although sawmill is mainly supplied with products of forest plantations in Costa Rica, curiously domestic end-users perceive that wood from plantation are low quality woods and poor properties. So this project have the objective to determine physical, mechanical, chemical and energetic properties and behavior harvesting, sawmilling, dried, preserved and workability for six species used in forest plantations in Costa Rica: *Cordia alliodora*, *Dipteryx panamensis*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Hieronyma alchorneoides*, *Samanea saman* and *Vochysia ferruginea*. This information is presented as technical fact sheets, containing data and reliable information to facilitate decision-making by consumers according to their expectations and needs.

3. Palabras clave

Maderas de plantaciones, especies tropicales, madera juvenil, propiedades de madera, procesos industriales.

INFORME FINAL DE PROYECTO

“Madheras II: tecnología de la madera de seis especies nativas de rápido crecimiento con potencial para la reforestación comercial en Costa Rica”

Keywords: plantation wood, tropical species, juvenile wood, wood properties, industrial process.

4. Introducción

Actualmente el mercado e industria maderera costarricense se abastece en un alto porcentaje de madera provenientes de especies de plantación y en un porcentaje, cada vez menor, de maderas cosechadas en el bosque natural (Barrantes y Ugalde, 2014). 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 una madera de baja calidad, propiedades inferiores y con algunos problemas en procesos industriales.

Un aporte de este proyecto es dar a conocer las propiedades físicas, mecánicas, químicas y energéticas, el comportamiento en procesos de secado y preservación, aprovechamiento forestal, rendimiento en aserrío, descripciones anatómicas, durabilidad y trabajabilidad de algunas especies importantes 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 *Cordia alliodora*, *Dipteryx panamensis*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Hieronyma alchorneoides*, *Samanea saman* y *Vochysia ferruginea*, 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.

Países desarrollados como EEUU, 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 o éxito de estos países es que le han dado a la madera un manejo tecnológico y sostenible en todas sus etapas. No obstante, en general, todavía se presentan vacíos de conocimiento de éstas y otras potenciales especies referente 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 es mediante la diversificación de productos madereros y bajo el concepto de productos de ingeniería en maderas, lo que es vital para incursionar competitivamente a 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 nativos.

5. Marco Teórico

Costa Rica y otros países de América Central tienen una gran variedad de maderas semiduras para aserrío, tanto de fuentes naturales, como de plantaciones forestales (Moya,

INFORME FINAL DE PROYECTO

“Maderas II: tecnología de la madera de seis especies nativas de rápido crecimiento con potencial para la reforestación comercial en Costa Rica”

2004). Las especies nativas y exóticas han adquirido una amplia importancia comercial en proyectos de reforestación basados en el conocimiento limitado de su genética, reproducción, y manejo en las fases de plantaciones. Para el año 2006, 5000 hectáreas de especies nativas fueron señaladas como plantaciones forestales con fines de producción, lo cual limitaba el establecimiento de un mercado sostenible para el comercio de la madera (Barrantes y Castro 2007).

Especies de relativo rápido crecimiento (con períodos de rotación de menos de 30 años), como lo son *Terminalia amazonia*, *Terminalia oblonga*, *Vochysia guatemalensis*, *Bombacopsis quinata*, *Alnus acuminata*, *Swietenia macrophylla*, *Cordia alliodora* y *Hyeronima alchorneoides* (especies nativas) y *Tectona grandis*, *Cupressus lusitanica*, *Acacia mangium* y *Gmelina arborea* (especies exóticas), han sido ampliamente estudiadas y han mostrado excelentes resultados con plantaciones forestales en Costa Rica (Murillo et al 2001, Pérez y Kanninen 2001, Petit y Montagnini 2004, Moya 2004). Algunas especies nativas han tenido mucha importancia en la reforestación con fines comerciales, debido a su excelente buen desempeño en plantaciones puras y mixtas (con otras especies de reforestación o sistemas agroforestales) (Piotto et al 2003, Alice et al 2004). Factores como una productividad prometedor, su exitoso establecimiento en áreas degradadas o abandonadas por otras actividades comerciales, los beneficios nutricionales en la fertilidad del suelo, la posibilidad de desarrollar sistemas agroforestales o silvopastoriles, la fijación y el secuestro de carbono, entre otros, son buenos promotores de la reforestación con especies nativas en el país (Gonzalez y Fisher 1994, Montagnini 2000, Petit y Montagnini 2004).

Actualmente se pueden encontrar muchas referencias sobre las propiedades y características de la madera de *T. grandis*, *A. mangium*, *G. arborea* y otras especies de interés nacional en Costa Rica (Pérez y Kanninen 2003, 2005, Moya et al 2008, Moya y Tomazello 2008, Tenorio et al 2011, Tenorio et al 2012). De hecho recientemente se generó el libro denominado “Tecnología de madera de plantaciones forestales: Fichas Técnicas”, con la información tecnológica las 10 especies de reforestación más importante en nuestro país. Sin embargo, existen muy pocos estudios y publicaciones realizadas de las otras especies utilizadas en plantaciones forestales, específicamente en especies nativas y que presentan gran potencial de reforestación comercial, debido a su fácil adaptación en sitios de baja fertilidad.

Aunado a ello, los estudios de las propiedades de la madera de estas especies con potencial son limitados y en el caso de encontrar referencias, las características estudiadas son muy reducidas. Por ejemplo, Butterfield et al (1993) llevaron a cabo un estudio de la variación en sentido radial de la densidad básica, longitud de las fibras y área de vasos de médula a la corteza en madera proveniente de árboles de plantaciones de *Hyeronima alchorneoides* y *Vochysia guatemalensis*. Gonzalez y Fisher (1998) estudiaron el peso específico, el largo de las fibras, la densidad de vasos y el radio de los mismos en árboles de *V. guatemalensis*. Recientemente Obando (2012) estudiaron las características silviculturales de árboles de 19 años de *Samanea saman* y *Enterolobium cyclocarpum* provenientes de plantaciones mixtas ubicadas en Guanacaste, Costa Rica, dentro de estas características evaluaron densidad, peso específico, contracciones y color de la madera. Sin embargo, aún hace falta información importante sobre las propiedades químicas, físicas y mecánicas, además del desempeño y calidad de la madera en el aserrío, su proceso de secado, preservación, durabilidad y trabajabilidad. Todas ellas importantes para determinar los posibles usos que se le pueden dar a determinadas especies de plantaciones.

Seleccionar especies de plantaciones para un determinado uso final requiere tomar en consideración muchos factores. En general esta selección va a depender de una o una

INFORME FINAL DE PROYECTO

“Madheras II: tecnología de la madera de seis especies nativas de rápido crecimiento con potencial para la reforestación comercial en Costa Rica”

combinación de propiedades de la madera dichas especies. Dentro de estas propiedades el peso específico es la propiedad de la madera más estudiada, debido, a que es un buen indicador de las características de trabajabilidad de la madera. Sin embargo, existen otras propiedades no relacionadas con el peso específico que pueden afectar los requerimientos del uso final de la madera, como lo son características anatómicas y químicas (Zobel & Van Buijtenen 1989). La marcada diferencia entre las diversas propiedades de la madera que poseen las especies hace necesario tomar en consideración la información acerca de la calidad y uso potencial de las mismas, ya que estas tienen cierta influencia en el procesamiento, secado y trabajabilidad del producto final (Laurila 1995).

Considerando que algunas especies nativas provenientes de plantaciones de rápido crecimiento como maderas alternativas carecen de información técnica es que se presenta el siguiente informe de un proyecto de investigación cuyo objetivo fue de determinar las distintas propiedades químicas, anatómicas, físicas, mecánicas, de secado, preservación y trabajabilidad de *Hyeronima alchorneoides*, *Dypterix panamensis*, *Cordia alliodora*, *Vochysia ferruginea*, *Enterolobium cyclocarpum* y *Samanea saman*, todas especies nativas.

Es imperativo señalar que los beneficiados de los resultados de este proyecto permitirán mejorar a través del mismo el conocimiento de potenciales materias primas procedentes de fuentes renovables. Este conocimiento permitirá mejorar la base técnica y científica de los materiales producidos en nuestro país. Así mismo se debe señalar que las plantaciones forestales son desarrolladas principalmente en las regiones rurales del país, localidades que por lo general son de bajo desarrollo cultural y económico. El desarrollo de nuevos productos de ingeniería con materias primas de estas regiones permitirá dar una apertura a nuevos puestos de trabajo, dando oportunidad a los ciudadanos de estas regiones de mejorar sus condiciones socio-económicas. De esta forma las universidades públicas, estarían aportando oportunidades para mejorar el nivel de vida al menos de un sector de la sociedad costarricense. Otros impactos del desarrollo del proyecto que se pueden señalar son:

Fortalecimiento del conocimiento científico y tecnológico de las especies que están siendo plantadas con fines comerciales con la finalidad de abastecer de materia prima a las industrias de la madera.

Fortalecimiento Socioeconómico: es posible generar, producir y elaborar una mayor diversidad de productos. Además de consolidar la participación de los pequeños y medianos productores en el futuro desarrollo de la reforestación comercial en Costa Rica, además de generar una cadena de empleo en actividades de producción forestal como de industria de la madera (primaria y secundaria) entre el sector rural y el sector urbano del país.

Fortalecimiento ambiental y de conservación: las utilización de madera proveniente de plantaciones permite que los bosques naturales se preserven para la producción de bienes ambientales tales como la conservación de los recursos hídricos, a flora y fauna, aumento de las áreas destinadas al turismo ecológico entre otras.

6. Metodología

6.1. Muestreo

INFORME FINAL DE PROYECTO

“Madheras II: tecnología de la madera de seis especies nativas de rápido crecimiento con potencial para la reforestación comercial en Costa Rica”

Las plantaciones muestreadas presentaban rangos de edad entre 9 y 13 años, densidades entre 338 a 575 árboles/ha y éstas fueron seleccionados en consideración del apoyo dado por diferentes empresas de reforestación. En la selección de los árboles a muestrear, se estableció una parcela temporal de donde fueron tomados los datos de diámetro a la altura del pecho (d), altura total de los árboles y altura de inicio de la copa. 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, energéticas 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, la preservación, entre otras.

6.2. Aprovechamiento

Esta operación se realizó en los diferentes árboles que fueron seleccionados para extraer el material para las diferentes pruebas o ensayos (entre 20 y 30 árboles) y fueron evaluados los siguientes aspectos:

Facilidad de corte: Se realizó una entrevista a los operarios encargados de la corta de los árboles, en donde emitieran su opinión, de acuerdo a su experiencia sobre la facilidad o no del corte de los árboles. Así mismo, se observó y anotó el tipo de corte que aplicado en el momento del corte 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 1).

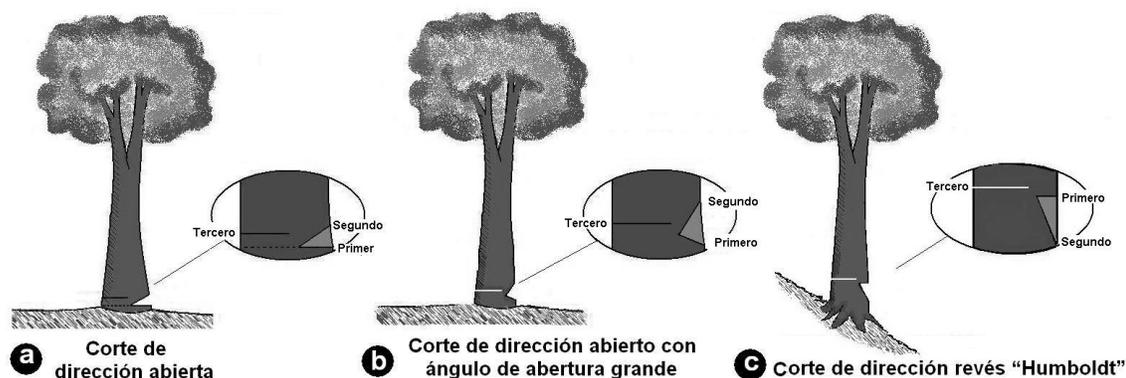


Figura 1. Tipos de corte utilizados en la operación de corta de árboles en plantaciones forestales.

Caída natural y cambio de dirección de caída: la caída natural se evaluó de manera visual y por medio de preguntas a operarios, las cuales se consultó si los árboles presentan una caída natural definida. El cambio de dirección de caída es referido a facilidad o no de cambiar la caída natural del árbol.

INFORME FINAL DE PROYECTO

“Madheras II: tecnología de la madera de seis especies nativas de rápido crecimiento con potencial para la reforestación comercial en Costa Rica”

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

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 en el momento de caer el árbol.

Trozas por árbol: la cantidad de trozas por árbol se calculó promediando la cantidad de trozas obtenido de un árbol durante las operaciones de corta y de 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 fue evaluó la facilidad y la rapidez de esta operación, considerando la frecuencia y grueso de ramas.

6.3. Troceo, transporte y durabilidad de trozas

Troceo: fue evaluada por la observación de la operación y fue considerado las facilidades que ofrece la especie, al hacer corte transversal en el fuste.

Acarreo: primeramente se cuantifico el transporte por el peso de una troza con una longitud de 2,5 m y un diámetro de 20 cm de diámetro, que corresponde al peso de puede transportar una persona en un transporte 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 especializados.

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

6.4. 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 se consideró como referencia los términos establecidos por Espinosa y León (2001). Además, se consultaron los términos usados por la Asociación Internacional de Anatomista de la Madera Latifoliadas (IAWA, 1989), los criterios de la Comisión Pan-Americana de Normas (COPANT, 1974). Así mismo el color de la madera fue dado utilizado la tabla de colores de Munsell utilizado para establecer los colores de suelo (Mac Corporation, 1994)

6.5. Descripción microscópica de la madera

INFORME FINAL DE PROYECTO

“Madheras II: tecnología de la madera de seis especies nativas de rápido crecimiento con potencial para la reforestación comercial en Costa Rica”

Fueron utilizadas las normas de la Asociación Internacional de Anatomista de la Madera Latifoliadas (IAWA, 1989). En la preparación de las láminas fueron realizados cortes histológicos de 12-17 μm de espesor en los planos transversal, tangencial y radial. Estos fueron pegados en láminas con bálsamo de Canadá (Johansen, 1940) y observadas en microscopio de luz para la descripción. Aquellos elementos anatómicos que fue necesario medir fue primeramente obtenidos imágenes digitales de los elementos anatómicos de interés y luego con la ayuda del software Imagen Tool© desarrollado por el Health Science Center de la Universidad de Texas (UTHSCSA, 2006) fueron medidos los elementos anatómicos.

6.6. Propiedades físicas

Sobre el disco cortado transversalmente a la 1,30 m de altura 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 (Figura 2). En los sobrantes del disco fueron cortadas dos muestras para la determinación de la contracción tangencial y radial.

Las propiedades físicas evaluados se siguió los estándares D-2395-02, D-143-94 y D-5865-04 de los Estándares Americanos de Pruebas de Materiales (ASTM, 2003a, 2003b, 2003c) y las siguientes propiedades los fueron evaluadas:

- Peso específico en 3 condiciones: básico, seca al aire o al 12% de contenido de humedad y seco al horno
- Densidad de la madera en 3 condiciones: densidad verde, seca al aire o al 12% de contenido de humedad y seco al horno
- Contenido de humedad en condición verde
- Poder calórico en 2 condiciones: verde y seca 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 en el cómo normal y la segunda como total.
- Razón de Contracción tangencial/radial

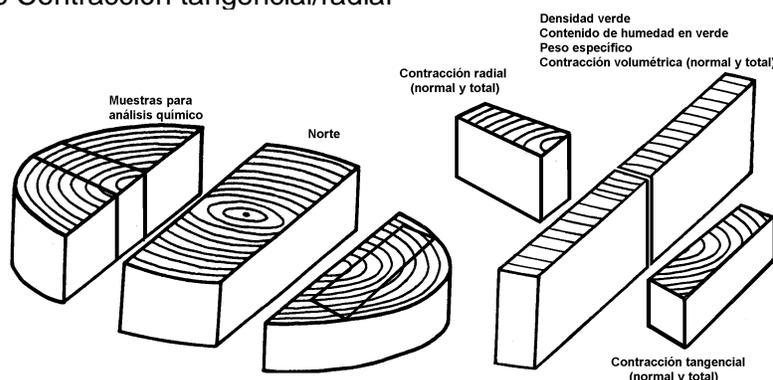


Figura 2. Forma de obtener las muestras en la determinación de las propiedades físicas

INFORME FINAL DE PROYECTO

“Madheras II: tecnología de la madera de seis especies nativas de rápido crecimiento con potencial para la reforestación comercial en Costa Rica”

El valor de peso específico fue clasificado con lo propuesto para Hess et al. (1950) para especies tropicales de México y el detalle de esta clasificación es dada en la tabla 1. Así mismo las contracciones para cada una de las especies, los índices de estabilidad (relación contracción tangencial y contracción radial) se clasificaron de acuerdo con Barcenás (1985) y detallado en la Tabla 2.

Tabla 1. Rangos generales de clasificación de maderas por peso específico básico utilizado en las 10 especies maderables de plantaciones forestales de Costa Rica

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

Tabla 2. 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		

6.7. Propiedades mecánicas

De las dos trozas obtenidas de la base del árbol, se aplicó el patrón de corte establecido en el estándar D-5536-94 (ASTM 2003d), en el cual fueron cortados bloques en la parte central del árbol de tipo cruciforme de dimensiones de 6 cm x 6 cm de sección transversal para luego

INFORME FINAL DE PROYECTO

“Maderas II: tecnología de la madera de seis especies nativas de rápido crecimiento con potencial para la reforestación comercial en Costa Rica”

obtener las piezas de 5 x 5 cm o bien las piezas de 2,5 x 2,5 cm (Figura 3). Las propiedades mecánicas determinadas fueron: módulo de ruptura y módulo de elasticidad en flexión estática, esfuerzo máximo en compresión paralela a la fibra, en compresión perpendicular a la fibra, en tensión paralela a la fibra, en cortante paralela a la fibra tangencial y radial, en tensión perpendicular a la fibra tangencial y radial, en clivaje tangencial y radial, dureza janka axial y lateral y 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 2003b), en madera en dos condiciones de humedad, seca al 12% de contenido de humedad denominado seca al aire y en condición verde.

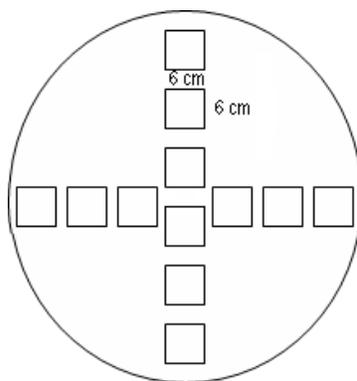


Figura 3. Esquema de corte utilizado en la obtención de las muestras para las propiedades mecánicas de la madera.

6.8. Propiedades químicas

La determinación de las propiedades químicas se extrajo aserrín resultante de los discos obtenidos al “d” (Figura 2). En para los análisis químicos se tomaron tres muestras. Los análisis químicos comprendieron los siguientes parámetros:

- Porcentaje de holocelulosa aplicando los procedimiento 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, 2003e)
- Solubilidad en 1 % Hidróxido de Sodio (NaOH) aplicando estándar ASTM-D 1109-84 (ASTM, 2003f)
- Solubilidad en agua (fría y caliente) estándar ASTM-D 1110-84 (ASTM, 2003g)
- Solubilidad diclorometano (CH₂-Cl₂) estándar ASTM-D 1108-96 (ASTM, 2003h)
- Solubilidad en etanol-tolueno estándar ASTM-D 1107-96 (ASTM, 2003i)
- Contenido de cenizas estándar ASTM D 1102-84 (ASTM, 2003j)
- 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.

6.9. Propiedades energéticas

INFORME FINAL DE PROYECTO

“Madheras II: tecnología de la madera de seis especies nativas de rápido crecimiento con potencial para la reforestación comercial en Costa Rica”

La determinación de las propiedades energéticas se extrajo aserrín resultante de los discos obtenidos al “d” (Figura 2). Las propiedades analizadas fueron el porcentaje de Carbono, Nitrógeno y la relación C/N y el poder calórico, además se realizó un análisis termogravimétrico. El porcentaje de Carbono, Nitrógeno y la relación C/N fueron determinados mediante el uso del Elementar Analysis System, modelo Vario Macro Cube. El poder calórico se obtuvo en condición verde y en condición seca. El poder calórico se basa en la determinación de la cantidad de energía total que un material orgánico emite, en este caso se determinó usando la prueba calorimétrica de Parr’s mediante la norma ASTM D-5865 (ASTM 2003c).

Las mediciones del análisis termogravimétrico (TGA) se llevaron a cabo utilizando 1 mg del aserrín de cada una de las especies tamizado entre 40 y 60 mesh, a una velocidad de calentamiento de 20 °C/min en una atmósfera de nitrógeno y llegando a una temperatura de 950°C en 17 minutos. Fue utilizado un Analizador Termogravimétrico modelo TGA 5000, marca Instrument NBr. En dicho análisis se proporciona la temperatura y la pérdida de masa en las diferentes temperaturas (curvas TGA), además del análisis de la relación de la masa con la temperatura, mediante las curvas DTG (Figura 1a). De dichas curvas se deriva: (i) la temperatura de inicio de la descomposición (T_i) y al porcentaje de masa remanente al punto de inicio de la descomposición (W_{ti}), estos valores corresponden a la primera gradiente en la curva del análisis TGA. (ii) la temperatura de deflexión antes del punto de máxima descomposición (T_{sh}) y a la masa remanente a este punto (W_{tsh}). (iii) la temperatura correspondiente al punto de máxima descomposición (T_m), y masa remanente a este punto (W_{tm}) y (iv) el punto de temperatura y masa a consumir al final de la descomposición (T_f y W_{tf}), corresponden al punto en que la pérdida de masa comienza a estabilizarse al aumentar la temperatura. Dichos puntos son señalados en la figura 4.

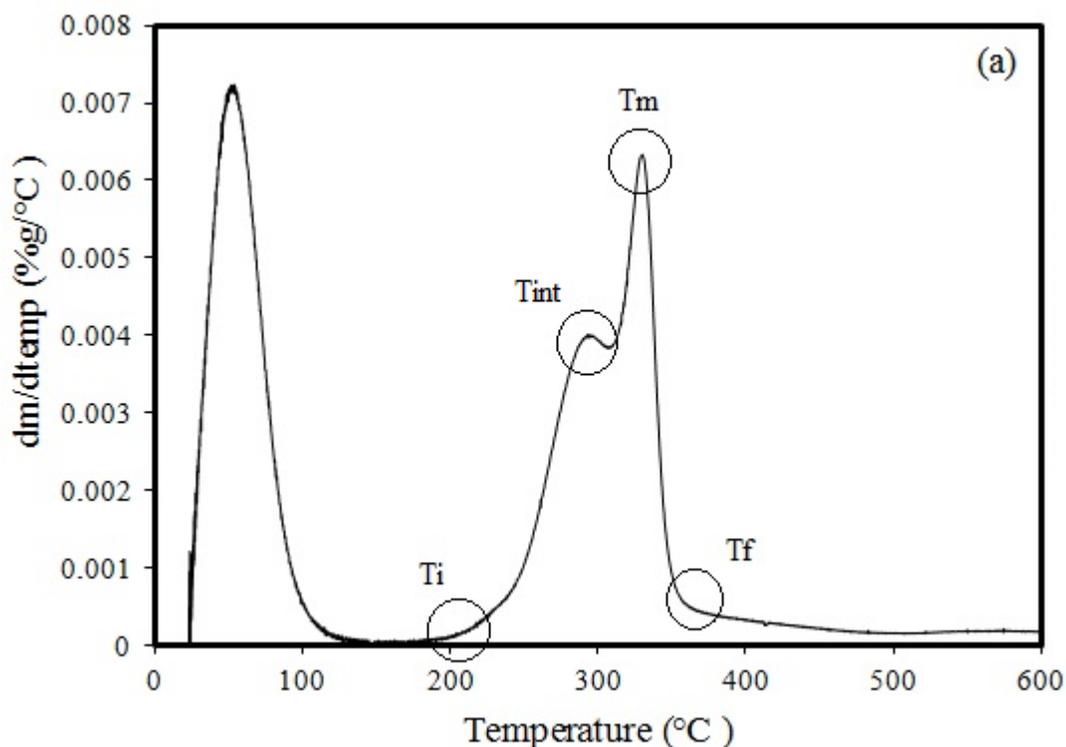


Figura 4. Puntos donde ocurren las etapas del proceso de degradación de la madera por TGA.

INFORME FINAL DE PROYECTO

“Madheras II: tecnología de la madera de seis especies nativas de rápido crecimiento con potencial para la reforestación comercial en Costa Rica”

6.10. 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 proceso de aserrío fue evaluado la presencia de los siguientes defectos: rajaduras, grietas, arqueadura, 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 las trozas que comprende la relación en volumen de madera aserrada respecto al volumen de madera en troza.

6.11. Secado al aire

Fue obtenido madera de 7,5 cm de ancho en espesores de 1,25 cm, 2,50 cm, 3,75 cm, 5,00 cm, 6,25 cm y 7,50 cm, para ello se aplicó el patrón de corte utilizado para árboles de diámetros pequeños en Costa Rica (Moya 2004). Los defectos de torceduras, rajaduras y grietas fueron solamente observados antes y después del secado. En la variación del contenido de humedad con el tiempo, fue utilizado el detallado en Rietz y Page (1971). El tiempo de secado fue determinado por el tiempo en días que tardaron el promedio de las muestras en alcanzar un 20% de contenido de humedad, esto porque se representaron una variedad de condiciones en todas las especies, por lo que se uniformizó en este grado de humedad. El tiempo de secado fue clasificado como lento, moderado y rápido según lo establecido por el COPANT (1974). La razón de secado se calculó por la diferencia entre el contenido de humedad inicial y el contenido de humedad al 20% dividido entre el número de días para alcanzar 20%.

6.12. Secado al horno convencional

En el secado al horno fue realizado con madera de 2,5 de espesor por lo ancho, obtenido de trozas por la aplicación del 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, arqueadura, acanalado, alabeo y encorvadura fueron medidos. La medición de estos defectos se realizó con base en la metodología sugerida por Hallock y Malcolm (1972) y Milota (1996). En el control del contenido de humedad se basó en 6 muestras testigos, las cuales 2 veces por días fueron pesadas, las cuales fueron usadas como referencia para realizar cambios tanto en la temperatura como en la humedad relativa dentro del horno. Tres muestras testigos y 3 sondas fueron colocadas en ambos lados de la pila de madera a diferentes alturas (bajo, media y alto de la pila). El programa de secado aplicado a cada una de las especies es de tallado en cada una de las fichas de la madera.

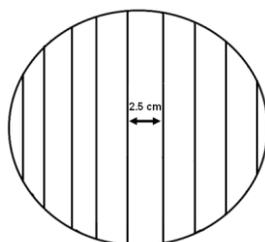


Figura 5. Patrón de corte aplicado en la obtención de la madera aserrada para el secado convencional

INFORME FINAL DE PROYECTO

"Madheras II: tecnología de la madera de seis especies nativas de rápido crecimiento con potencial para la reforestación comercial en Costa Rica"

6.13. Preservación

La preservación consistió de dos métodos: (1) método inmersión-difusión y (2) sistema vacío-presión. En el primer método fueron preparadas muestras 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 secas al aire. Estas muestras fueron sumergidas durante un minuto en un preservante compuesto de ácido bórico, borato de sodio y agua, con una concentración del 12%. Seguidamente, las muestras fueron cubiertas con plástico. Cada 4 días 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 secas al 12% de contenido de humedad, y se utilizó una solución preservante al 2,8% de Wolmanit CX-10, which is formulated with Bis-(N-cyclohexyldiaziumdioxy)-copper (3.5%), copper hydroxide carbonate (16.3%), boric acid (5.0%) y 2-a,inoethanol (25-45%). 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 cromo-azul. Este producto químico se torna azul oscuro en presencia de los óxidos de cobre contenidos en el cobre, entre más azul mayor penetración (FAO, 1986).

Tabla 3. Clasificación de la madera preservada según uso y riesgo esperado de servicio.

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: INNOC, 1992

INFORME FINAL DE PROYECTO

“Maderas II: tecnología de la madera de seis especies nativas de rápido crecimiento con potencial para la reforestación comercial en Costa Rica”

6.14. 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. En el ensayo de durabilidad con hongos dos tipos (*Trametes versicolor* y *Pycnoporus sanguineus*) fueron utilizados sobre un sustrato de suelo-bloque. De los árboles muestreados 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 x 2 x 2 cm. La metodología se trabajó siguiendo la Norma ASTM designación D-2017-81 (ASTM, 2003k), para ensayos acelerados de resistencia natural a la pudrición.

6.15. Trabajabilidad

Se utilizaron muestras secas 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 contemplan 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, 2003I), 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 son detallados en la tabla 4.

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

Lijado: La norma no sugiere nada relacionado con el modo de clasificación del defecto, por lo que se estableció los parámetros detallados en el Tabla 4. El número de lija utilizada fue #100.

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

Tabla 4. 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	Regular	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
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

INFORME FINAL DE PROYECTO

“Madheras II: tecnología de la madera de seis especies nativas de rápido crecimiento con potencial para la reforestación comercial en Costa Rica”

3. Resultados

4. Bibliografía

Alice, F; Montagnini, F; Montero, M. 2004. Productividad en plantaciones puras y mixtas de especies forestales nativas en la Estación Biológica La Selva, Sarapiquí, Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 28(2): 61-71.

ASTM (American Society for Testing and Materials, USA). 2003a. D 2395-02 Standard test methods for specific gravity of wood and wood-base materials. In: *Annual Book of ASTM Standards*, Vol. 04.10. Philadelphia, USA.

ASTM (American Society for Testing and Materials, USA). 2003b. D 143-94 Test Methods for Small Clear Specimens of Timber. In: *Annual Book of ASTM Standards*, Vol. 04.10. Philadelphia, USA.

ASTM (American Society for Testing and Materials, USA). 2003c. D5865-44 (2003) Standard test method for gross calorific value of coal and coke. In: *Annual Book of ASTM Standards*, Vol. 04.10. Philadelphia, USA. (ASTM D 5536-94 Reproved 2004).

ASTM (American Society for Testing and Materials, USA). 2003d. D5536-94 (2003) Standard Practice for Sampling Forest Trees for Determination of Clear Wood Properties. In: *Annual Book of ASTM Standards*, Vol. 04.10. Philadelphia, USA. (ASTM D 5536-94 Reproved 2004).

ASTM (American Society for Testing and Materials, USA). 2003e. D1106 (2003) Standard test method for acid-insoluble lignin in wood. In: *Annual Book of ASTM Standards*, Vol. 04.10. Philadelphia, USA. (ASTM D 5536-94 Reproved 2004).

ASTM (American Society for Testing and Materials, USA). 2003f. D1109-84 (1995) e1 Standard Test Method for 1% Sodium Hydroxide Solubility of Wood. In: *Annual Book of ASTM Standards*, Vol. 04.10. Philadelphia, USA. (ASTM D 1109-96 Reproved 2001).

ASTM (American Society for Testing and Materials, USA). 2003g. D1110-84 (1995) Standard Test Methods for Water Solubility of Wood. In: *Annual Book of ASTM Standards*, Vol. 04.10. Philadelphia, USA. (ASTM D 1110-96 Reproved 2001).

ASTM (American Society for Testing and Materials, USA). 2003h. D1108-96 Standard Test Method for Dichloromethane Solubles in Wood. In: *Annual Book of ASTM Standards*, Vol. 04.10. Philadelphia, USA. (ASTM D 1108-96 Reproved 2001).

ASTM (American Society for Testing and Materials, USA). 2003i. D1107-96 Standard Test Method for Ethanol-Toluene Solubility of Wood. In: *Annual Book of ASTM Standards*, Vol. 04.10. Philadelphia, USA. (ASTM D 1107-96 Reproved 2001).

ASTM (American Society for Testing and Materials, USA). 2003j. D1102-84 (1995) e1 Standard Test Method for Ash in Wood. In: *Annual Book of ASTM Standards*, Vol. 04.10. Philadelphia, USA. (ASTM D 1102-81 Reproved 2001).

ASTM (American Society for Testing and Materials, USA). 2003k. D2017-81 (1995) e1 Standard Test Method of accelerated laboratory test of natural decay resistance of woods. In: *Annual Book of ASTM Standards*, Vol. 04.10. Philadelphia, USA. (ASTM D 1102-81 Reproved 2001).

INFORME FINAL DE PROYECTO

“Madheras II: tecnología de la madera de seis especies nativas de rápido crecimiento con potencial para la reforestación comercial en Costa Rica”

ASTM (American Society for Testing and Materials, USA). 2003I. D1666-93 (1995) e1 Standard Test Method for conducting machining tests of wood and wood base materials. In: Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.10. Philadelphia, USA. (ASTM D 1102-81 Reproved 2001).

Barrantes, A; Ugalder, G. 2014. Usos y aportes de la madera en Costa Rica. Estadísticas 2013 San José, CR, Oficina Nacional Forestal, Ministerio de Energía y Minas. 28 p.

Butterfield, R; Crook, R; Adams, R; Morris, R. 1993. Radial variation in wood specific gravity, fiber length and vessel area for two Central American hardwoods; *Hyeronima alchorneoides* and *Vochysia guatemalensis*: natural and plantation-grown trees. IAWA Journal 14: 55-64.

COPANT (Comisión Pan-Americana de Normas Técnicas). 1974. Descripción macroscópica, microscópica y general de la madera. Vol. 30, p.1-19. São Paulo, Brasil.

Erickson, HD. 1962. Some aspects of method in determining cellulose in wood. Tappi 45: 710-719.

FAO (Food and Agriculture Organization). 1986. Wood preservation manual. Mechanical wood products branch. Forest industries division. Forestry Department. Roma, Italia. 152 p.

González, EJ; Fisher, RJ. 1994. Growth of native forest species planted on abandoned pasture land in Costa Rica. Forests Ecol Manag 70: 159–167.

Hallock, H; Malcolm, FB. 1972. Sawing to reduce warp in plantation red pine studs. USDA Forest Service, Forest Products Laboratory. (Research paper FLP-164). Madison, USA, 35 p.

Hess, RW; Wangaard, FF; Dickinson, FE. 1950. Properties and uses of tropical woods. Part II. Tropical Woods 97: 1-137.

IAWA. 1989. List of microscopic features for hardwood identification. IAWA Bull. 10(3):219-332.

Johansen, DA. 1940. Plant microtechnique. MacGraw-Hill. New York, USA. 533 p.

Laurila, R. 1995. Wood properties and utilization potential of eight fast-growing tropical plantation tree species. Journal Tropical Forest Science 1: 209-221.

Mac Corporation. 1994. Munsell soil color charts. Macbeth Division of Kollmorgen Instruments Corporation. 35p.

Milota, MR. 1996. Method of measurement of bow and crook. Forest Products Journal. 41(9) 65-68.

Moore, W; Johnson, D. 1967. Procedures for the chemical analysis of wood and wood products. Madison, WI, US, USDA, Forest Service, Forest Products Laboratory. 15p

Moya, R. y Muñoz, F. 2008. Wet Pockets in kiln-dried *Gmelina arborea* lumber. Journal of Tropical Forest Science 20(1): 48-56.

INFORME FINAL DE PROYECTO

“Madheras II: tecnología de la madera de seis especies nativas de rápido crecimiento con potencial para la reforestación comercial en Costa Rica”

Moya, R; Tomazello, M. 2008. Variation in the wood anatomical structure of *Gmelina arborea* trees at different ecological conditions in Costa Rica. *Revista Biología Tropical* 56: 689-704.

Moya, R. 2004. Wood of *Gmelina arborea* in Costa Rica. *New Forests* 28(2-3): 299-317.

Murillo, O; Obando, G; Badilla, J; Sánchez, S. 2001. Perspectivas en las zonas altas de Costa Rica. *Biocenosis* 15(1-2): 66-71.

Montagnini, F. 2000. Accumulation in aboveground biomass and soil storage of mineral nutrients in pure and mixed plantations in a humid tropical lowland. *Forests Ecology and Management* 134: 257–270.

Obando, M. 2012. Condiciones Silvicultural y propiedades físicas y generales de la madera de *Enterolobium cyclocarpum* y *Samanea saman* en plantaciones mixtas de 19 años con especies nativas en la Estación Experimental Forestal Horizontes, Liberia, Guanacaste. Tesis de Graduación. Escuela de Ingeniería Forestal. Instituto Tecnológico de Costa Rica. 60 pp.

Piotto, D; Montagnini, F; Ugalde, L; Kanninen, M. 2003. Performance of forest plantations in small and medium sized farms in the Atlantic lowlands of Costa Rica. *Forest Ecol. Manag.* 175: 195–204.

Petit, B; Montagnini, F. 2004. Growth equations and rotation ages of ten native tree species in mixed and pure plantations in the humid neotropics. *Forests Ecology and Management* 199: 243-257.

Pérez, D; Kanninen, M. 2001. Stand growth scenarios for *Bombacopsis quinata* plantations in Costa Rica. *Forests Ecol Manag* 177: 427-439.

Pérez, D; Kanninen, M. 2003. Heartwood, sapwood and bark content, and wood dry density of young and mature teak (*Tectona grandis*) trees grown in Costa Rica. *Silva Fennica* 37: 45-54.

Pérez, D; Kanninen, M. 2005. Stand growth scenarios for *Tectona grandis* plantations in Costa Rica. *Forest Ecology Management* 210: 425-441.

Rietz, R; Page, R. 1971. Air Drying of lumber: A guide to industry practices. (Agriculture handbook No. 402) U.S. Department of Agriculture. Forest Service. USA.

Sparks, DL. 1996. Methods of soil analysis. Part 3, Chemical methods. Madison, WI, US, Soil Science Society of America. 356p.

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. 4p.

Tenorio, C; Moya, R; Quesada-Pineda; H. 2012. Kiln drying of *Acacia mangium* wood: colour, shrinkage, warp, split and check in dried lumber. *Journal of Tropical Forest Science*: 24(1): 125-139.

Tenorio, C; Moya, R. 2011. Kiln drying of *Acacia mangium* Willd wood: considerations of moisture content before and after drying and presence of wet pockets. *Drying Technology*: 29(15): 1845-1854.

INFORME FINAL DE PROYECTO

“Madheras II: tecnología de la madera de seis especies nativas de rápido crecimiento con potencial para la reforestación comercial en Costa Rica”

UTHSCSA (Health Science Center). 2006. Image Tools. Texas University San Antonio. Download 15 February 2006. (Online) <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 fractional and bearing on summative wood analysis and on studies on the hemicelluloses. Paper Trade Journal 122: 35-43.

Zobel, B; Van Buijtenen, B. 1989. Wood Variation: its causes and control. Springer Verlag, New York, US.

INFORME FINAL DE PROYECTO

“Madheras II: tecnología de la madera de seis especies nativas de rápido crecimiento con potencial para la reforestación comercial en Costa Rica”