

ESTUDIO TECNOLÓGICO DE TRES ESPECIES MADERABLES DEL  
TROPICO AMERICANO

Hura crepitans L., Brosimum Costarricense Liebm. y Ceiba pentandra (L) Gaertn

Tesis de Grado  
MAGISTER SCIENTIAE

Julio E. Rico Carrizosa



INSTITUTO INTERAMERICANO DE CIENCIAS AGRICOLAS DE LA OEA  
Centro Tropical de Enseñanza e Investigación  
Departamento de Ciencias Forestales Tropicales  
Turrialba, Costa Rica  
Julio, 1974

ESTUDIO TECNOLÓGICO DE TRES ESPECIES MADERABLES DEL TROPICO AMERICANO  
HURA CREPITANS L., BROSIMUM COSTARRICANUM LIEBM Y  
CEIBA PENTANDRA (L.) GAERTN

Tesis

Presentada al Consejo de la Escuela para Graduados  
como requisito parcial para optar al grado

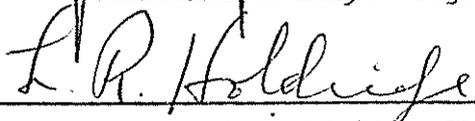
de

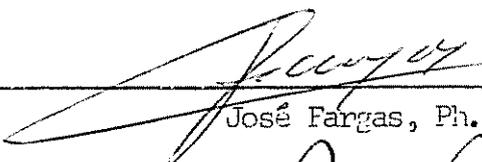
Magister Scientiae

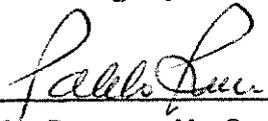
en el

Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA

APROBADA:  Consejero  
Guillermo González Trejos, Ing.

 Comité  
Leslie Holdridge, Ph. D.

 Comité  
José Fargas, Ph. D.

 Comité  
Pablo Rosero, M. Sc.

Julio, 1974

DEDICATORIA:

A mi madre

A mis hermanas  
y hermanos

A mi novia

## AGRADECIMIENTOS

El autor expresa su agradecimiento:

Al Sr. Ing. Guillermo González Trejos, consejero principal, por la orientación y colaboración brindada durante la ejecución de este trabajo.

A los señores miembros del Comité Consejero, Sr. Dr. Leslie Holdridge, Sr. Dr. José Fargas y al Sr. Ing. Pablo Rosero.

Al Sr. Dr. Waldemar Albertín, Jefe del Departamento de Ciencias Forestales y consejero principal inicialmente, por la atención y colaboración brindada durante la permanencia en el Instituto.

Al Gobierno de Colombia, Ministerio de Agricultura, por el otorgamiento de la comisión de estudios.

Al Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA, Dirección Regional para la Zona Andina, por el financiamiento de la beca durante el período de especialización en el IICA-CTEI.

Al Sr. Ing. Luis Llach Cordero, Gerente de planta de la firma "Procesadora de Maderas S.A." de Costa Rica., por el suministro de la materia prima requerida para este trabajo.

A todo el personal del Laboratorio de Productos Forestales del IICA-CATIE, especialmente al Sr. Ing. Carlos Wiessel B., por la supervisión técnica de las diversas etapas del trabajo y al Sr. Michael Krones.

A la Doctora Raquel Bustamante de Henao, por su oportuna y constante colaboración.

A la señorita Ana María Arias, por su eficaz ayuda en la búsqueda del material bibliográfico; y a la señorita Grace Salas, por su dedicada labor en el trabajo de mecanografía.

## BIOGRAFIA

Julio E. Rico Carrizosa nació en Bogotá, Colombia el 23 de junio de 1936.

Hizo sus estudios primarios en el Colegio Santander, en la Ciudad de Girardot y secundarios en el Colegio Mayor Distrital de Bogotá, obteniendo el título de Bachiller en 1957.

Realizó sus estudios universitarios en la Universidad de Bogotá, "Jorge Tadeo Lozano" Facultad de Agronomía, donde obtuvo el título de Agrólogo en 1962, y en la Universidad Distrital "Francisco José de Caldas" Facultad de Ingeniería Forestal, donde terminó sus estudios de Ingeniero Forestal en 1963.

De junio a septiembre de 1963 participó en el viaje de estudios forestales (silvicultura, manejo de bosque e industrias forestales) por ocho países de Europa.

En mayo de 1964 ingresó al Instituto Geográfico "Agustín Codazzi" de Colombia, donde trabajó hasta abril de 1968.

En abril de 1968 se incorporó al Ministerio de Agricultura de Colombia, donde actualmente presta sus servicios.

En septiembre de 1972 inició sus estudios de posgrado en el Departamento de Ciencias Forestales del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA., Turrialba, Costa Rica, habiendo obtenido el grado de Magister Scientiae en julio de 1974.

## CONTENIDO

	<u>Página</u>
LISTA DE CUADROS.....	xii
1. INTRODUCCION.....	1
2. REVISION DE LITERATURA.....	3
2.1 Investigaciones sobre tecnología de la madera.....	3
2.1.1. Investigaciones anatómicas.....	3
2.1.2. Investigaciones sobre características y propiedades físicas.....	5
2.1.2.1. Peso específico.....	6
2.1.2.2. Contenido de humedad (CH % ).....	6
2.1.2.3. Contracción.....	7
2.1.3. Investigaciones sobre características y propiedades mecánicas.....	7
2.1.4. Características de secado.....	8
2.1.5. Investigaciones sobre preservación.....	9
2.1.6. Trabajabilidad de la madera.....	10
2.1.7. Contenido de sílice en la madera.....	10
2.1.8. Extracción de clavos.....	10
2.2 Descripción botánica y dendrológica de las especies..	11
2.2.1. <u>Hura crepitans</u> .....	11
2.2.2. <u>Brosimum costarricanum</u> .....	13
2.2.3. <u>Ceiba pentandra</u> .....	14
3. MATERIALES Y METODOS.....	17
3.1. Recolección del material de estudio.....	17
3.1.1. Elección y selección del material.....	17
3.2. Población y muestra.....	17
3.2.1. Toma de muestras.....	17
3.2.1.1. Elección de las piezas.....	18



	<u>Página</u>
3.7.2.1.3	Contenido de humedad de las probetas..... 31
3.7.2.1.4.	Valores obtenidos..... 31
3.7.2.2	Compresión paralela al grano..... 32
3.7.2.2.1.	Velocidad y curva de carga..... 32
3.7.2.2.2.	Tipo de falla..... 32
3.7.2.2.3.	Contenido de humedad... 32
3.7.2.2.4.	Valores obtenidos..... 32
3.7.2.3.	Compresión perpendicular al grano... 33
3.7.2.3.1.	Curva de carga deforma - ción..... 33
3.7.2.3.2.	Contenido de humedad de la probeta..... 33
3.7.2.3.3.	Valores obtenidos..... 33
3.7.2.4.	Dureza (Janka)..... 34
3.7.2.5.	Cizallamiento o cortante..... 34
3.7.3.	Equipo usado..... 35
3.7.4.	Métodos de cálculo..... 35
3.7.5.	Fórmulas empleadas..... 36
3.7.5.1.	Flexión estática..... 36
3.7.5.2.	Compresión paralela al grano..... 36
3.7.5.3.	Compresión perpendicular..... 37
3.7.5.4.	Esfuerzo cortante radial y tangen - cial..... 37
3.7.5.5.	Dureza..... 37
3.8	Contenido de sílice..... 37
3.8.1.	Reactivos y equipo usado..... 38
3.8.2.	Procedimiento..... 38
3.8.3.	Cálculos..... 39

	<u>Página</u>
3.9. Trabajabilidad.....	39
3.9.1. Equipo usado.....	40
3.9.2. Procedimiento.....	40
3.10. Extracción de clavos.....	41
3.10.1. Cálculos.....	41
3.11. Preservación.....	42
3.11.1. Equipo y material usado.....	42
3.11.2. Tratamiento.....	43
3.11.3. Cálculos.....	43
3.11.4. Reactivos usados.....	43
3.12. Usos posibles de la madera.....	43
4. RESULTADOS.....	44
4.1 Descripción de las características de cada especie...	44
4.1.1. <u>Hura crepitans</u>	
4.1.1.1. Origen de la muestra.....	44
4.1.1.2. Distribución y habitáculo.....	44
4.1.1.3. Descripción del árbol.....	44
4.1.1.4. Descripción de las trozas muestra....	45
4.1.1.5. Descripción de la madera.....	45
4.1.1.6. Propiedades físicas.....	47
4.1.1.7. Propiedades mecánicas.....	49
4.1.1.8. Características de secado.....	50
4.1.1.9. Características de trabajabilidad y contenido de sílice.....	50
4.1.1.10. Resistencia a la extracción de clavos	52
4.1.1.11. Características de preservación.....	52
4.1.1.12. Usos.....	52

	<u>Página</u>
4.1.2. <u>Brosimum costarricense</u> .....	53
4.1.2.1. Origen de la muestra.....	53
4.1.2.2. Distribución y habitáculo.....	53
4.1.2.3. Descripción del árbol.....	53
4.1.2.4. Descripción de las trozas muestra.....	53
4.1.2.5. Descripción de la madera.....	53
4.1.2.6. Propiedades físicas.....	56
4.1.2.7. Propiedades mecánicas.....	58
4.1.2.8. Características de secado.....	59
4.1.2.9. Características de trabajabilidad.....	59
4.1.2.10. Resistencia a la extracción de clavos...	61
4.1.2.11. Características de preservación.....	61
4.1.2.12. Usos.....	61
4.1.3. <u>Ceiba pentandra</u> .....	62
4.1.3.1. Origen de la muestra.....	62
4.1.3.2. Distribución y habitáculo.....	62
4.1.3.3. Descripción del árbol.....	62
4.1.3.4. Descripción de las trozas muestra.....	62
4.1.3.5. Descripción de la madera.....	63
4.1.3.6. Propiedades físicas.....	65
4.1.3.7. Propiedades mecánicas.....	67
4.1.3.8. Características de secado.....	68
4.1.3.9. Características de carpintería y contenido de sílice.....	68
4.1.3.10. Resistencia a la extracción de clavos...	70
4.1.3.11. Características de preservación.....	70
4.1.3.12. Usos.....	70

	<u>Página</u>
5. DISCUSION Y CONCLUSIONES PARA CADA ESPECIE.....	71
5.1. <u>Hura crepitans</u> L. ....	71
5.1.1. Aspectos de la madera.....	71
5.1.2. Propiedades anatómicas.....	71
5.1.3. Propiedades físicas.....	71
5.1.4. Propiedades mecánicas.....	74
5.1.5. Características de secado.....	77
5.1.6. Características de carpintería o trabajabili - dad.....	77
5.1.7. Extracción de clavos.....	78
5.1.8. Características de preservación.....	78
5.2. <u>Brosimum costarricense</u> Liebm. ....	79
5.2.1. Aspectos de la madera.....	79
5.2.2. Propiedades anatómicas.....	79
5.2.3. Propiedades físicas.....	79
5.2.4. Propiedades mecánicas.....	81
5.2.5. Características de secado.....	81
5.2.6. Características de carpintería.....	84
5.2.7. Resistencia a la extracción.....	84
5.2.8. Características de preservación.....	84
5.3. <u>Ceiba pentandra</u> .....	85
5.3.1. Aspectos de la madera.....	85
5.3.2. Propiedades anatómicas.....	85
5.3.3. Propiedades físicas.....	85
5.3.4. Propiedades mecánicas.....	87
5.3.5. Características de secado.....	90
5.3.6. Características de carpintería.....	90

	<u>Página</u>
5.3.7. Resistencia a la extracción de clavos.....	90
5.3.8. Características de preservación.....	91
6. RESUMEN.....	92
SUMMARY.....	92a
7. LITERATURA CITADA.....	93

## LISTA DE CUADROS

Cuadro N°		<u>Página</u>
1.	Valores estadísticos de las propiedades físicas de la madera de <u>Hura crepitans</u> L. ....	48
2.	Propiedades mecánicas de la madera de <u>Hura crepitans</u> L. ....	49
3.	Valores estadísticos de las propiedades mecánicas de la madera de <u>Hura crepitans</u> en condición verde y condición seca.....	51
4.	Valores estadísticos de las propiedades físicas de la madera de <u>Brosimum costarricense</u> Liebm.....	57
5.	Propiedades mecánicas de la madera de <u>Brosimum costarricense</u> Liebm. ....	58
6.	Valores estadísticos de las propiedades mecánicas de la madera de <u>Brosimum costarricense</u> .....	60
7.	Valores estadísticos de las propiedades físicas de la madera de <u>Ceiba pentandra</u> (L.) Gaertn .....	66
8.	Propiedades mecánicas de la madera de <u>Ceiba pentandra</u> en condición verde y condición seca.....	67
9.	Valores estadísticos de las propiedades mecánicas de la madera de <u>Ceiba pentandra</u> (L.) Gaertn en condición verde y condición seca al aire.....	69
10.	Comparación de las propiedades físicas de la madera de <u>Hura crepitans</u> de diferentes procedencias con <u>Liriodendron tulipifera</u> .....	72

Cuadro N°		<u>Página</u>
11.	Comparación de las propiedades mecánicas de la madera de <u>Hura crepitans</u> , en condición verde con otras maderas de peso específico similar.....-.....	75
12.	Comparación de las propiedades mecánicas de la madera de <u>Hura crepitans</u> en condición seca al aire, con diferente procedencia.....	76
13.	Comparación de las propiedades físicas de la madera de <u>Brosimum costarricense</u> con otras maderas de densidad similar.....	80
14.	Comparación de las propiedades mecánicas de la madera de <u>Brosimum costarricense</u> en condición verde con las de otras maderas de peso específico similar....	82
15.	Comparación de las propiedades mecánicas de la madera de <u>Brosimum costarricense</u> en condición seca con las de otras maderas de peso específico similar....	83
16.	Comparación de las propiedades físicas de la madera de <u>Ceiba pentandra</u> , de diferentes procedencias, con <u>Tilia americana</u> .....	86
17.	Comparación de las propiedades mecánicas de la madera <u>Ceiba pentandra</u> , de diferentes procedencias, en condición verde.....	88
18.	Comparación de las propiedades mecánicas de <u>Ceiba pentandra</u> de diferentes procedencias, en condición seca al aire.....	89

## 1. INTRODUCCION

El abuso que se ha hecho en el uso de los recursos naturales refleja hoy una preocupación mundial, que puede ser sintetizada en los siguientes términos:

El desequilibrio ecológico y la contaminación ambiental son cada día más alarmantes, la madera se agota por uso irracional y las necesidades de productos forestales aumentan, muchas de las áreas férciles de ayer son hoy improductivas, la población aumenta y las necesidades de alimentos son cada día más apremiantes, la tecnología industrial avanza y el hombre continúa mal aprovechando los recursos naturales y deteriorando su medio ambiente.

Ante estas circunstancias es imperante la necesidad de planificar, programar y tecnificar el aprovechamiento de los recursos naturales, especialmente el recurso forestal, si se tiene en cuenta que un alto porcentaje de la superficie forestal de Latinoamérica está localizado en la región tropical húmeda, donde impera una explotación selectiva de bajo rendimiento con un agotamiento progresivo de sus existencias, debido al desconocimiento tecnológico de la mayoría de las especies que integran el bosque y al desperdicio de numerosas especies maderables con características y propiedades deseables que la industria maderera está desaprovechando.

El estudio tecnológico de la madera no solamente implica el conocimiento de las características y propiedades como tales, sino que incluye la aplicación práctica con respecto a los usos y tratamientos de la madera, en base al conocimiento de la estructura y la morfología anatómica, las propiedades físicas, mecánicas y químicas, y la interrelación de estos parámetros.

Por ésto la investigación de las características y propiedades de la madera de cualquier especie, suministra importante información básica sobre su comportamiento en los procesos de manufacturación, industrialización, preservación, secado y usos a que puede ser destinada.

En el presente trabajo se estudió la madera de *Hura crepitans* L., - *Erosimum costarricense* Liebm. y *Ceiba pentandra* (L) Gaertn, por encontrar se con relativa abundancia en los bosques tropicales de Latinoamérica y por que ofrecen características promisorias para su utilización.

Los objetivos principales del presente estudio son suministrar los da tos y valores experimentales sobre las características, propiedades y u - sos de estas maderas.

Propender por el aprovechamiento integral del bosque tropical hetero- géneo y coadyuvar por su manejo técnico, dando justificación a la investi gación silvicultural de especies nativas, dirigida a la producción de ma- dera para usos determinados.

El presente estudio suministra información sobre descripción anatómi- ca, propiedades físicas, mecánicas, secado, trabajabilidad, contenido de sílice, preservación y resistencia a la extracción de clavos; y con base a estos resultados establecen los posibles usos comerciales para la made- ra de cada especie.

## 2. REVISION DE LITERATURA

### 2.1 Investigación sobre tecnología de la madera

Face relativamente pocas décadas se viene realizando en América Latina estudios completos y detallados sobre las características de la estructura anatómica y propiedades físico-mecánicas de las maderas tropicales, tendientes a determinar los tratamientos y usos más convenientes de cada especie, a fin de lograr un óptimo e integral aprovechamiento del bosque tropical (23, 83).

La aplicación y desarrollo de la tecnología maderera es reciente en nuestro medio y las investigaciones divulgadas aún no logran equipararse con el adelanto tecnológico que ofrecen otros productos industriales (84, 94).

#### 2.1.1 Investigaciones anatómicas

La identificación de la madera una vez extraída del bosque es posible mediante el estudio y reconocimiento de sus elementos anatómicos, lo cual permite diferenciar la madera de géneros de la misma familia y especies del mismo género (2, 16, 122).

Para facilitar y estandarizar el estudio de las características anatómicas, así como su descripción y evaluación se han propuesto guías, metodologías y claves (11, 15, 16, 29, 34, 35, 54, 55, 71, 74, 85, 119, 122, 130). Con base a estas guías se han realizado en nuestro medio, estudios a nivel de especie y a nivel de familia, como una contribución al conocimiento de las maderas del bosque tropical. Es así como numerosas especies cuentan ya con una descripción detallada de sus características anatómicas, entre estos estudios por ejemplo tenemos los realizados por (1, 2, 6, 19, 24, 27, 40, 46, 51, 52, 53, 95, 99, 100, 106).

Entre los trabajos realizados a nivel de familia tenemos los

de (21, 26, 47, 56, 60, 64, 65, 73, 76, 81, 91, 92, 108, 111, 114, 116, 131). Algunos trabajos realizados con base en recopilaciones bibliográficas e incremento de las investigaciones, dando una descripción de los elementos anatómicos y las funciones que cumplen, son utilizados como textos guías (67, 69, 74, 85).

Otros trabajos mencionan de manera general algunas características de las maderas tropicales del nuevo mundo, indicando algunos usos y distribución (15, 32, 64, 93, 128).

Algunos de estos trabajos presentan las características anatómicas en forma de clave, para facilitar la identificación de las maderas por medio de tarjetas perforadas (11, 15, 46, 56).

Varios de estos trabajos dan tablas con valores para estandarizar las mediciones y calificativos a fin de facilitar la interpretación y comparación de los resultados (28, 29, 69, 85).

Estas interesantes investigaciones establecen que el conocimiento de las características de la estructura anatómica de la madera es de gran utilidad para la identificación y clasificación - una vez cortada, seca o elaborada, y es fundamental para la predicción de ciertas propiedades físicas y mecánicas (2, 38, 41, 46, 48, 67, 114, 116), a la vez permite comprender el comportamiento de la madera ante ciertas sustancias químicas en los procesos o tratamientos de manufacturación o industrialización (19, 20, 66) y agregan que así como el color, textura y grano de la madera son importantes para ciertos usos, los poros, parénquima, radios y fibras son los elementos constitutivos más importantes en la determinación de las características anatómicas de la madera.

Las investigaciones anatómicas evidencian que la variabilidad que presenta la madera en una misma especie, o en el mismo árbol, está relacionada con la edad del árbol o con los sitios donde tiene ocurrencia la especie, entre otros aspectos; así Metcalfe (81) encontró que la distribución de los vasos, tipo de parénquima y -

morfología de las fibras presentan diferencia en la misma especie al ser estudiados en anillos jóvenes y en anillos maduros. Barghoorn (10) indica la variación que experimentan los radios de un leño joven a un leño maduro Rendle y Clark (94) encontraron variación en el del diámetro de los poros de árboles jóvenes a árboles maduros. Jane (67) comenta sobre la variabilidad de la madera entre árboles y entre especies y dice que las características físicas y mecánicas varían de acuerdo a su estructura. Hunt y Garrat (66) y Camargo (20) indican que las diferencias anatómicas que presenta la madera está intrínsecamente relacionada con la variabilidad en la absorción y penetración de preservantes y otras sustancias (20, 66).

### 2.1.2 Investigaciones sobre propiedades físicas

Las propiedades físicas de la madera se han venido estudiando e investigando paralelamente con la estructura anatómica y las propiedades mecánicas; algunos de los trabajos a que nos hemos referido en la parte anatómica contienen valiosa información sobre estas características. Se han realizado trabajos específicos en este campo; así por ejemplo, Harrar (57, 59) estudió las propiedades físicas de varias maderas utilizadas en la fabricación de gabinetes. Federick (44, 45) y Dickson (37) analizaron las propiedades físicas y usos de numerosas maderas tropicales.

El resultado de las investigaciones adelantadas en el campo de la tecnología maderera demuestran que tanto las propiedades físicas como las mecánicas están íntimamente ligadas a la estructura anatómica (43, 67, 116) y su conocimiento permite determinar el uso óptimo de la madera (72, 74, 81).

### 2.1.2.1 Peso específico

El peso específico de la madera es un indicativo de las propiedades mecánicas y de otras propiedades físicas (17, 72, 85, - 121). Para la determinación del peso específico de la madera se han propuesto varios métodos; por ejemplo Bethel (14) recomienda la utilización de probetas pequeñas.

Las variaciones en el peso específico de la madera tienen estrecha relación con las variaciones en las propiedades mecánicas (17, 41, 78, 121, 127), esta variación frecuentemente ocurre en el mismo árbol y generalmente en árboles de la misma especie en el mismo sitio o en áreas diferentes (13, 61, 94, 121, 129).

Para la clasificación de la madera en base al peso específico se han confeccionado tablas, con términos descriptivos (22, 80, 85, 126).

### 2.1.2.2 Contenido de humedad

El contenido de humedad de la madera juega un papel muy importante respecto a su comportamiento bajo diferentes usos. Influye directamente sobre las propiedades físico-mecánicas y en su susceptibilidad al ataque de hongos e insectos (17, 72, 80, 121, 122); así la variación en el contenido de humedad en la madera origina cambios en el volumen, en el peso específico y en la resistencia a los esfuerzos o cargas a que es sometida (17, 72, - 80, 116, 121, 122).

La madera en condición verde tiene una considerable variación en el contenido de humedad, en unas especies va de 30% hasta - 200% en otras (80), habiéndose encontrado hasta 1040% en Ceiba - a pentandra (75). Parte de esta humedad es absorbida por las paredes celulares y parte está contenida en las cavidades celulares (55, 80, 122). Este contenido de humedad en la madera varía a diferentes alturas en el mismo árbol y entre árboles de la misma

especie (80), es decir, en relación al sitio, a la posición de la madera en el árbol y a la clase de madera (17). Tieman (102) analizó los efectos de la humedad sobre la resistencia y las fallas que se producen en algunas maderas y Markwardt (80) estudió la relación existente entre el crecimiento y las propiedades de resistencia de algunas maderas de los Estados Unidos.

### 2.1.2.3 Contracciones

La contracción es la reducción en el cambio dimensional de la madera y es debida a la disminución del contenido de humedad a partir del punto de saturación de las fibras; tiene diferentes valores para cada especie y en una misma muestra varía de acuerdo a los ejes estructurales, así: en sentido longitudinal es muy bajo, en sentido transversal es considerable y se presenta en dirección tangencial y radial; la suma de las contracciones en los tres sentidos origina la contracción volumétrica (17, 80, 122).

La relación de las contracciones tangencial-radial (T/R) es un indicativo sobre la estabilidad de la madera y permite predecir si la madera en el proceso de secado sufrirá defectos de torceduras, colapso, grietas o rajaduras (3, 35, 103, 122).

### 2.1.3 Investigaciones sobre características y propiedades mecánicas

El conocimiento de las propiedades mecánicas de la madera proporciona los datos básicos requeridos por la ingeniería en el cálculo y diseño para la construcción y otros usos (17, 35, 78, 86, 89).

Tieman (103) al comentar el proceso de la investigación en el campo de la tecnología maderera, dice que los primeros registros fueron publicados en las "Memoirs of The French Academy of Sciences" en 1707 y 1708; hace referencia también a otros trabajos realizados en Francia, Alemania y Estados Unidos de América hasta 1895, agregando que tan solo en 1891 el Gobierno de los Estados Unidos empezó una investigación sistemática.

En 1898 se fundó "The American Society for Testing and Materials" la que en 1922 inició la publicación sobre la normalización y estandarización de los métodos de ensayo en maderas. Francia y Alemania también desarrollaron metodología y tienen sus propias normas para la realización de los ensayos mecánicos de la madera. Entre las normas conocidas mundialmente se tienen:

- ASTM : American Society for Testing Materials
- ANFOR: Association Francaise de Normalisation
- BSI : British Standards Institution
- DIN : Deutsche Industrie Norm
- AIR : Norma francesa usada para calificar maderas para aeronaves.

Los principales ensayos que se realizan en la determinación de las propiedades mecánicas son: flexión estática, compresión paralela al grano, compresión perpendicular al grano, dureza y cizallamiento (3, 17, 33, 122).

#### 2.1.4 Características de secado

El secado ocurre por las diferencias en la presión de vapor, desde el centro de la pieza de madera hacia afuera (35, 103). Los mecanismos que determinan el movimiento del agua en la madera son: capilaridad, gradiente de tensión en el vapor de agua y diferencia en la concentración de agua líquida y del vapor del agua (17, 50).

El secado proporciona estabilidad dimensional a la madera, aumenta su capacidad de trabajo y de usos, reduce el peso, costos de transporte, facilita el tratamiento con preservantes y aumenta la resistencia al ataque de hongos e insectos (3, 35, 90, 103).

Para la clasificación de las maderas de acuerdo a las propiedades físicas y mecánicas, se han elaborado tablas con términos descriptivos, tales como las propuestas por (22, 126).

### 2.1.5 Investigaciones sobre preservación

La protección de la madera contra el ataque de hongos e insectos es fundamental en la seguridad y economía de las estructuras, construcciones y obras donde se emplea la madera.

El tratamiento de la madera con sustancias preservativas prolonga su tiempo de servicio (36) y permite el uso de gran número de especies maderables tradicionalmente conocidas como mediocres (125).

Los preservadores de madera son sustancias químicas (66), estas sustancias presentan diferencia en su efectividad y adaptabilidad a ciertos requerimientos de uso (118); su elección y método de aplicación depende del uso a que se va a destinar la madera (41, 66).

Las sustancias preservadoras generalmente utilizadas se clasifican en creosotas, preservadoras hidrosolubles y preservadoras oleosolubles (41, 66, 115).

Las normas de la AVPA (4) y ASTM (3) indican algunas técnicas de preservación, así como las condiciones que deben reunir algunos preservadores y sus mezclas.

En general los métodos de preservación se clasifican en dos tipos (119):

- a.- A presión
- b.- Sin presión

Entre los métodos con presión está el de célula llena (o Bethel) y el de célula vacía (Lowry o Ruping) (41, 66, 119).

Entre los métodos sin presión se tiene: baño caliente y frío, inmersión en frío, difusión, doble difusión, pincelado, aspersion, inmersión rápida y otros (118, 119, 124).

### 2.1.6 Trabajabilidad de la madera

La limitada comercialización de muchas especies se debe a la dificultad para el procesamiento de la madera desde la tumba del árbol hasta su transformación en productos (125).

Las características de trabajabilidad o labrado de la madera conllevan al establecimiento de su aptitud para usos en los cuales la calidad de las superficies trabajadas es de importancia (125).

Las maderas pueden ser clasificadas de acuerdo a sus características de trabajabilidad (53).

Para clasificar la madera en base a las propiedades de trabajabilidad se han preparado normas y tablas (3).

### 2.1.7 Contenido de sílice en la madera

Es importante la determinación del contenido de sílice, especialmente en lo referente a la trabajabilidad y al empleo de herramientas, así como en las posibilidades de su utilización (53).

Frecuentemente en las células de la madera se encuentran depósitos de cristales y materiales insolubles similares (9). Estos materiales insolubles son comúnmente carbonato de calcio, oxalato de calcio o sílice y se presentan en numerosas formas (30, 31, 39). El sílice se establece en las células del parénquima, vasos y fibras de muchas dicotiledoneas pero raramente ocurre en las gimnospermas. El sílice afecta las propiedades de trabajo de la madera y cuando es abundante amella rápidamente el filo normal de las herramientas (9). Maderas con abundante sílice (*Syncarpia glomulifera*, *Dialium guianense*) son resistentes al ataque del barrenador marino (5).

### 2.1.8 Extracción de clavos

La resistencia y la estabilidad de cualquier estructura depen-

de en gran parte de los elementos que unen las diferentes partes - de ella.

La madera es un material muy usado y los clavos constituyen - los elementos de unión comúnmente utilizados en construcciones per- manentes o temporales (122).

Sobre este tema se han adelantado varias investigaciones para determinar las variables que intervienen en el cálculo de la resis- tencia a la extracción de clavos y la forma como actúan; algunos - están sintetizados en (122).

Para la evaluación de la resistencia que ofrece la madera a la extracción de clavos se han formulado normas técnicas (3).

La resistencia que opone la madera al arranque de clavos es buena cuando está por encima de 50 Kg, las maderas con menos resis- tencia sólo pueden ser utilizadas en construcción liviana (125).

## 2.2 Descripción botánica y dendrológica de las especies motivo de estudio

La descripción dendrológica, las características morfológicas, la distribución geográfica y las zonas ecológicas donde tienen ocurrencia estas especies se obtuvo en los estudios realizados por (62, 63, 91, 106, 107, 108, 109, 95, 117, 131).

El nombre botánico, los sinónimos y los nombres comunes se encon- traron en los trabajos efectuados por (7, 12, 93, 130).

### 2.2.1 Hura crepitans: L.

Familia : Euphorbiaceae a

Sinónimos: Hura polyandra Baill.\*

Nombre común

Brasil : Assacú; azeiro

Colombia : Ceiba amarilla

Costa Rica: Jabillo

---

\* Kukachka y otros autores indican que se trata de otra especie tan solo diferenciable por la flor.

Panamá : Ceibo  
Venezuela: Jabillo; Ceiba blanca  
Guayana : Sablier  
Otros : Acuapa

Nombre comercial

Inglés : Hura Wood, Possunwood; Sandbox  
Holandés: Possentrie; Zandkokerboom  
Alemán : Sandbiiien Senbaum  
Francés : Assacú; sablier  
Italiano: Sablierbianca; assacú

### Distribución y habitáculo

Esta especie tiene ocurrencia en Centro América y Sur América, desde el Sur de México hasta Brasil, Bolivia, Perú, Guayanas e Indias Occidentales.

Es una especie de bosque clímax y se encuentra generalmente en suelos de terrazas bajas y medias, por debajo de los 300 m s.n.m., en el bosque húmedo y muy húmedo tropical. En Trinidad forma masas casi puras sobre suelos limoarenosos húmedos, y también está presente en cantidades comerciales en las Guayanas (78), Colombia, Costa Rica, Perú y Venezuela. En Costa Rica, según el mapa ecológico elaborado por Tosi (1:17) se presenta en la vertiente atlántica en las zonas de vida bosque muy húmedo tropical, bosque pluvial premontano y bosque muy húmedo tropical, transición a premontano.

### Descripción del árbol

Uno de los árboles más grandes del bosque tropical húmedo y muy húmedo, recto y bien formado. Alcanza alturas de 30 - 45 m, con fuste libre de ramas hasta los 13 - 25 m y más; diámetro de 1,80 - 2,70 m; gambas presentes usualmente.

La corteza de color pardo grisáceo, cubierta por aguijones cortos y cónicos. La corteza emana una leche muy cáustica.

Hojas alternas, simples, acorazonadas y dentadas, de 8 - 15 cm de largo y de 11 - 20 cm de ancho.

Inflorescencia monóica

Flores unisexuales

Fruto en cápsula, multilocular, bastante grande, una vez maduro reventado con detonación. Semillas numerosas de 5,0 - 5,7 mm de largo y de 4,4 - 5,5 mm de ancho.

### 2.2.2 Brosimum costarricense Liebm.

Familia : Moraceae

Sinónimos: Helicostylis montana Pittier

Brosimum sapiifolium Standl

Nombres comunes

Costa Rica: Ojoche, morillo, ojoche macho

Guatemala : Ajuste, ramón colorado

Honduras : Mesica, masicarán

Nicaragua : Ojoche blanco

Panamá : Ojoche

### Distribución y hábitaculo

Los registros que se tienen de esta especie indican que tiene una distribución restringida a Centro América. Es una especie de bosque clímax. En Costa Rica y Nicaragua se encuentra en el bosque húmedo y muy húmedo tropical de la vertiente atlántica, que se

gún el mapa ecológico de Tossi (117) corresponde a las zonas de vida, bosque húmedo tropical, bosque pluvial premontano y bosque muy húmedo tropical, transición a premontano.

### Descripción del árbol

Árbol moderadamente alto de 20 - 45 m y más de altura, fuste cilíndrico, recto y desprovisto de ramas hasta la mitad; gambas poco desarrolladas; diámetro de 0,60 - 1,20 m. Copa bifurcada, ancha, usualmente con varias ramas en sentido vertical. Corteza de color ligeramente marrón claro o gris parduzco claro, lisa y con pequeñas lenticelas. Sabia lechosa abundante, pegajosa de sabor ligeramente dulce. Hojas alternas simples de 8 - 18 cm de largo y de 2 - 6 cm de ancho; pecíolo corto de aproximadamente 5 mm de largo. Estípulas pequeñas, laterales, caducas. Nervaduras sobresalientes y reticuladas. Inflorescencia globosa de color gris claro, posiblemente dioicas de 8 - 10 mm de ancho. Fruto en forma de drupa de aproximadamente 1,5 cm de diámetro. Semillas una sola de 1 cm de largo, de testa membranosa.

### 2.2.3 Ceiba pentandra (L) Gaertn

Familia : Bombacaceae

Sinónimos: Eriodendron anfractuosum D.C.

a Bombax pentandrum L.

Eriodendron orientale Ssend.

Eriodendron guianense Sche et Thom

Eriodendron pentandrum (L) O. Ktze

Bombax quincense Scum et Thom

Ceiba cascaria Medic.

B. Oriente Spreng

B. Occidentale Spreng

Gossampinus alba Ham.

B. Guineense Thonning

E. Occidentale (spreng) G. Don

Nombres comunes

- Bolivia : Toborocho  
Brasil : Sumáuma, sumaumeira, paineira  
Colombia : Ceiba, Ceibo  
Costa Rica: Ceibo  
México : Ceibo  
Nicaragua : Ceibón, paniki, panya, sisin, poxot.  
Panamá : Bongo, ceibo bonga  
Perú : Lupuma  
Venezuela : Ceiba yuca.

Nombres comerciales:

Silk-cottontree, cottontree, corkwood, kapokier, kankantria, -  
koddobakkoe, sumahuma de varzea.

Distribución y habitáculo

Tiene ocurrencia en América desde México hasta Perú, Bolivia y Brasil e Indias Occidentales, Islas Audaman y la Península y el Archipiélago Malayo. Es común en los terrenos quebrados y en las -  
faldas de las colinas, así como en terrenos planos y anegados; pre  
fiere los suelos ricos y fértiles a lo largo de los riachuelos y  
estanques aluviales.

En Costa Rica, en la vertiente atlántica, se encuentra de acuer  
do con el mapa ecológico preparado por Tossi (117) en las zonas de  
vida bosque muy húmedo tropical y bosque pluvial premontano.

Descripción del árbol

Uno de los árboles más altos del bosque tropical, alcanza altu-  
ras de 40 - 50 m, con fuste cilíndrico de 0,8 - 2,0 m de diámetro,  
usualmente abombado en árboles jóvenes y frecuentemente con gambas.  
La copa es esférica y algunas veces aplanada, corteza suave, fibro  
sa de color marrón o gris. Hojas alternas, deciduas, digitadas y  
compuestas; pecíolo de 5 - 23 cm de largo; hojuelas de 5 - 9 cm ,

con pecíolos de 0,5 - 1,2 cm de largo. Inflorescencia axilar, agrupadas hacia la parte terminal de las ramas. Flores de 2,5 - 4,0 - cm de largo, hermafroditas actinomorfas. Pedúnculo de 2,5 - 3,0 - cm de largo. El fruto es una cápsula semileñosa, elipsoidal o fusiforme, aguda en los extremos, de 10 - 20 c, de largo y de 3-4 cm de ancho. Semillas numerosas, semiglobosas, de 5 - 7 mm de largo y 4,0 - 4,5 cm de ancho.

### 3. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1 Recolección del material de estudio

El material de estudio se recolectó en el aserradero de la compañía "Procesadora de Maderas S.A.", ubicado cerca a la población de Alajuela, Costa Rica.

##### 3.1.1 Elección y selección del material

Las especies elegidas fueron: *Hura crepitans* L., *Brosimum costarricense* Liebm. y *Ceiba pentandra* (L) Gaertn.

La selección del material se hizo al azar, en dos etapas, de acuerdo a las técnicas sugeridas por (61). El material provenía de los bosques de la vertiente atlántica de Costa Rica, de la finca "Milena", de propiedad de la compañía "Maderera Grupo Pozuelo - Marín S.A.". La finca tiene una extensión de 16.000 hectáreas, en su mayor parte cubierta por bosque natural, que según el mapa ecológico de Tossi (117) está situada en la zona de vida bosque muy húmedo tropical, transición a premontano.

#### 3.2 Población y muestra

Se consideró como población todas las trozas presentes de cada una de las tres especies motivo de estudio, que exhibieron condiciones de frescura, sanidad y dimensiones, conforme a las normas técnicas. Las trozas fueron numeradas y se eligió al azar las muestras para el estudio de las características y propiedades de la madera de cada especie.

##### 3.2.1 Toma de muestras

Se tomaron dos tipos de muestras:

- a.-- Se eligió por muestreo al azar una troza de cada especie y se cortó de uno de sus extremos un disco de 10 - 15 cm de largo,

para estudiar las características generales, la estructura anatómica y las propiedades físicas de la madera.

- b.- Para el estudio de las propiedades mecánicas, físicas, de secado, de preservación y de trabajabilidad se eligieron al azar - cinco trozas por especie y una pieza por troza. Cada pieza tenía una sección transversal de 10 x 10 cm y una longitud de 3,20 - 3,30 m.

### 3.2.1.1 Elección de las piezas

En cada una de las trozas seleccionadas se tomó la sección transversal más delgada, se ubicó la médula y se trazó pasando por ella un diámetro perpendicular a la base de sustentación. A cinco cm de lado y lado del diámetro se trazaron paralelas, se midieron los radios y sobres éstos a cada 10 cm se marcó una intersección. Se preparó una tabla de cuatro columnas y se colocó en la primera el valor de los radios, en la segunda los radios al cuadrado, en la tercera el cuadrado asumulado de los radios y en la cuarta el porcentaje acumulado; con la ayuda de una tabla de números al azar se eligió, en función del volumen, cada una de las piezas, las que fueron debidamente señaladas para facilitar su obtención por aserrado. De esta forma de cada troza se obtuvo en principio el tablón central (de 10 cm de ancho) y luego las viguetas o listones (de 10 cm de sección transversal). Se llevó el control de la posición de la pieza dentro de la troza para las evaluaciones posteriores.

### 3.3 Procesamiento de las muestras en el laboratorio

Una vez que llegaron las muestras al laboratorio se procedió a prepararlas para los diferentes estudios, para lo cual básicamente se separaron en tres grupos:

- a.- Discos para el estudio de las características generales, anato -

mía y propiedades físicas.

- b.- Viguetas para el estudio de las características físicas y las propiedades mecánicas en condición verde.
- c.- Viguetas para el estudio de las propiedades mecánicas en condición seca, características de secado, preservación, trabajabilidad, contenido de sílice y resistencia a la extracción de clavos.

Cada pieza fue debidamente marcada para su identificación y análisis de los resultados.

Todos los ensayos y determinaciones fueron realizados en el Laboratorio de Productos Forestales del CATIE, de acuerdo a las normas técnicas ASTM (3) y los métodos y especificaciones dadas por (100).

### 3.4 Estudio anatómico y morfológico

Las características generales y la estructura anatómica de la madera de cada especie se estudiaron sobre la sección transversal de los discos y sobre las caras radial y tangencial de secciones preparadas para tal efecto.

La observación y descripción de las características generales se hizo a simple vista. El análisis y descripción de las características macroscópicas se hizo con una lupa de 10 aumentos y un estereoscopio de 20 a 80 aumentos. La determinación y descripción de las características microscópicas se hizo sobre cortes micrométricos, en preparaciones permanentes, con ayuda de un microscopio.

#### 3.4.1 Características generales

Comprendió la descripción de color, olor, sabor, tipo de grano, lustre o brillo, figura o veteado y anillos de crecimiento. La determinación del color se hizo por comparación empleando la tabla Munsell (107). Para las otras descripciones se siguió las guías sugeridas por (15, 16, 29, 54, 116).

### 3.4.2 Características macroscópicas

La macroestructura fue estudiada para cada especie sobre las superficies radial, tangencial y transversal y comprendió la descripción de poros, parénquima, radios, floema incluido y canales intercelulares. Para la descripción se siguió las guías dadas por (15, 16, 116).

### 3.4.3 Características microscópicas

El estudio de la microestructura de cada especie se hizo sobre preparaciones micrométricas permanentes y no permanentes, utilizando cortes microtómicos y maceraciones.

Comprendió la descripción de poros, punteaduras intervasculares, punteado radiovascular, canales intercelulares, parénquima, radios, fibras, fibrotraqueídas, floema incluido, sustancias inorgánicas y orgánicas.

Para su determinación se siguieron las guías propuestas por (15, 16, 29, 54, 55, 94, 116).

#### 3.4.3.1 Preparación de los cortes micrométricos

Para la elaboración de las preparaciones permanentes se extrajeron cubitos de 1 x 1 x 1 cm aproximadamente, tratando que las caras quedaran orientadas en sentido transversal, tangencial y radial.

Se procuró un ablandamiento del material, manteniendo los cubitos en agua por un día y calentándolos más o menos a 100°C por varias horas, con el objeto de facilitar el corte y sustituir dentro de la estructura de la madera el aire por agua.

Para la obtención de las láminas micrométricas se perfeccionó la orientación de las caras de los cubitos y con el microtomo se sacaron de cada cara varios cortes. El ángulo de corte

varió entre 14° y 18° y la profundidad entre 18 y 24 micras, dependiendo de la dureza o resistencia al corte.

Las láminas así obtenidas se colocaron en agua, para luego ser sometidas al siguiente proceso: montaje en portaobjeto utilizando gelatina; deshidratación en una serie alcohólica de 30-50-70-95 por ciento por espacio de 10, 10, 10 y 30 minutos respectivamente; tinción con safranina, disuelto en alcohol de 95%, durante tres horas; deshidratación en alcohol de 95% por espacio de dos y tres minutos, y en xilol donde permanecieron hasta que se sellaron con el cubreobjetos utilizando resina Permount.

Para el proceso se utilizó una batería de recipientes de vidrio compuesta de nueve unidades, donde las cuatro primeras contenían la serie alcohólica, la quinta la safranina, la sexta y la séptima alcohol de 95%, la octava y novena xilol.

De cada especie se hicieron 10 preparaciones permanentes para ser estudiadas al microscopio. Se tuvo como referencia las guías proporcionadas por (67).

#### 3.4.3.2 Preparación del macerado

Para la medición de las fibras y vasos se desarrolló el siguiente proceso:

De los bloquitos utilizados para los cortes micrométricos se sacaron por rajado finas astillas de aproximadamente un milímetro de ancho por un centímetro de largo. Las astillas así obtenidas se trataron por dos días con una mezcla uno a uno de ácido crómico y ácido nítrico a una concentración del 10% para obtener la separación de los elementos constitutivos del leño.

Una vez que se consideró lista la maceración se lavó varias veces con agua para extraerle los remanentes de ácido, y evitar alteración en el colorante. Para el lavado se utilizaron cajas

Petry y una malla fina de nylon.

La maceración se coloreó con safranina al uno por ciento - (1 gr en 100 ml de alcohol).

Las fibras y vasos fueron colocados sobre portaobjetos y se aplicó glicerina para obtener una mayor dispersión de los elementos y facilitar la medición.

Para la medida del largo, grosor de pared, ancho del lumen de las fibras y longitud de los vasos se utilizó un microscopio binocular con su respectiva pantalla y escala transparente.

Se preparó una tabla de valores, según el objetivo, ocular y condensador utilizado. Las evaluaciones se hicieron siguiendo los estándares de Chalk (28).

Para cada elemento y en cada dimensión se hicieron 50 mediciones por especie. De los resultados se obtuvo el valor promedio, el ámbito, la desviación estándar y el coeficiente de variación. Con estos datos se clasificó cada especie según las posibilidades de ser utilizada en la fabricación de papel, con base al factor de Runkel (98).

### 3.5 Estudio de las propiedades físicas

Para el estudio de las características y propiedades físicas de cada especie, se determinó el peso específico, el peso de la madera verde, y el peso de la madera seca al horno, las contracciones radial, tangencial y volumétrica y el contenido de humedad.

La metodología utilizada fue la siguiente:

#### 3.5.1 Peso específico

Se determinó según la norma ASTM D 143-52/1973 "Testing Small Clear Timber Specimens", secciones 38, 114 y 115 (3); con probetas de 5 x 5 x 15 cm de dimensión. Se hicieron mediciones en es-

tado verde, seco al aire (12% C.H.) y seco al horno. Con estos datos se calculó el peso específico de la madera bajo las siguientes condiciones:

Peso unitario verde	(Peso de la madera verde dividido por el volumen verde: $PV/VV$ )
Peso específico seco al horno	(Peso de la madera seca al horno dividido por el volumen seco al horno - $Ps.h./V.s.h.$ )
Peso específico básico	(Peso de la madera seca al horno dividido por el volumen verde: $P.sh/V.v.$ )

El peso se determinó usando una balanza analítica de precisión  $\pm 0,1$  gr.

El volumen se calculó por desplazamiento de agua con la ayuda de la misma balanza utilizada para la determinación del peso, con el acondicionamiento de algunos accesorios.

Para cada determinación se hicieron cinco ensayos por especie, y los cálculos se realizaron con tres cifras significativas.

Para la determinación del peso de la madera en condición verde, se mantuvieron las probetas en agua hasta obtener peso constante. Se pesaron las probetas y se determinó el volumen por inmersión en agua.

Para la determinación del peso específico en condición seca al horno (C.H. = 0%) las probetas fueron llevadas inicialmente hasta un 12% CH en cuarto climatizado y posteriormente se trasladaron a un horno bien ventilado a  $102^{\circ}\text{C}$ , donde se mantuvieron hasta obtener peso constante. Antes de hacer las mediciones las probetas se enfriaron en un desecador de cristal que contenía  $\text{CaCl}_2$ , para evitar absorción de humedad del ambiente; y se sumergieron en pa-

rafina bien caliente, para evitar la absorción de agua en el momento de determinar el volumen por inmersión. Las maderas se clasificaron en base al peso específico básico, de acuerdo a la clasificación desarrollada por Markwardt y Heck, como aparece en Tropical Woods N°97 (60):

Menor de 0,20	Extremadamente liviana
de 0,20 a 0,25	Excesivamente liviana
de 0,25 a 0,30	Muy liviana
de 0,30 a 0,36	Liviana
de 0,36 a 0,42	Moderadamente liviana
de 0,42 a 0,50	Moderadamente pesada
de 0,50 a 0,60	Pesada
de 0,60 a 0,72	Muy pesada
de 0,72 a 0,86	Excesivamente pesada
más de 0,86	Extremadamente pesada

### 3.5.2 Contracción

La determinación de la contracción se hizo de acuerdo a la norma ASTM D 143-52/1973 "Testing Small Clear Timber Specimens" Sección 39-40, 144-121 (3), en las dimensiones volumétrica, radial y tangencial; de verde a seca al aire y de verde a seca al horno.

#### 3.5.2.1 Contracción volumétrica

La evaluación de la contracción volumétrica se hizo paralelamente con la determinación del peso específico, utilizando las mismas probetas y llevando el control de las dimensiones tomadas en condición verde y seca al horno. Con estos datos se calculó la contracción volumétrica desde verde a seca al aire y desde verde a seco al horno.

### 3.5.2.2 Contracción radial y tangencial

La determinación de la contracción tangencial y radial se hizo según la norma ASTM D 143-52/1973 "Testing Small Clear Timber Specimens" (3) utilizando probetas pequeñas de 2 x 2 cm de sección transversal, en el sentido de las fibras; por 8 cm de largo, en sentido paralelo o perpendicular a los anillos de crecimiento según se tratase de las muestras para ensayo tangencial o radial, respectivamente.

Se hicieron mediciones en condición verde (peso verde dimensión verde), seca al aire (peso seco al aire-dimensión seca al aire), seca al horno (peso seco al horno-dimensión seca al horno); tanto para la contracción radial como para la tangencial.

Con estos datos se calculó la contracción radial y tangencial desde verde a seca al aire (C.H.  $\pm$  12%) y desde verde a seca al horno.

Se calculó el cambio en porcentaje de la contracción radial y tangencial, desde la condición verde a la condición seca al aire, y desde la condición verde a la condición seca al horno. Se efectuó el correspondiente ajuste al 12% de contenido de humedad por extrapolación, cuando esto fue necesario de acuerdo a las indicaciones de (122).

Igualmente se calculó la relación entre las contracciones tangencial y radial (Ct/Cr), para apreciar la estabilidad dimensional de la madera.

Las medidas fueron tomadas con un micrómetro de una precisión de  $\pm$  0.01 mm y el peso con una balanza analítica de precisión de  $\pm$  0.1 gr. Los cambios dimensionales se calcularon con base a la dimensión en condición verde.

De cada especie se ensayaron cinco probetas para contracción radial y cinco para contracción tangencial.

De los valores experimentales se obtuvo el valor promedio,

el coeficiente de variación y la desviación estándar.

### 3.5.2.3 Cálculos

En la determinación de la contracción se usaron las siguientes fórmulas:

a.- Contracción radial:

$$Cr = \frac{DV_2 - DS_2}{DV_2} \times 100$$

Cr = Contracción sentido radial

DV<sub>2</sub> = Dimensión radial de la probeta en condición verde

DS<sub>2</sub> = Dimensión radial de la probeta en condición seca

b.- Contracción tangencial:

$$CT = \frac{DV_t - DS_t}{DV_t} \times 100$$

CT = Contracción sentido tangencial

DV<sub>t</sub> = Dimensión tangencial de la probeta en condición verde

DS<sub>t</sub> = Dimensión tangencial de la probeta en condición seca

c.- Contracción volumétrica:

$$Cv = \frac{Vv - Vs}{Vv} \times 100$$

Cv = Contracción volumétrica

Vv = Volumen de la probeta en condición verde

Vs = Volumen de la probeta en condición seca

### 3.5.3 Contenido de humedad (C.H. %)

El cálculo del contenido de humedad de la madera se hizo de acuerdo a las normas ASTM D 143-52/1973 "Testing Small Clear Timber Specimens" Sección 122-125 (3).

Se calculó el contenido de humedad, en porcentaje, de la madera en condición verde y en la condición seca al aire.

### 3.5.3.1 Cálculos

Para su determinación se usaron las fórmulas siguientes:

$$a.- \text{ Ch sa } \% = \frac{Psa - Psh}{Psh} \times 100$$

Ch sa % = Contenido de humedad seca al aire -  
en por ciento

Psa = Peso seco al aire (CH<sup>+</sup>12%)

Psh = Peso seco al horno

$$b.- \text{ Ch v } \% = \frac{Pv - Psh}{Psh} \times 100$$

Ch v % = Contenido de humedad en condición -  
verde en porcentaje de peso seco al horno

Pv = Peso verde

Psh = Peso seco al horno

## 3.6 Secado de la madera

El control de secado se realizó sobre las piezas de madera destinadas para los ensayos mecánicos en condición seca, mediante el siguiente proceso:

### 3.6.1 Preparación del material

Los cuarterones de 10 x 10 cm de sección transversal traídos al laboratorio se redujeron a una sección transversal de 7,5 x 7,5 cm con sus cortes laterales a escuadra, tratando de seguir la orientación de los anillos de crecimiento y la dirección de las fibras.

### 3.6.2 Apilado

Se colocaron los cuarterones sobre soportes de madera, en una misma dirección, con separadores de madera de 2 cm de sección transversal, dispuestos a cada 40 cm con el fin de facilitar la

aireación. El secado se hizo bajo cubierta en sitio bien ventilado.

### 3.6.3 Control del secado al aire

Al comenzar el secado se tuvieron en cuenta las condiciones iniciales de cada pieza, esto es, contenido de humedad y peso, así como cualquier defecto de curvatura o rajadura.

En cada pieza los extremos fueron sellados con parafina en estado de fusión, con el objeto de evitar las rajaduras en la parte axial por efectos del secado.

El control se efectuó cada 15 días, mediante observaciones y pesadas sucesivas, hasta obtener peso constante, aproximadamente 18% de humedad. Se examinaron las piezas y se anotaron todos los defectos que se encontraron, para lo cual se utilizó un formulario preparado en base a las recomendaciones de (3, 121).

Para la evaluación la velocidad de secado y los defectos de secado se tomó como base la clasificación sugerida por Hess (60).

a.- La velocidad de secado se considera:

Rápida : Menos de 120 días para pasar de la condición verde a un contenido de humedad de equilibrio con el medio ambiente (aproximadamente 18%).

Moderada: De 120 a 200 días para pasar de la condición verde a un contenido de humedad de equilibrio con el medio ambiente (aproximadamente 18%).

Lenta : Más de 200 días para pasar de la condición verde a un contenido de humedad de equilibrio con el medio ambiente (aproximadamente 18%).

b.- Para la calificación de los defectos que se presentan en el secado (rajas, grietas, torceduras y colapsos) se evaluaron así:

Ninguno : No se observaron

Leve : Menos de cinco por ciento de daño de la pieza

Moderado: De 5 a 25 por ciento de daño de la pieza

Severo : Más de 25 por ciento de daño de la pieza

#### 3.6.4 Control de secado en cuarto climatizado

Una vez que las muestras alcanzaron un contenido de humedad en equilibrio con el medio ambiente, aproximadamente 18%, se redujeron sus dimensiones a 5 x 5 cm de sección transversal y se mantuvieron en cuarto con clima normalizado (ambiente de  $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  y  $65\% \pm 2\%$  de humedad relativa) hasta peso constante, para acondicionar la madera a un 12% de contenido de humedad. Se observaron y anotaron los defectos que se presentaron durante este período de secado. Se procedió luego a preparar las probetas para cada ensayo mecánico.

#### 3.7 Estudio de las propiedades mecánicas

Comprende la determinación de la resistencia que opone la madera a los esfuerzos y cargas más comunes que soporta cuando está bajo condiciones de trabajo.

Los ensayos mecánicos realizados fueron: flexión estática, compresión paralela al grano, compresión perpendicular al grano, dureza (Janka) y cortante o cizallamiento. En los ensayos de flexión, compresión paralela y compresión perpendicular la curva carga-deformación se obtuvo por medio de un registrador automático.

Tanto los ensayos realizados con probetas en condición verde como los realizados con probetas en condición seca, se hicieron siguien-

do las especificaciones de la norma ASTM D 143/45-252 (3).

Para cada ensayo se sometieron a prueba cinco muestras, provenientes de cinco trozas diferentes, por especie.

### 3.7.1 Preparación del material

Las piezas destinadas a ensayos mecánicos en condición verde se les redujo sus dimensiones en el momento de realizar las pruebas, a una sección transversal de 5 x 5 cm con sus cortes laterales a escuadra, tratando de seguir la orientación de los anillos de crecimiento y la dirección de las fibras. Siguiendo las especificaciones de (3, 61, 122), dándoles a la vez la longitud requerida para cada ensayo y tratando de obtener probetas libres de defectos.

El material para los ensayos mecánicos en condición seca se preparó siguiendo las normas y especificaciones anteriormente descritas, una vez terminado el proceso de secado.

### 3.7.2 Realización de los ensayos

Todas las pruebas mecánicas se realizaron con una prensa universal RIEHLE (Capacidad 30.000 Kg).

#### 3.7.2.1 Flexión estática

La determinación de la resistencia de la madera a la flexión estática se hizo según la norma ASTM D 143/245-252 (3) - utilizando probetas pequeñas de 5 x 5 cm de sección transversal por 76 cm de largo. La muestra fue colocada como una viga simplemente apoyada a la que se le aplicó una carga puntual en el centro, sobre la cara radial más cercana a la médula, con una velocidad de 0.25 cm por minuto (velocidad de la cabeza móvil de la prensa).

3.7.2.1.1 Curva de carga-deformación

La curva carga-deformación se dibujó automáticamente, con deflector registrador acoplado. Se determinó la curva de carga y la deformación correspondiente hasta la ruptura de la probeta.

3.7.2.1.2 Tipo de falla

Para facilitar la interpretación de los resultados se hizo una descripción de la forma como fallaron las probetas, dibujando esquemáticamente la falla.

3.7.2.1.3 Contenido de humedad de las probetas

Inmediatamente después del ensayo de cada probeta, de la parte no rajada y cerca a la zona donde ocurrió la falla, se cortó una sección de dos centímetros de largo para la determinación del contenido de humedad (se pesaron y se secaron al horno hasta peso constante).

3.7.2.1.4 Valores obtenidos

De cada probeta ensayada se obtuvieron los siguientes valores:

Esfuerzo al límite proporcional	(Kg/cm <sup>2</sup> )
Módulo de elasticidad	(Kg/cm <sup>2</sup> )
Módulo de ruptura	(Kg/cm <sup>2</sup> )
Trabajo al límite proporcional	(m-Kg/dm <sup>3</sup> )
Trabajo a carga máxima	(m-Kg/dm <sup>3</sup> )

Para cada especie se obtuvo el valor promedio, la desviación estándar y el coeficiente de variación

### 3.7.2.2 Compresión paralela al grano

Para la determinación de la resistencia de la madera a la compresión paralela al grano, se siguieron las estipulaciones de la norma ASTM D 143/253-260 (3); utilizando probetas pequeñas de 5 x 5 cm de sección transversal por 20 cm de largo.

#### 3.7.2.2.1 Curva de carga-deformación

Las probetas recibieron una carga continua, con una velocidad constante (ejercida por la cabeza móvil de la prensa) de 0.03 cm por minuto.

Se utilizó un deflectómetro colocado bajo la cabeza móvil, acoplado a un registrador para obtener automáticamente la curva de carga-deformación.

#### 3.7.2.2.2 Tipo de falla

Se hizo una descripción esquemática del tipo de ruptura presentada por las probetas, con el fin de facilitar la interpretación de los resultados.

#### 3.7.2.2.3 Contenido de humedad

Después del ensayo se hicieron las correspondientes mediciones para determinar el contenido de humedad de cada probeta.

#### 3.7.2.2.4 Valores obtenidos

De cada probeta se obtuvo los siguientes valores:

Esfuerzo al límite proporcional	(Kg/cm <sup>2</sup> )
Esfuerzo máximo	(Kg/cm <sup>2</sup> )
Módulo de elasticidad	(Kg/cm <sup>2</sup> )

Para cada especie se obtuvo el valor promedio y el coeficiente de variación.

### 3.7.2.3 Compresión perpendicular al grano

La determinación de la resistencia de la madera a la compresión perpendicular al grano se hizo siguiendo las estipulaciones de la norma ASTM D 143/77-82 (3); utilizando probetas pequeñas de 5 x 5 cm de sección transversal por 15 cm de longitud.

#### 3.7.2.3.1 Curva de carga-deformación

Las probetas se sometieron a una carga constante con una velocidad de 0.03 cm por minuto. La carga se aplicó sobre la cara radial por medio de una platina de 5.05 cm de ancho y 5.00 cm de largo, colocada a igual distancia de los extremos de la probeta. La representación gráfica de la relación carga-deformación, se obtuvo automáticamente por medio de un registrador acoplado a un deflectómetro.

#### 3.7.2.3.2 Contenido de humedad de la probeta

Después del ensayo se hicieron las mediciones correspondientes para determinar el contenido de humedad de cada probeta.

#### 3.7.2.3.3 Valores obtenidos

Esfuerzo al límite proporcional (Kg/cm<sup>2</sup>)

Esfuerzo máximo (Kg/cm<sup>2</sup>)

Para cada serie de ensayos se obtuvo el esfuerzo promedio, la desviación estándar y el coeficiente de variación.

#### 3.7.2.4 Dureza (Janka)

La prueba consiste en determinar la carga necesaria para que penetre hasta la mitad una esfera metálica de 11,284 mm de diámetro.

El ensayo se efectuó siguiendo las especificaciones de la norma ASTM D 143/83-87 (3); utilizando probetas de 5 x 5 cm de sección transversal por 15 cm de largo. La velocidad de aplicación de la carga fue de 0.6 cm por minuto.

A cada probeta se le hicieron seis penetraciones, dos en la cara tangencial, dos en la cara radial y una en cada extremo.

Los valores obtenidos del ensayo fueron:

Dureza lateral, como promedio de los valores de las cargas aplicadas en las caras radial y tangencial.

Dureza axial como promedio de los valores obtenidos en los extremos.

Para cada serie de ensayos se obtuvo los valores promedio, desviación estándar y coeficiente de variación.

#### 3.7.2.5 Cizallamiento o cortante

El ensayo para la determinación de la resistencia de la madera a la ruptura producida por esfuerzo cortante se efectuó de acuerdo a la norma ASTM D 143/88-92 (3); utilizando probetas de 5 x 5 cm de sección transversal por 6,5 cm de largo, en las que se labró un peldaño para dar una superficie de cizallamiento de 5 cm a lo largo del grano. La velocidad de aplicación de la carga fue de 0.06 cm por minuto.

Para cada serie de ensayos se hicieron cinco pruebas por la cara radial y cinco por la cara tangencial y en cada una se determinó el esfuerzo de ruptura por carga cortante.

De los datos experimentales obtenidos para cada especie se calculó el valor promedio, la desviación estándar y el coeficiente de variación.

### 3.7.3 Equipo usado

En la realización de las pruebas mecánicas se empleó el siguiente material:

- a.- Prensa hidráulica RHIELE con capacidad de 30.000 Kg y sus accesorios (precisión 1%)
- b.- Sierra de banda, canteadora, cepilladora, equipo de carpintería
- c.- Balanza mecánica
- d.- Balanza eléctrica (precisión 0.1%)
- e.- Cuarto climatizado
- f.- Horno de tiro forzado
- g.- Micrómetros
- h.- Calibradores
- i.- Planímetros
- j.- Equipo de oficina.

### 3.7.4 Métodos de cálculo

Los resultados experimentales de cada ensayo fueron anotados en formularios previamente elaborados, posteriormente transferidos a tarjetas IBM y procesados en una computadora IBM 1620.

Los programas utilizados fueron los elaborados y empleados por el Laboratorio de Productos Forestales del CATIE para esta clase de estudios. Los datos experimentales se ajustaron al 12% de contenido de humedad, según los métodos dados por (122).

### 3.7.5 Fórmulas empleadas

Las siguientes fórmulas usadas en la ejecución de los cálculos se tomaron de (17, 48, 61).

#### 3.7.5.1 Flexión estática

a.- Esfuerzo al límite proporcional =  $\frac{3P_1 L}{2bd^2}$

b.- Módulo de ruptura =  $\frac{3P_2 L}{2bd^2}$

c.- Módulo de elasticidad =  $\frac{P_1 L^3}{4 bd^3 y}$

d.- Trabajo en el límite proporcional =  $\frac{P_1 y}{2}$

e.- Trabajo a carga máxima = Area bajo la curva; carga vrs. deformación hasta carga máxima.

Donde:

$P_1$  = Carga al límite proporcional (Kg)

$P_2$  = Carga máxima (Kg)

L = Luz de la viga simplemente apoyada (cm)

b = Ancho de la muestra (cm)

d = Altura de la muestra (cm)

y = Deformación al límite proporcional

#### 3.7.5.2 Compresión paralela al grano

a.- Esfuerzo al límite proporcional =  $P_1/A$

b.- Esfuerzo máximo de compresión =  $P/A$

c.- Módulo elástico =  $\frac{P_1 L}{Ay}$

Donde:

$P_1$  = Carga al límite proporcional (Kg)

P = Carga máxima (Kg)

A = Area sometida a carga ( $\text{cm}^2$ )

L = Longitud sobre la que se mide la compresión (cm)

y = Deformación al límite proporcional

### 3.7.5.3 Compresión perpendicular al grano

a.- Esfuerzo al límite proporcional =  $P_1/A$

Donde:

$P_1$  = Carga límite proporcional (Kg)

A = Area de la muestra bajo la platina ( $\text{cm}^2$ )

### 3.7.5.4 Esfuerzo cortante radial y tangencial

a.- Esfuerzo cortante máximo =  $P/A$

Nota: En la tabla de resultados se da el esfuerzo cortante promedio de las pruebas radial y tangencial.

Donde :

P = Carga máxima (Kg)

A = Area sometida a esfuerzo cortante ( $\text{cm}^2$ )

### 3.7.5.5 Dureza

a Se reportan los valores promedios de las caras axiales y laterales, (medidas como dureza Janka, que es la fuerza necesaria para penetrar en la madera una bola de tamaño estándar hasta la mitad de su diámetro).

## 3.8 Contenido de sílice

En la determinación del contenido de sílice en la madera se si-

guieron las técnicas utilizadas por (5).

El proceso seguido fue el siguiente: de los discos (muestras - utilizadas en la descripción general de la madera) se obtuvo una muestra de aserrín representativa, de 20 a 30 gr, se pasó por un tamiz "U.S. Standard Sieve Series Nº30" para homogenizarle; se tomó una submuestra de dos gramos aproximadamente, se secó a 103°C hasta peso constante, se incineró a 800°C y se obtuvo el contenido de ceniza por diferencia de peso. La ceniza se trató con ácido hidrofouorhídrico y se midió la pérdida de sílice como tetrafluoruro de silicio.

Los resultados se expresan como porcentaje de ceniza y porcentaje de sílice (SiO<sub>2</sub>) en base al peso seco al horno (103°C).

### 3.8.1 Reactivos y equipo usado

Acido sulfúrico 1:1, sin residuo

Acido fluorhídrico, 50% aproximadamente, sin residuo

Crisol de platino, capacidad de 10 - 15 ml, con tapa

Pinza con punta de platino

Balanza analítica de precisión  $\pm 0,0001$  gr

Horno de tiro forzado usado a una temperatura de 103°C  $\pm 2$ °C

Mufla usada a una temperatura de 850°C.

### 3.8.2 Procedimiento

Los pasos seguidos fueron:

- a.- Incinerar, enfriar y pesar el crisol vacío con su tapa
- b.- Tomar aproximadamente 1 gr de la muestra seca al horno, colocarla en el crisol y pesar (crisol más muestra)
- c.- Tapar el crisol e incinerar, crisol y muestra, en la mufla a 600-700°C
- d.- Enfriar y repetir la operación hasta peso constante
- e.- Humedecer la ceniza con ácido sulfúrico 1:1

- f.- Vaporizar lentamente el ácido sulfúrico (en una capilla para gases) a una temperatura media
- g.- Incinerar el crisol en la mufla a 850°C durante 10 minutos y dejar enfriar hasta aproximadamente 100°C; continuar el enfriamiento hasta temperatura ambiente en un desecador y pesar, repetir hasta peso constante
- h.- Agregar 0,5 ml de ácido sulfúrico 1:1 y 0,5 ml de ácido fluorhídrico al 48%; vaporizar lentamente los ácidos a temperatura baja, en la capilla
- i.- Incinerar el residuo en la mufla a 850°C, por cinco minutos, enfriar y pesar hasta peso constante
- j.- La diferencia entre los pesos obtenidos en d - i, corresponde al contenido de sílice en la muestra
- k.- Se llevó un blanco testigo.

### 3.8.3 Cálculos

Para el cálculo se empleó la fórmula siguiente:

$$\text{SiO}_2 \% = \frac{\text{Pérdida de peso después de añadir el HF}}{\text{Peso muestra}} \times 100$$

### 3.9 Trabajabilidad

Las características de trabajabilidad de la madera se evaluaron en base a las observaciones realizadas durante las operaciones normales de aserrado y cepillado, llevadas a cabo en la preparación de las muestras para ensayos mecánicos.

Para la determinación y calificación de las características de aserrado se tuvo en cuenta la norma ASTM D 1666-73 ("Conducting Machining Tests of Wood and Wood-base Materials" (3) y se clasificó la madera en fácil, moderadamente fácil, moderadamente difícil y difícil de aserrar.

Para la valoración de las características de cepillado se tuvo como referencia la norma ASTM D 1666-73 (3), y para su clasificación se empleó la terminología de excelente, buena, mediana, pobres y muy pobres; según los defectos que presentó la madera durante el cepillado.

### 3.9.1 Equipo usado

- a.- Sierra cinta de 1,9 cm de ancho y cuatro dientes por cada 2,5 cm
- b.- Sierra circular de 25 cm de diámetro y dos dientes por cada 2,5 cm
- c.- Sierra circular de 25 cm de diámetro y cuatro dientes por cada 2,5 cm
- d.- Canteadora de 15,3 cm de ancho, provista de tres cuchillas de acero, de alta velocidad con un ángulo de corte de 20°.

### 3.9.2 Procesamiento

Reaserrado de viguetas de 10 x 10 cm de sección transversal por 160 cm de largo, para obtener piezas de 5 x 5 cm de sección transversal y probetas de diferentes longitudes.

La operación se hizo en condición verde y seca al aire (aproximadamente 18% C.H.).

Para el rajado (aserrado en dirección de las fibras) se usó la sierra circular de 25 cm de diámetro y dos dientes por cada 2,5 cm.

Para el cortado (aserrado perpendicular a la dirección del grano) se utilizó la sierra circular de 25 cm de diámetro y cuatro dientes por cada 2,5 cm.

El cepillado se hizo con la canteadora de alta velocidad con -

un ángulo de corte de 20°. La velocidad de giro de 4500 RPM y la potencia disponible de 1,5 H.P. La profundidad de corte fue de 0,4 cm y la velocidad de alimentación de 4,6 m/min.

### 3.10 Extracción de clavos

Para estimar la resistencia que opone la madera a la extracción de clavos se siguieron los lineamientos generales de la norma ASTM D 143-52/1973 (3).

Las muestras ensayadas tenían una dimensión de 5x5x15 cm con un contenido de humedad cercano al 12%, obtenido en un ambiente climatizado de 20°C ± 1°C y 65% ± 2% de humedad ambiental; los clavos de acero galvanizado (alambre liso), de cabeza plana y punta diamante; longitud 6,6 mm y diámetro 3,2 mm corresponden al tipo comercial.

De cada probeta se arrancaron dos clavos en la cara tangencial y dos en la cara radial. La velocidad empleada fue de 2,5 mm/min.

El ensayo se hizo con la prensa universal RHIELE con capacidad de 30.000 Kg.

Los clavos se introdujeron a golpe de martillo hasta una profundidad de 32 mm .

#### 3.10.1 Cálculos

Para la evaluación de la resistencia que opone la madera a la extracción de clavos se promediaron los valores obtenidos, para las caras tangencial y radial, y se emplearon las siguientes fórmulas (4, 36):

$$R = \frac{\text{Carga máxima}}{\text{Profundidad de penetración} = 3,2 \text{ cm}}$$

$$R = 550 G^{2,3} D$$

R = Resistencia que opone la madera a la extracción del  
clavo por centímetro de penetración

G = Peso específico de la madera

D = Diámetro del clavo en cm

### 3.11 Preservación

Con el objeto de proporcionar información sobre las características básicas de preservación, en lo referente a penetración y retención, de preservante en estas maderas, se siguió el método usual de impregnar especímenes mediante un tratamiento a presión.

Se evaluó la penetración y absorción y de acuerdo a la resistencia a la impregnación se clasificaron las maderas por su tratabilidad en fáciles, moderadamente fáciles, difíciles y extremadamente difíciles de impregnar.

#### 3.11.1 Equipo y material usado

La madera se trató en la planta de preservación del Laboratorio de Productos Forestales del CATIE y la solución preservadora fue preparada a partir de una mezcla comercial concentrada, con la siguiente composición:

$As_2O_5$  34,0;  $CrO_3$  26,6%;  $CuO$  14,8%; agua 24,6%

Que corresponde a un preservante hidrosoluble del tipo CCA-B según estándar P5-72 de la American Wood Preservers Association (4); se usó en una concentración del 2.5%.

El material disponible para este estudio fue limitado ya que este ensayo no estaba previsto en el plan de trabajo inicial, por lo que fue necesario hacer uso del material sobrante de los ensayos de flexión. Las dimensiones fueron aproximadamente de 5 x 5 cm de sección transversal por 25 a 35 cm de largo. Todas las muestras tenían un contenido de humedad próximo al 18%.

### 3.11.2 Tratamiento

Se realizó el siguiente proceso:

- a.- Pesada de probetas
- b.- Colocación de probetas en el cilindro
- c.- Vacío inicial de 0,7 Kg/cm<sup>2</sup> (10" Hg) durante 15 minutos
- d.- Bombeo de preservante a una presión hidráulica de 12,7Kg/cm<sup>2</sup> (180 libras/pulg<sup>2</sup>) durante tres horas
- e.- Vacío final de 0,7 Kg/cm<sup>2</sup> (20" Hg) durante 15 minutos
- f.- Escurrimiento de las probetas (líquido preservante en exceso)
- g.- Pesada de las probetas.

### 3.11.3 Cálculos

Se calculó la absorción total en litros/cm<sup>3</sup>, en base del aumento de peso de la probeta después del tratamiento.

La penetración se estimó cortando la pieza transversalmente por la mitad y aplicando por asperción una solución de romo-azurol S, de acuerdo a las indicaciones dadas por la AWPA (4) "Standard Methods for Determining Penetration of Preservatives and Fire Retardants, A3-71", de la AWPA (4).

La clasificación de la madera por su tratabilidad se hizo teniendo en cuenta la retención y el tipo de penetración.

### 3.11.4 Reactivos usados

Se preparó la solución de romo-azurol S disolviendo 0,5 gr de romo-azurol S concentrado y 0,5 gr de acetato de sodio en 80 ml de agua, y disolviendo todo en 100 ml de agua.

### 3.12 Usos posibles de la madera

Los posibles usos de la madera se dedujeron de los datos obtenidos en los diferentes ensayos y de las informaciones recopiladas.

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Descripción de las características y propiedades de cada especie

#### 4.1.1 Hura crepitans L.

Familia: Euphorbiaceae

Nombre común: Jabillo\*

##### 4.1.1.1 Origen de la muestra

Costa Rica, vertiente atlántica, entre los ríos Chirripó - atlántico y Pacuare, finca Milena, situada según el mapa ecológico por Tossi (117) en la zona de vida bosque muy húmedo tropical, transición a premontano, donde se presenta esta especie - con una frecuencia de 0,5 árboles por hectárea.

##### 4.1.1.2 Distribución y hábitaculo

Tiene ocurrencia en Centro América y Sur América, desde el - Sur de México hasta Brasil e Indias Occidentales, especialmente en los bosques muy húmedos.

##### 4.1.1.3 Descripción del árbol\*

Arboles de gran tamaño, rectos y bien formados. Alcanza alturas de 30 - 45 m, con fuste libre de ramas hasta 13 - 25 m y diámetros a la altura del pecho de 1,80 - 2,70 m . Gambas presentes usualmente.

---

\* En el capítulo de revisión de literatura se da mayor información.

#### 4.1.1.4 Descripción de las trozas muestra

Las seis trozas elegidas al azar de una población de 280 trozas, con un volumen total de 483,3 m<sup>3</sup>, median por su extremo más delgado un diámetro máximo de 126 cm y mínimo de 39 cm, promedio 68,2 cm y una longitud de 3,20 - 3,30 m . De acuerdo con las exigencias del muestreo todas las trozas estaban sanas a excepción de algunas grietas en los extremos.

#### 4.1.1.5 Descripción de la madera

Características generales: ligera diferencia de color entre la albura y el duramen. En condición verde la albura muestra un color anaranjado claro y el duramen un color gris anaranjado. En condición seca la albura es de color anaranjado amarillento claro y el duramen anaranjado amarillento grisáceo; en estado seco la transección albura duramen es abrupta.

La albura en la muestra estudiada presentó un ancho de 10 cm (ámbito 9,0 - 11,2 cm) y correspondió al 62% de la sección transversal. El duramen presentó una apariencia y forma regular.

Anillos de crecimiento: La muestra presentó anillos diferenciados y limitados por bandas claras y oscuras, con una distribución irregular y poco visible en algunos sectores; por cada 2,5 cm se presentan de 3 - 6 anillos.

*Grano* : fuertemente entrecruzado en bandas anchas y angostas

*Textura:* mediana

*Lustre* : ausente, a bajo

*Figura* : arcos superpuestos inconspicuos

*Olor* : no característico

*Sabor* : no característico

#### Características macroscópicas

Poros: fácilmente visibles a simple vista, de forma oval. - Por su tamaño se clasifica como moderadamente grandes (diámetro

tangencial de 0,2 - 0,3 mm); dispuestos predominantemente en hileras radiales, con una distribución más o menos uniforme. Se presentan solitarios y múltiples en igual proporción, radiales de 2 - 8 y tangenciales de 2 - 3. Hay pocos poros (promedio - 10, ámbito de 8 - 15 por 10 mm<sup>2</sup>). Presenta porosidad difusa.

Parénquima: apotraqueal difuso y difuso en bandas muy cortas - de radio a radio. Visible a simple vista. La distribución es uniforme, no presenta cambios de concentración de anillo a anillo; color más claro que el tejido de fondo.

Radios: finos, menores de 0,05 mm de ancho y menos de 1 mm de altura; difícilmente visibles a simple vista. Se encuentran moderadamente pocos radios, (promedio 36, ámbito de 41 - 49 en 5 mm).

#### Características microscópicas:

Poros-Vasos: diámetro tangencial mediano (promedio 184 $\mu$ , ámbito 144 - 146 $\mu$ ), longitud de los elementos vasculares mediana, - (promedio 433 $\mu$ , ámbito de 600 - 220 $\mu$ ). Platinas de perforación en su mayoría muy inclinadas. Perforaciones múltiples y simples, escaleriformes con menos de 20 barras. Cristales abundantes en las células parenquimatosas y presentes en las células radiales. Punteado intervascular alterno de forma poligonal. Aperturas - inclinadas de forma ovalada y opuestas. Punteado radiovascular alargado horizontalmente.

Parénquima: en la sección transversal apotraqueal difuso, muy raro. En la sección longitudinal el parénquima es alargado verticalmente.

Radios: casi exclusivamente uniseriados; altura variable, el 30% con menos de 10 células y el 70% con 10 - 20 células (promedio 97 $\mu$ , ámbito 38 - 152 $\mu$ ).

Fibras: fusiformes, con una longitud promedia de 1020 $\mu$ , ámbito 738 - 1260 $\mu$ , CV=17; diámetro promedio 17,3 $\mu$ ; diámetro promedio del lumen 7,2 $\mu$ ; espesor promedio de la pared 5 $\mu$ . Factor de Run kel 1,41 (Grupo IV)

Sustancias orgánicas e inorgánicas: cristales romboédricos - abundantes en el parénquima y presentes en las células septadas.

#### 4.1.1.6 Propiedades físicas

Los resultados experimentales obtenidos en los ensayos de propiedades físicas de la madera de *Hura crepitans*, presentaron los siguientes valores:

Contenido de humedad en condición verde (%)	63,5
Peso de la madera en condición verde (gr/cm <sup>3</sup> )	0,658
Peso específico básico (peso seco al horno volumen verde)	0,407
Peso específico en condición seca al horno	0,440
Contracción volumétrica de verde a seca al horno (%)	7,4
Contracción radial de verde a seca al aire (%)	1,0
Contracción radial de verde a seca al horno (%)	2,4
Contracción tangencial de verde a seca al aire (%)	2,4
Contracción tangencial de verde a seca al horno (%)	4,3
Razón de contracciones (rad/tang) al 0% C.H.	1/1,8

En el cuadro 1. se presentan los valores correspondientes al promedio, al ámbito y al coeficiente de variación, obtenidos en cada serie de ensayos.

En el cuadro 10. se incluyen los valores promedios obtenidos en el presente estudio y se comparan con los valores encontrados en la literatura para esta especie y con las de otras maderas de peso específico similar.

Cuadro 1. Valores estadísticos de las propiedades físicas de la madera de Hura crepitans L. (Jabillo)

Ensayo	Promedio	Arbitrio	Coefficiente de variación de variación	Coefficiente de variación para 50 especies (122)
Contenido de humedad de la madera en condición verde (%)	63,5	55,7-88,2	19	-
Densidad (peso y volumen verde) (gr/cm <sup>3</sup> )	0,660	0,517-0,722	5	10
Peso específico				
Peso seco al horno volumen verde	0,407	0,275-0,463	17	10
Peso y volumen seco al horno	0,440	0,298-0,502	17	10
Contracciones				
Volumétrica, de verde a seca al horno	7,4	7,0-7,7	5	16
Radial, de verde a seca al aire (%)*	1,0	0,4-1,9	58	15
Radial de verde a seca al horno (%)	2,4	1,7-3,1	27	15
Tangencial de verde a seca al aire (%)*	2,4	1,3-3,8	34	14
Tangencial de verde a seca al horno (%)	4,3	3,2-5,1	17	14
Razón de contracciones				
Rad/tang de verde a seca al horno	1/1,8	- -	-	-

\* Al 12% contenido de humedad

#### 4.1.1.7 Propiedades mecánicas

Debido a que el contenido de humedad de la madera tiene gran influencia sobre la resistencia mecánica de la misma, los ensayos se realizaron sobre probetas en condición verde y probetas en condición seca al aire (12% de contenido de humedad aproximadamente).

Los valores experimentales obtenidos en el estudio de las propiedades mecánicas de la madera de *Hura crepitans*, se indican en el cuadro 2.

Cuadro 2. Propiedades mecánicas de la madera de Hura crepitans en condición verde y condición seca al aire\*

Ensayo	Condición verde	Condición seca*
<b>Flexión estática</b>		
Esfuerzo al límite proporcional, (Kg/cm <sup>2</sup> )	170	306
Módulo de ruptura, (Kg/cm <sup>2</sup> )	369	592
Módulo de elasticidad, (Kg/cm <sup>2</sup> x 10 <sup>3</sup> )	97	88
Trabajo al límite proporcional, (Kg/cm <sup>2</sup> )	0,2	0,6
Trabajo a carga máxima, (Kg/cm <sup>2</sup> )	4,2	4,9
<b>Compresión paralela al grano</b>		
Esfuerzo al límite proporcional, (Kg/cm <sup>2</sup> )	111	138
Resistencia máxima a la compresión, (Kg/cm <sup>2</sup> )	179	311
Módulo de elasticidad, (Kg/cm <sup>2</sup> )	53	70
<b>Compresión perpendicular al grano</b>		
Esfuerzo al límite proporcional, (Kg/cm <sup>2</sup> )	24	39
<b>Cizallamiento paralelo al grano</b>		
Esfuerzo máximo, (Kg/cm <sup>2</sup> )	52	76
<b>Dureza</b>		
Lateral, (Kg)	194	154
Axial, (Kg)	236	212

\* Al 12% contenido de humedad

En el cuadro 3. se presentan los valores correspondientes al promedio, al ámbito y al coeficiente de variación obtenidos para cada serie de ensayos, realizados en la determinación de las propiedades mecánicas de esta especie, en condición verde y seca al aire respectivamente.

En los cuadros 11. y 12. se indican los valores promedios de las propiedades mecánicas obtenidos en el presente estudio, en condición verde y condición seca al aire respectivamente y se comparan con los valores encontrados en la literatura para esta especie y con los de otras maderas de peso específico similar.

#### 4.1.1.8 Características de secado

La madera de *Hura crepitans* ofrece una velocidad de secado - rápida, requirió 100 días para pasar de 63,5% a 18 - 20% de contenido de humedad en equilibrio.

Los defectos que se presentaron durante el secado fueron: rajaduras de tipo leve y moderado en el 20% de las piezas, especialmente por las caras laterales. Torceduras, en forma de combas leves, moderadas y severas en el 60%, 20% y 20% de las piezas respectivamente. De forma romboidal, y retorcida en el - 12,5% y 12,5% de las piezas respectivamente.

#### 4.1.1.9 Características de trabajabilidad y contenido de sílice

La madera de *Hura crepitans* es fácil de cortar y moderadamente fácil de aserrar; en condición seca ofrece mejor aptitud para trabajar. El cepillado es moderadamente difícil. Un 60% de las piezas analizadas presentan grano mechudo en las superficies de corte y un 20% presentó grano rasgado; por lo que se clasifica como pobre en sus propiedades de cepillado.

La madera posee un contenido de sílice muy bajo, de 0.02%.

Cuadro 3. Valores estadísticos de las propiedades mecánicas de la madera de Hura crepitans L., en condición verde y condición seca al aire.

ENSAYO	CONDICIÓN VERDE			CONDICIÓN SECA AL AIRE*			Coeficiente de variación para 50 especies (122)
	Promedio	Ambito	Coeficiente de variación	Promedio	Ambito	Coeficiente de variación	
Flexión estática							
Esfuerzo al límite proporcional, (kg/cm <sup>2</sup> )	170	135 - 220	20	306	203 - 390	23	22
Módulo de ruptura, (kg/cm <sup>2</sup> )	369	159 - 474	30	592	401 - 721	20	16
Módulo de elasticidad, (kg/cm <sup>2</sup> x 10 <sup>3</sup> )	97,2	71 - 176	41	88,5	56,5 - 107	20	22
Trabajo al límite proporcional, (kg/cm <sup>2</sup> )	0,2	0,06 - 0,35	50	0,6	0,4 - 0,9	34	38
Trabajo a carga máxima, (kg/cm <sup>2</sup> )	4,2	0,45 - 6,18	50	4,9	2,2 - 11	61	34
Compresión paralela							
Esfuerzo al límite proporcional, (kg/cm <sup>2</sup> )	111	68 - 225	28	138	117 - 162	14	24
Resistencia max. a la compresión, (kg/cm <sup>2</sup> )	179	117 - 255	54	311	206 - 377	19	18
Módulo de elasticidad, (kg/cm <sup>2</sup> )	53,3	12 - 81	48	70,4	48,0 - 86,6	18	29
Compresión perpendicular							
Esfuerzo al límite proporcional, (kg/cm <sup>2</sup> )	23,8	- -	25	39,4	- -	11	28
Cizallamiento paralelo al grano							
Esfuerzo máximo, (kg/cm <sup>2</sup> )	52,2	31 - 63	22	75,9	60,1 - 84,9	21	14
Dureza							
Lateral, (kg)	194	92,5 - 260	29	256	142 - 300	23	20
Axial, (kg)	236	139 - 320	26	328	214 - 371	21	17

\* Al 12 % contenido de humedad.

#### 4.1.1.10 Extracción de clavos

La resistencia que ofrece la madera de *Hura crepitans* a la extracción de clavos, en base a la relación carga máxima/profundidad de penetración del clavo, fue de 27,2 Kg y 25,8 Kg, para las caras radial y tangencial respectivamente, por cm de penetración del clavo. Utilizando la fórmula propuesta por DE ZEEUW (36) se obtuvo una resistencia de 20,6 Kg por centímetro de penetración.

#### 4.1.1.11 Características de Preservación

La madera de *Hura crepitans* presentó una absorción total promedio de 311 lts/cm<sup>3</sup>, con una penetración transversal de aproximadamente 10 - 15 mm por las caras radial y tangencial respectivamente. El 20% de las muestras presentaron una penetración parcial irregular. Esta madera es moderadamente fácil de impregnar.

#### 4.1.1.12 Usos posibles

La madera de *Hura crepitans* puede usarse para carpintería en general, muebles y gabinetes, cajas y cajones, moldaduras, chapa y madera contrachapada, construcción interna, postes para cerca y estacas (preservadas), ebanistería, palillos y cajas de fósforos.

#### 4.1.2 Brosimum costarricense Liebm.

Familia: Moraceae

Nombre común: Ojoche\*

##### 4.1.2.1 Origen de la muestra

Costa Rica, Vertiente del Atlántico, entre los ríos Chirripó atlántico y Pacuare, finca Milena, ubicada según el mapa ecológico elaborado por Tossi (117), en la zona de vida bosque muy húmedo tropical, transición a premontano, donde se presenta esta especie con una frecuencia de 4,4 árboles por hectárea.

##### 4.1.2.2 Distribución y hábitat

Los registros que se tienen de esta especie indican una distribución restringida a Centro América. Es una especie de bosque clímax.

##### 4.1.2.3 Descripción del árbol\*

Arboles altos, 20 - 45 m; recto, cilíndrico y desprovisto de ramas hasta la mitad; gomas poco desarrolladas; diámetro a la altura del pecho de 0,60 - 1,20 m .

##### 4.1.2.4 Descripción de las trozas muestra

Las seis trozas elegidas al azar de una población de 30 trozas, con un volumen total de 30,7 m<sup>3</sup>, presentaron por su extremo más delgado un diámetro máximo de 90 cm y mínimo de 57,5 cm, con las exigencias del muestreo todas las trozas estaban libres de defectos a excepción de algunas grietas en los extremos.

##### 4.1.2.5 Descripción de la madera

Características generales: no presenta variación de color entre la albura y el duramen, en condición verde la madera tiene un color anaranjado amarillento grisáceo. No ofrece cambio de coloración al pasar de la condición verde a la condición seca.

---

\* En el capítulo de revisión de literatura se da mayor información.

Anillos de crecimiento: poco diferenciados, limitados por bandas claras regulares, 4 - 6 anillos por 2,5 cm. La separación de los anillos no es homogénea.

Olor y sabor: no característicos

Grano : entrecruzado en bandas angostas

Textura : fina, homogénea

Lustre : regular

Características macroscópicas: poros de forma oval, dispuesta en hileras radiales; tamaño medio, ligeramente visibles a simple vista (de 0,1 - 0,2 mm de diámetro). Solitarios en un 67,5% y múltiples en un 33,5%; hay radiales de 2 - 6 poros. Hay moderadamente pocos poros (promedio 67, ámbito 50 - 85 en 10 mm<sup>2</sup>). Porosidad difusa.

Parénquima: poco visible a simple vista, paratraqueal en bandas muy finas y discontinuas. Un poco más claro que las fibras.

Radios: visibles a simple vista, medianos (de 0,05 - 0,10 mm de ancho). Hay moderadamente pocos radios, (promedio 37, ámbito 32 - 39, con una altura de menos de 1,0 mm). La distribución es estratificada.

Características microscópicas:

Poros-Vasos: el tamaño de los poros es medianamente pequeño, con un diámetro tangencial promedio de 102 $\mu$ , ámbito de 48 - 142 $\mu$ . La longitud de los elementos vasculares es mediana (promedio 493 $\mu$ , ámbito de 305 - 666 $\mu$ ). Presenta platinas de perforación horizontales, poco y muy inclinadas. Perforaciones simples y múltiples escaleriformes con 5 - 6 barras. Las tílides son escasas y no muy bien definidas. Hay presencia de cristales romboédricos en las células de los radios. Punteado intervascular interno de forma poligonal y oval; aperturas incluidas y muy

pocas extendidas, de forma alargada, dispuestas en forma opuesta con respecto a los otros elementos; ocurre también punteadura ornada. Punteado radiovascular, similar al punteado intervascular.

Parénquima: terminal, poco desarrollado, en bandas más o menos continuas, con un grosor de 2 - 3 hileras de células. Paratraqueal muy escaso y uniseriado en bandas de 2 - 3 hileras de células; los elementos son alargados verticalmente.

Radios: con una altura promedio de  $389\mu$ , ámbito  $232 - 814\mu$  y con más de 40 células; ancho promedio de 4 células, ámbito de 3 - 6, multicariados con 2 - 4 células, y pocos de 4 - 10 células. Longitudinalmente fusionados en tres hileras. Heterogéneos tipo II, unicariados compuestos por células erectas o erectas y cuadradas. Traqueídas vasculares presentes.

Fibras: fusiformes y septadas, con una longitud promedio de  $1140\mu$ , ámbito de  $652 - 1610\mu$ ; CV=18; diámetro promedio  $28,4\mu$ ; diámetro del lumen en promedio  $12,6\mu$ ; espesor promedio de la pared  $15,8\mu$ .

Factor de Runkel 1,26 (Grupo IV)

Inclusiones orgánicas e inorgánicas: cristales romboédricos abundantes en las células de los radios y en el parénquima.

#### 4.1.2.6 Propiedades físicas

Las propiedades físicas determinadas para *Brosimum costaricanum*, presentaron los siguientes valores:

Contenido de humedad en condición verde, %	55,5
Peso de la madera en condición verde, gr/cm <sup>3</sup>	0,972
Peso específico básico	0,625
Peso específico en condición seca al horno	0,713
Contracción volumétrica, de verde a seca al horno %	12,3
Contracción radial de verde a seca al aire, %	2,6
Contracción radial, de verde a seca al horno, %	4,7
Contracción tangencial de verde a seca al aire, %	4,9
Contracción tangencial de verde a seca al horno, %	7,8
Razón de contracciones (rad/tang) a 0% C.H.	1/1,7

En el cuadro 4. se incluyen los valores correspondientes al promedio, al ámbito y al coeficiente de variación, de las propiedades físicas obtenidas en cada serie de ensayos. En el cuadro 13. se comparan los valores promedios obtenidos en el presente estudio, con los valores encontrados en la literatura para esta especie y con los de otras maderas de peso específico similar.

Cuadro 4. Valores estadísticos de las propiedades físicas de la madera de Brosimum costarricense Liebm. (ojoche)

Ensayo	Promedio	Amplitud	Coefficiente de variación de variación	Coefficiente de variación para 50 especies (122)
Contenido de humedad de la madera en condición verde (%)	55,5	47,6-58,7	7	10
Densidad (peso y volumen verde) (gr/cm <sup>3</sup> )	0,972	0,918-1,000	3	10
Peso específico				
Peso seco al horno volumen verde	0,625	0,617-0,636	1	10
Peso y volumen seco al horno	0,713	0,695-0,733	2	16
Contracciones				
Volumétrica, de verde a seca al horno	12,3	10,6-13,3	12	15
Radial, de verde a seca al aire (%)*	2,6	2,1-3,1	17	15
Radial, de verde a seca al horno (%)	4,7	4,4-5,0	5	14
Tangencial de verde a seca al aire (%)*	4,9	3,5-6,5	24	14
Tangencial de verde a seca al horno (%)	7,8	6,9-9,5	13	-
Razón de contracciones				
Radial/Tang de verde a seca al aire	1/2,0	-	-	-
Radial/Tang de verde a seca al horno	1/1,7	-	-	-

\* Al 12% contenido de humedad

4.1.2.7 Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas de la madera *B. costarricense* fueron determinadas en condición verde y condición seca al aire.

Los ensayos realizados y los valores experimentales encontrados para cada esfuerzo se detallan en el cuadro 5.

Cuadro 5. Propiedades mecánicas de la madera de Brosimum costarricense en condición verde y condición seca al aire

Ensayo	Condición verde	Contenido seco*
Flexión estática		
Esfuerzo al límite proporcional, (Kg/cm <sup>2</sup> )	409	668
Módulo de ruptura, (Kg/cm <sup>2</sup> )	752	1120
Módulo de elasticidad, (kg/cm <sup>2</sup> x10 <sup>3</sup> )	119	144
Trabajo al límite proporcional, (Kg/cm <sup>2</sup> )	0,8	1,7
Trabajo a carga máxima, (Kg/cm <sup>2</sup> )	4,4	8,0
Compresión paralela al grano		
Esfuerzo al límite proporcional, (Kg/cm <sup>2</sup> )	177	253
Resistencia máxima a la compresión, (Kg/cm <sup>2</sup> )	343	521
Módulo de elasticidad, (Kg/cm <sup>2</sup> )	51,7	107
Compresión perpendicular al grano		
Esfuerzo al límite proporcional, (Kg/cm <sup>2</sup> )	54,5	79,3
Cizallamiento		
Esfuerzo máximo, (Kg/cm <sup>2</sup> )	108	142
Dureza		
Lateral, (Kg)	548	667
Axial, (Kg)	521	810

\* 12% contenido de humedad

En el cuadro 6. se incluyen los valores correspondientes al promedio, al ámbito y al coeficiente de variación, obtenidos en cada serie de ensayos, realizados en la determinación de las propiedades mecánicas de esta especie, en condición verde y seca respectivamente.

En los cuadros 14. y 15. se consignan los valores promedios de las propiedades mecánicas determinadas en el presente estudio, en condición verde y condición seca respectivamente y los encontrados en la literatura para esta especie, y se comparan con los de otras maderas de peso específico similar.

#### 4.1.2.8 Características de secado

La madera de *B. costarricense* requirió de 85 días para pasar de 55,5% de contenido de humedad, a un 20% de contenido de humedad en equilibrio. Ofrece una velocidad de secado rápida.

Los defectos que se presentaron durante el secado fueron: rajaduras laterales del tipo leve y moderado en el 20% y 40% de las piezas respectivamente. Combas leves en el 20% de las piezas. Colapso en todas las piezas de tipo leve y moderado, en el 40% y 60% respectivamente.

#### 4.1.2.9 Características de carpintería y contenido de sílice

La madera de *B. costarricense* es fácil de cortar y moderadamente difícil de aserrar. En condición seca ofrece mejor aptitud de trabajo. El 20% de las piezas presentó grano mechudo y el 40% grano rasgado. Se califica esta madera como de características de cepillado medianas a pobres.

El contenido de sílice que presenta esta madera es despreciable, 0,01%.

Cuadro 6. Valores estadísticos de las propiedades mecánicas de la madera de Brosimum costarricense Liebm.

ENSAYO	CONDICION VERDE			CONDICION SECA AL AIRE*			Coeficiente de variación para 50 especies (122)
	Promedio	Ambito	Coeficiente de variación	Promedio	Ambito	Coeficiente de variación	
Flexión estática							
Esfuerzo al límite proporcional, (Kg/cm <sup>2</sup> )	409	254 - 616	31	668	614 - 669	4	22
Módulo de ruptura, (Kg/cm <sup>2</sup> )	752	610 - 945	15	1120	1030 - 1194	6	16
Módulo de elasticidad, (Kg/cm <sup>2</sup> × 10 <sup>3</sup> )	119	103 - 146	13	144	132 - 161	7	22
Trabajo al límite proporcional, (Kg/cm <sup>2</sup> )	0,6	0,3 - 1,4	50	1,7	1,5 - 2,0	11	38
Trabajo a carga máxima, (Kg/cm <sup>2</sup> )	4,4	3,6 - 5,3	13	8,0	5,3 - 12,7	33	34
Compresión paralela							
Esfuerzo al límite proporcional, (Kg/cm <sup>2</sup> )	177	125 - 206	15	253	209 - 390	28	24
Resistencia max. a la compresión, (Kg/cm <sup>2</sup> )	343	293 - 417	12	521	387 - 631	16	13
Módulo de elasticidad, (Kg/cm <sup>2</sup> )	51,7	37,1 - 53,0	23	107	90 - 156	27	29
Compresión perpendicular							
Esfuerzo al límite proporcional, (Kg/cm <sup>2</sup> )	54,5	- -	13	79,3	- -	16	23
Cizallamiento paralelo al grano							
Esfuerzo máximo, (Kg/cm <sup>2</sup> )	108	91,4 - 142	30	142	134 - 153	7	14
Dureza							
Lateral, (Kg)	548	532 - 581	4	667	618 - 782	10	20
Axial, (Kg)	521	474 - 587	8	810	703 - 871	7	17

\* Al 12 % de contenido de humedad.

#### 4.1.2.10 Extracción de clavos

Los resultados obtenidos en la determinación de la resistencia que opone la madera a la extracción de clavos, en base a la relación carga máxima/profundidad de penetración del clavo, fue en promedio de 60,7 Kg y 59,6 Kg para la cara radial y tangencial respectivamente, por cm de penetración del clavo. Utilizando la fórmula propuesta por DE ZEEUW (36) la resistencia obtenida es de 57,0 Kg promedio por cm de penetración.

#### 4.1.2.11 Características de preservación

La madera de *B. costarricense* presentó una absorción total promedio de 219 lts/m<sup>3</sup>, con una penetración parcial irregular y vascular. La penetración transversal fue de 3 - 5 mm por las caras tangenciales y de 1 - 3 mm para las caras radiales. Esta madera se clasifica como moderadamente fácil de impregnar.

#### 4.1.2.12 Usos

La madera de *B. costarricense* puede usarse en carpintería y construcción interior, formaletas, muebles y gabinetes, pisos, postes para cerca, traviesas para línea férrea, postes para línea aérea, puntales para mina, madera estructural para puentes y construcción pesada, pilotaje y construcción marina, chapa y madera contrachapada, artículos deportivos, mangos para herramientas, tornería, ebanistería y carretería.

#### 4.1.3 Ceiba pentandra (L.) Gaertn

Familia: Eombacaceae

Nombre común: Ceiba

##### 4.1.3.1 Origen de la muestra

Costa Rica, Vertiente del Atlántico, entre los ríos Chirripó atlántico y Pacuare, finca Milena; situada según el mapa ecológico elaborado por Tossi (117) en la zona de vida bosque muy húmedo tropical, transición a premontano, donde se presenta esta especie con una frecuencia de 0,5 árboles por hectárea.

##### 4.1.3.2 Distribución y hábitaculo\*

Por los registros que se tiene de esta especie se puede inferir que presenta una distribución en toda la zona tropical del mundo. Su mayor ocurrencia se presenta en el bosque húmedo y muy húmedo.

##### 4.1.3.3 Descripción del árbol\*

Arboles de gran altura (40 - 50 m), con fuste recto, cilíndrico y desprovisto de ramas; diámetro a la altura del pecho de 0,80 - 2,00 m. Frecuentemente con gambas.

##### 4.1.3.4 Descripción de las trozas muestra

Las seis trozas elegidas de una población de 200 trozas con un volumen total de 556,6 m<sup>3</sup>, presentaron por su extremo más delgado un diámetro máximo de 110 cm y mínimo de 71 cm, promedio 86,5 cm y una longitud de 3,20 a 3,30 m; todas estaban libres de defectos a excepción de algunas grietas en los extremos.

---

\* En el capítulo de revisión de literatura se da mayor información

#### 4.1.3.5 Descripción de la madera

Características generales: ligera diferencia de color entre albura y duramen. En condición verde la albura es de color pardo amarillento y el duramen anaranjado amarillento. La ma dera se oscurece cuando se expone a la luz y al aire.

La albura en promedio tiene un ancho de 10 cm (ámbito 9,2 - 11,0 cm) y abarca aproximadamente el 57% de la sección trans - versal.

Anillos de crecimiento: visibles, límites marcados por bandas claras. En promedio 8 anillos en 2,5 cm, ámbito de 6 - 9 . Fácilmente observables, separación más o menos simétrica.

Grano: entrecruzado en bandas regulares, en algunos sectores recto.

Textura : gruesa

Lustre : ausente

Figura : ausente

Olor y sabor: no característicos

#### Características macroscópicas

Poros: porosidad difusa, en hileras oblicuas, con una concen - tración apreciable en el límite del anillo. Fácilmente visi - bles a simple vista, de 0,2 - 0,3 mm de diámetro tangencial; de forma oval. En su mayoría solitarios (65%), el resto agru - pado en múltiples radiales de 2 - 5 poros. Hay relativamente muy pocos poros, promedio 7, ámbito 5 - 12 en 10 mm<sup>2</sup>.

Parénquima: visible a simple vista, dispuesto en bandas termi - nales conspicuas y de un color más claro que las fibras. Apo - traqueal difuso en agregados, con numerosas bandas finas de ra - dio a radio.

Radios: fácilmente visibles a simple vista, moderadamente anchos, de 0,10 - 0,20 mm; altura más de 1 mm. Hay pocos radios, en promedio 10, ámbito de 8 - 14 en 5 mm.

Características microscópicas:

Poros-Vasos: grandes, diámetro tangencial promedio  $304\mu$ , ámbito 209 -  $395\mu$ . Elementos vasculares de longitud mediana, promedio  $460\mu$ , ámbito 325 -  $550\mu$ . Platinas de perforación horizontales a ligeramente inclinadas; perforaciones simples y múltiples escaleriformes, de 4 - 5 barras. Tíldes y sustancias inorgánicas presentes. Punteado intervascular alterno, de forma poligonal, diámetro de 8 -  $12\mu$ . Aperturas inclinadas de forma lenticular, dispuestas paralelamente.

Parénquima: abundante, distribuido homogéneamente, abarca del 40% al 50% del tejido de la madera. Apotraqueal difuso en agregados, paratraqueal vasicéntrico semiseriado; estratificado y alargado verticalmente.

Radios: altura de más de 40 células, mide en promedio  $1380\mu$ , ámbito de 869 -  $2390\mu$ ; ancho de 4 - 10 células; fucionadas longitudinalmente. Heterogéneas (tipo II), uniseriados compuestos de células erectas o erectas cuadradas.

Fibras: fusiformes, esporádicamente septadas, de longitud mediana, promedio  $2020\mu$ , ámbito 3260 -  $1300\mu$ ; diámetro promedio de la pared  $9,8\mu$ .

Factor de Runkel 0,61 (Grupo III).

Inclusiones orgánicas: cristales romboédricos solitarios y múltiples en los radios. Sustancias orgánicas en los radios y en las paredes de los vasos.

#### 4.1.3.6 Propiedades físicas

Las propiedades físicas estudiadas en este trabajo para *Ceiba pentandra* y sus correspondientes valores experimentales, son:

Contenido de humedad en condición verde, (%)	143,4
Peso de la madera verde, (gr/cm <sup>3</sup> )	0,657
Peso específico básico (peso seco al horno volumen verde)	0,275
Peso específico en condición seca al horno	0,309
Contracción volumétrica, de verde a seca al horno, (%)	11,3
Contracción radial de verde a seca al aire (%)	1,3
Contracción radial de verde a seca al horno, (%)	3,2
Contracción tangencial de verde a seca al aire, (%)	3,4
Contracción tangencial de verde a seca al horno, (%)	6,3
Razón de contracciones (rad/tang) a 0% C.H.	1/1,9

En el cuadro 7. se incluyen los valores estadísticos correspondientes al promedio, ámbito y coeficiente de variación, determinados en cada tipo de ensayo para el cálculo de las propiedades físicas de esta especie.

En el cuadro 16. se incluyen los valores promedios de las propiedades físicas determinadas en el presente trabajo y los encontrados en la literatura para esta especie, y se comparan con los de otras maderas de peso específico similar.

Cuadro 7. Valores estadísticos de las propiedades físicas de la madera de Ceiba pentandra (L.) Gaertn (Ceiba)

Ensayo	Promedio	Ambito	Coefficiente de variación de variación	Coefficiente de variación para 50 especies (122)
Contenido de humedad de la madera, en condición verde (%)	143,4	96,7-184,6	20	-
Densidad (peso y volumen verde) (gr/cm <sup>3</sup> )	0,657	0,512-0,763	17	10
Peso específico				
Peso seco al aire volumen verde	0,275	0,210-0,389	24	10
Peso y volumen seco al horno	0,309	0,241-0,430	23	10
Contracciones				
Volumétrica de verde a seca al horno	11,3	9,7-12,8	11	16
Radial de verde a seca al aire (%)*	1,3	0,3- 2,8	69	15
Radial de verde a seca al horno (%)	3,2	2,1- 4,5	24	15
Tangencial de verde a seca al aire (%)*	3,4	2,3- 4	18	14
Tangencial de verde a seca al horno (%)	6,3	5,4- 6,9	8	14
Razón de contracciones				
Rad/Tang de verde a seca al horno	1/1,9	- -	-	-

#### 4.1.3.7 Propiedades mecánicas

La determinación de las propiedades mecánicas para la madera de *Ceiba pentandra* se hizo sobre madera en condición verde y sobre madera en condición seca al aire.

Los ensayos realizados y los resultados experimentales obtenidos se presentan en el cuadro 8.

Cuadro 8. Propiedades mecánicas de la madera de *Ceiba pentandra* en condición verde y condición seca al aire

Ensayo	Condición verde	Condición seca*
<b>Flexión estática</b>		
Esfuerzo al límite proporcional, (Kg/cm <sup>2</sup> )	172	333
Módulo de ruptura, (Kg/cm <sup>2</sup> )	279	484
Módulo de elasticidad, (Kg/cm <sup>2</sup> x10 <sup>3</sup> )	56,9	74,8
Trabajo al límite proporcional, (Kg/cm <sup>2</sup> )	0,3	0,8
Trabajo a carga máxima, (Kg/cm <sup>2</sup> )	1,5	3,0
<b>Compresión paralela al grano</b>		
Esfuerzo al límite proporcional, (Kg/cm <sup>2</sup> )	87,6	167
Resistencia máxima a la compresión, (Kg/cm <sup>2</sup> )	108	243
Módulo de elasticidad, (Kg/cm <sup>2</sup> )	19,9	62,6
<b>Compresión perpendicular al grano</b>		
Esfuerzo al límite proporcional, (Kg/cm <sup>2</sup> )	13,1	15,2
<b>Cizallamiento</b>		
Esfuerzo máximo, (Kg/cm <sup>2</sup> )	31,2	51,4
<b>Dureza</b>		
Lateral, (Kg)	138	154
Axial, (Kg)	136	212

\* Al 12% contenido de humedad

En el cuadro 9. se presentan los valores estadísticos correspondientes al promedio, al ámbito y al coeficiente de variación, obtenidos de cada serie de ensayos, realizados en la determinación de las propiedades mecánicas de esta especie, en condición verde y condición seca al aire respectivamente.

En los cuadros 17. y 18. se incluye el valor promedio obtenido para cada propiedad mecánica, determinada en el presente estudio, en condición verde y condición seca al aire respectivamente y los encontrados en la literatura para esta especie; y se comparan con los de otras maderas de peso específico similar.

#### 4.1.3.8 Características de secado

La madera de *C. pentandra*, secó desde 143,4% de contenido de humedad hasta un 18 - 20% de contenido de humedad en equilibrio con el ambiente, en 100 días. Esta madera presenta una velocidad de secado rápido. Los defectos que se presentaron durante el secado fueron: torceduras leves de tipo romboide, en el 40% de las piezas; colapso de tipo leve, en el 80% de las piezas.

#### 4.1.3.9 Características de carpintería y contenido de sílice

La madera de *C. pentandra* es fácil de cortar y aserrar. En condición seca ofrece mejor aptitud de labrado. Durante la labor de cepillado presenta grano muchudo y rasgado en un 20 -30% de las superficies; por lo que se califica como madera con características de cepillado pobres a medianas.

Esta madera posee un contenido de sílice despreciable, 0,01%.

Cuadro 9. Valores estadísticos de las propiedades mecánicas de la madera de Ceiba pentandra (L.) Gaertn, en condición verde y condición seca al aire.

ENSAYO	CONDICION VERDE		CONDICION SECA AL AIRE*			Coeficiente de variación para 50 especies (122)
	Promedio	Ambito	Coeficiente de variación	Promedio	Ambito	
Flexión estática						
Esfuerzo al límite proporcional, (Kg/cm <sup>2</sup> )	172	121 - 235	25	333	217 - 522	22
Módulo de ruptura, (Kg/cm <sup>2</sup> )	279	113 - 383	20	484	308 - 723	16
Módulo de elasticidad, (Kg/cm <sup>2</sup> x 10 <sup>3</sup> )	56,9	49 - 82	22	74,8	50 - 85	22
Trabajo al límite proporcional, (Kg/cm <sup>2</sup> )	0,3	1,6 - 4,3	36	0,8	0,5 - 1,5	38
Trabajo a carga máxima, (Kg/cm <sup>2</sup> )	1,5	1,0 - 1,9	22	3,0	2,1 - 3,3	34
Compresión paralela						
Esfuerzo al límite proporcional, (Kg/cm <sup>2</sup> )	87,6	57 - 120	25	167	140 - 196	24
Resistencia max. a la compresión, (Kg/cm <sup>2</sup> )	108	68 - 131	23	243	189 - 315	18
Módulo de elasticidad, (Kg/cm <sup>2</sup> )	19,9	13 - 25	22	62,6	45,2 - 83,7	29
Compresión perpendicular						
Esfuerzo al límite proporcional, (Kg/cm <sup>2</sup> )	13,1	- -	35	15,2	- -	28
Cizallamiento paralelo al grano						
Esfuerzo máximo, (Kg/cm <sup>2</sup> )	31,3	25 - 36	28	51,4	60,2 - 84,9	14
Dureza						
Lateral, (Kg)	138	94 - 212	30	154	107 - 241	20
Axial, (Kg)	136	116 - 185	19	212	151 - 303	17

\* Al 12 % de contenido de humedad.

#### 4.1.3.10 Extracción de clavos

La resistencia que opone la madera de *Ceiba* a la extracción de clavos, en base a la relación carga máxima/profundidad de penetración del clavo, es de 12,0 Kg y 11,8 Kg para las caras radial y tangencial respectivamente, por cada cm de penetración del clavo. Utilizando la fórmula propuesta por DE ZEEU<sup>3</sup> (36) se obtuvo una resistencia de 8,5 Kg, por cada cm de penetración.

#### 4.1.3.11 Características de preservación

La madera de *C. pentandra* presentó una retención total promedio de 192.2 lts/m<sup>3</sup> y una penetración total. Esta madera es fácil de impregnar.

#### 4.1.3.12 Usos

La madera de *Ceiba pentandra* puede usarse para cajas y cajones, carpintería y construcción interior liviana, material aislante (frío calor), juguetería, canoas y balsas, chapa y madera contrachapada, pulpa y papel.

## 5. DISCUSION Y CONCLUSIONES PARA CADA ESPECIE

### 5.1 Hura crepitans L. (Jabillo)

#### 5.1.1 Aspectos de la madera

El color anaranjado amarillento, la textura mediana y el lustre débil le dan a la madera una apariencia atractiva.

#### 5.1.2 Propiedades anatómicas

Con base en la clasificación del factor de Runkel, esta madera puede ser considerada como regular para la producción de pulpa y papel.

#### 5.1.3 Propiedades físicas

La madera de *H. crepitans* es moderadamente liviana, presenta un peso específico promedio de 0,407, ámbito 0,275 - 0,463. Slooten (99) encontró para esta misma especie, procedentes de Venezuela, un peso específico promedio de 0,380, ámbito 0,310-0,500. En el cuadro 10. se incluyen los valores de las propiedades físicas determinadas en este trabajo y los encontrados en la literatura para esta especie, sobre muestras procedentes de varios países, así como los de *Liriodendron tulipifera* de los Estados Unidos que presenta densidad similar. Al comparar estos valores entre sí, tenemos que la madera de jabillo motivo de este estudio y procedente de Costa Rica, presenta un peso específico superior al que ofrecen las originarias de Panamá, Venezuela, Suriman, Guayana y Colombia. La contracción volumétrica está entre las más bajas del grupo de comparación; y las contracciones radial y tangencial corresponden también a las más bajas, incluyendo a *Liriodendron tulipifera*.

Cuadro 10. Comparación de las propiedades físicas de la madera de Hura crepitans de diferentes procedencias con Liriodendron tulipifera

E S P E C I E	Contenido de humedad verde	DENSIDAD (gr/cm <sup>3</sup> )	PESO ESPECIFICO		CONTRACCIONES				RAZON DE CONTRACCIONES			
			Peso seco al horno	Peso y volumen secos al horno	Volumétrica Porc.		Radial Porc.		Tangencial Porc.		De verde a seco al aire*	De verde a seco al horno
					De verde a seco al horno	De verde a seco al horno	De verde a seco al aire*	De verde a seco al horno	De verde a seco al aire*	De verde a seco al horno		
Jabillo <u>Hura crepitans</u> Costa Rica	63,5	0,658	0,407	0,440	7,4	1,0	2,4	2,4	4,3	-	1/1,8	
Ceibo <u>Hura crepitans</u> Panamá (79)	84	-	0,34	0,38	8,1	1,5	2,6	2,6	4,5	-	1/1,7	
Jabillo <u>Hura crepitans</u> Panamá (78, 127)	65,0	-	0,36	0,42	6,4	-	2,5	2,5	4,6	-	1/1,6	
Jabillo <u>Hura crepitans</u> Venezuela (78, 127)	61,0	-	0,38	0,42	7,5	-	2,6	2,6	4,6	-	1/1,6	
Possumwood <u>Hura crepitans</u> Siriman (78, 127)	76,0	-	0,37	0,40	8,0	-	2,7	2,7	4,4	-	1/1,6	
Jabillo <u>Hura crepitans</u> Guayana (36)	340,6	-	0,212	0,237	10,8	2,4	3,5	3,5	7,5	1,8	1/2,1	
Jabillo <u>Hura crepitans</u> Venezuela (89)	67,2	-	0,380	0,410	7,3	-	2,7	2,7	4,5	-	1/1,6	

\* Al 12% contenido de humedad

Continuación Cuadro 10.

E S P E C I E	Contenido de humedad %	DENSIDAD (gr/cm <sup>3</sup> )	PESO ESPECIFICO		Volumé- trica Porc.	CONTRACCIONES				RAZON DE CONTRACCIONES			
			Peso seco al hor- no	Volumen verde		De verde a seco	al aire*	De verde a seco	al horno	De verde a seco	al aire*	De verde a seco	al horno
Assacu Hura crepitans Brasil (IPT)	-	-	0,43 0,36	-	9,5 7,7	De verde a seco	De verde a seco	-	-				
Ceiba amarilla Hura crepitans Colombia (22)	67,2	-	0,380	0,410	7,3	De verde a seco	De verde a seco	4,5	1/1,7				
Yellow poplar Miriodendron tulipif- Estados Unidos Brasil (122)	64,0	-	0,380	0,430	12,3	De verde a seco	De verde a seco	4,0	7,1				

\*\* A1 15% contenido de humedad

#### 5.1.4 Propiedades mecánicas

La madera de *H. crepitans* ofrece propiedades mecánicas moderadamente bajas. Con el secado al aire incrementa moderadamente la resistencia a los diferentes esfuerzos a que puede ser sometida, como se aprecia en el cuadro 2. Estos resultados confirman lo indicado por Loongwood (78), quien al referirse a esta especie, dice "con el secado las propiedades de *Hura crepitans* aumentan moderadamente, pero las mejoras son menores a las normales para madera de Estados Unidos"; y corroboran en parte lo indicado por Sloten (99), quien encontró para esta especie, con el secado, "un ligero incremento en la resistencia de todas las propiedades mecánicas excepto clavaje y tensión perpendicular al grano".

En los cuadros 11. y 12. se presentan los valores de las propiedades mecánicas determinados en este estudio para la madera de *Hura crepitans*, en condición verde y condición seca al aire respectivamente y los valores hallados en la literatura para esta misma especie, así como los de Yellow poplar de los Estados Unidos.

Comparando los valores de las propiedades mecánicas de jabillo de Costa Rica, determinados en este trabajo, con los obtenidos en madera de su misma especie procedente de otros países, (ver cuadro 12), tenemos que a excepción de jabillo de Suriman, ofrece los valores más altos, menos en trabajo al límite proporcional en flexión estática y módulo de elasticidad en compresión paralela. Con respecto a jabillo de Suriman sólo presenta valores superiores en cizallamiento, dureza, módulo de elasticidad y trabajo a carga máxima en flexión estática. En relación con Yellow poplar sus valores son inferiores menos en dureza y compresión perpendicular.

Cuadro 11. Comparación de las propiedades mecánicas de la madera de Hura crepitans en condición verde con otras maderas de peso específico similar.

E S P E C I E	PESO ESPECÍFICO Volumen verde Peso seco al horno	FLEXION ESTÁTICA					DUREZA		COMPRESION PARALELA AL GRANO			CIZALLAMIENTO PARALELO AL GRANO	COMPRESION PERP. AL GRANO
		Esfuerzo al límite prop. Kg/cm <sup>2</sup>	Módulo de ruptura Kg/cm <sup>2</sup>	Módulo de elasticidad Kg/cm <sup>2</sup> x 1000	Trabajo al límite prop. Kg/cm <sup>2</sup>	Trabajo a la carga máxima Kg/cm <sup>2</sup>	Extremos Kg	Lados Kg	Esfuerzo al límite prop. Kg/cm <sup>2</sup>	Resistencia max. a la compresion Kg/cm <sup>2</sup>	Módulo de elasticidad Kg/cm <sup>2</sup>		
Jabillo <u>Hura crepitans</u> Costa Rica	0,407	170	368	97,2	0,20	4,20	236	193	111	179	53,0	52,0	23,8
Jabillo <u>Hura crepitans</u> Venz.- Panamá (78)	0,380	205,0	305,1	38,0	0,630	1,97	158,9	108,9	111,3	167,7	42,3	38,8	22,5
Zopilote <u>Vochysia ferruginea</u> Nicaragua (51)	0,370	268	444	88,4	0,460	3,08	302	257	108	212	71	58	25,1
Banak <u>Virola koschnyi</u> Nicaragua (51)	0,399	446	800	149	0,509	7,48	435	302	223	429	104	88	19,1
Quaruba <u>Vochysia guianensis</u> Surinam (51)	0,36	269	426	86,6	0,47	4,00	409	368	162	204	105	54	27,4

Cuadro 12. Comparación de las propiedades mecánicas de la madera de Hura crepitans (Jabillo) en condición seca al aire, con diferente procedencia, con las de Liriodendron tulipifera

E S P E C I E	PESO ESPECIFICO Volumen verde Peso seco al horno	FLEXION ESTATICA					DUREZA		COMPRESION PARALELA AL GRANO			CIZALLAMIENTO PARALELO AL GRANO	COMPRESION PERP. AL GRANO
		Esfuerzo al límite prop. Kg/cm <sup>2</sup>	Módulo de ruptura Kg/cm <sup>2</sup>	Módulo de elasticidad Kg/cm <sup>2</sup> x1000	Trabajo al límite prop. Kg/cm <sup>2</sup>	Trabajo a la carga máxima Kg/cm <sup>2</sup>	Extremos Kg	Lados Kg	Esfuerzo al límite prop. Kg/cm <sup>2</sup>	Resistencia máx. a la compresión Kg/cm <sup>2</sup>	Módulo de elasticidad Kg/cm <sup>2</sup>		
Jabillo Hura crepitans Costa Rica	0,407	306	592	88,5	0,60	4,9	327	256	138	311	70,4	76,0	39,4
Ceibo Hura crepitans Panamá (79)	0,34	291	497	63	0,79	3,7	308	180	-	-	-	-	-
Jabillo Hura crepitans Venezuela (99)	0,38	276	444	73,0	0,63	4,2	236	200	138	176	82,0	58,0	30,0
Jabillo Hura crepitans Venezuela (127)	0,35	280	444	73,3	0,62	4,16	254	199	138	197	82,4	58,5	29,6
Jabillo Hura crepitans Surinam (78)	0,37	398	636	79,0	1,03	4,4	417	248	194	324	114	55	40,9
Yellow poplar Liriodendron tuli- pifera E.U. (122)	0,40	437	712	111	0,98	6,2	304	245	263	390	-	84,0	39,0
White oak Quercus alba E. U. (122)	0,60	578	7071	125	1,6	10,4	691	618	335	524	-	141	93
Swamp white Quercus bicolor E. U. (122)	0,64	718	1247	144	2,0	13,5	764	736	411	606	-	141	104

Ajustados al 12 % de humedad.

### 5.1.5 Características de secado

La madera de *H. crepitans* a pesar de tener un secado rápido - al aire, se debe considerar como moderadamente difícil de secar - al aire; ya que durante el proceso experimental de secado presentó numerosos defectos que alcanzaron grados severos.

Llach (79) obtuvo para esta especie (con muestras procedentes de Panamá y una humedad inicial de 85%) una humedad en equilibrio de 18% en 72 días y como defectos únicamente torceduras leves.

Sin embargo los resultados aquí obtenidos sobre muestras de - Costa Rica, son semejantes a los encontrados por Slooten (99) para jabillo de Venezuela, quien dice: "el secado rápido produjo - torceduras variables, que en algunos casos fueron severas y grietas leves. En condiciones más suaves es poco probable que se disminuyan los defectos que se presentan con el secado rápido".

### 5.1.6 Características de carpintería o trabajabilidad

La madera de *H. crepitans* es fácil de aserrar y cortar, pero - moderadamente difícil de cepillar, ofrece superficies ásperas con grano mechudo y rasgado. El terminado mejora en madera seca. Estas apreciaciones coinciden con las expuestas por Llach (79), - quien expresa: "la madera verde es difícil de aserrar a causa - del grano extremadamente veloso en las superficies de corte, pero puede trabajarse bien en condición seca; presenta grano astillado y rasgado en las zonas de grano extremadamente entrecruzado; el material de ensayo presentó grano mechudo en el 80% de las reglas cepilladas"; y con lo indicado por Slooten (99), que dice: "a pesar de que es algo difícil para aserrar cuando está verde, a causa de la extrema velloso de la superficie cortada, la madera puede trabajarse fácilmente cuando está seca. La falta de - un corte limpio y el grano quebrado y desmenuado, son defectos - que se encuentran generalmente en maderas que tienen grano entrecruzado. Se puede teñir fácilmente y encola bien".

### 5.1.7 Extracción de clavos

La madera de *H. crepitans* ofrece una resistencia relativamente baja a la extracción de clavos, por lo que es necesario emplear otro tipo de unión cuando se usa esta madera en estructuras. Esta circunstancia limita su uso a construcción liviana.

### 5.1.8 Características de preservación

La madera de *H. crepitans* es relativamente fácil de preservar a presión. Presenta buena retención y una penetración uniforme. De los registros (no publicados) que lleva el Laboratorio de Productos Forestales del CATIE, sobre muestras enterradas en el cementerio de maderas de Turrialba, Costa Rica, se deduce que se logra con la preservación un aumento considerable en su durabilidad; especímenes preservados hace 5 años se conservan sanos, mientras que los testigos (sin preservar) ya desaparecieron en un 66% y el 34% restante presenta ataques de insectos y hongos.

## 5.2 Brosimum costarricense Liebm. (Ojoche)

### 5.2.1 Aspectos de la madera

El color claro, la textura fina y homogénea y el lustre regular le dan a la madera una apariencia atractiva.

### 5.2.2 Propiedades anatómicas

En relación a la clasificación del factor de Runkel esta madera se considera como regular para la fabricación de papel.

### 5.2.3 Propiedades físicas

La madera de *B. costarricense* es muy pesada, presenta un peso específico promedio de 0,625, ámbito 0,617 - 0,636; inferior al obtenido por González (51) sobre ojoche blanco de Nicaragua, con peso específico promedio de 0,640, ámbito 0,599 - 0,676; y al determinado por Slooten (104) sobre ojoche procedente de Cariari, Costa Rica, con peso específico de 0,640.

En el cuadro 13. se presentan los valores de las propiedades físicas determinadas en este trabajo y los encontrados en la literatura para esta especie, así como los de *B. alcasarum* de Venezuela, *Quercus alba* y *Quercus bicolor* de los Estados Unidos, especies que ofrecen una densidad similar. Comparando estos valores entre sí, tenemos que la madera ojoche estudiada en este trabajo y procedente de Costa Rica, es la más liviana del grupo de comparación, excepto la de *Quercus alba*. La contracción volumétrica, radial y tangencial es la más alta entre las maderas de su mismo género, pero menor que la presentada por *Quercus alba* y *Quercus bicolor*; la relación de contracciones, de verde a seca al horno, es la menor excepto la de *B. costarricense* de Cariari, Costa Rica. Estas características son un indicativo de la buena estabilidad dimensional que ofrece esta madera y de la presencia de pocos defectos durante el secado.

Cuadro 13. Comparación de las propiedades físicas de la madera de Brosimum costarricense con otras maderas de densidad similar

E S P E C I E	Contenido de humedad Verde %	DENSIDAD (gr/cm <sup>3</sup> )	PESO ESPECIFICO		CONTRACCIONES				RAZON DE CONTRACCIONES		
			Peso seco al horno	Peso y volumen verde	Volúme- trica Porc.	Radial Porc.	Tangencial Porc.	De verde a seco al aire*	De verde a seco al horno	De verde a seco al aire*	De verde a seco al horno
Ojoche <u>Brosimum costarricense</u> Costa Rica	55,5	0,872	0,625	0,713	12,3	2,6	4,7	4,9	7,8	1/2,0	1/1,6
Ojoche blanco <u>Brosimum costarricense</u> Nicaragua (51)	49,2	0,853	0,640	0,726	11,7	2,1	4,2	3,8	7,2	1/1,8	1/1,7
Ojoche <u>Brosimum costarricense</u> Cariari C.R. (104)	53,0	0,880	0,640	-	-	-	4,1	-	6,2	-	1/1,5
Charo <u>Brosimum alicastrum</u> Guayana Venezuela (**)	83,6	-	0,654	-	-	2,0	4,6	4,0	8,5	1/2,0	1/1,8
White oak <u>Quercus alba</u> Estados Unidos (122)	68,0	-	0,600	0,680**	15,8	-	5,3	-	9,0	-	1/1,7
Swamp white oak <u>Quercus bicolor</u> Estados Unidos (122)	74,0	-	0,640	0,720**	17,7	-	5,5	-	10,6	-	1/1,9

\* Al 15% contenido de humedad

\*\* Citado por (51)

#### 5.2.4 Propiedades mecánicas

La madera de *B. costarricense* tiene propiedades mecánicas altas. Con el secado al aire presenta un incremento normal en la resistencia a los esfuerzos mecánicos, véase cuadro 5.

Los resultados obtenidos sobre madera de su misma especie procedente de otros lugares, ofrece valores relativamente similares.

En los cuadros 14. y 15. se indican los valores de las propiedades mecánicas determinados en este estudio para madera de ojo - che en condición verde y condición seca respectivamente y los valores obtenidos en la literatura para esta especie, así como los de otras especies de densidad similar.

Al comparar los resultados de las propiedades mecánicas obtenidos de los ensayos realizados sobre madera en condición seca al aire, indicados en el cuadro 15., se tiene que los valores presentados por ojoche de Nicaragua, ojoche de Cariari, charo de Guayana, sande de Panamá está dentro del ámbito presentado por los valores de ojoche estudiado en este trabajo y procedente de Costa Rica; situación similar se presenta con respecto a *Quercus alba* y *Quercus bicolor*.

#### 5.2.5 Características de secado

La madera de *B. costarricense* seca rápidamente al aire y con facilidad. Los defectos que se presentaron en el ensayo experimental fueron relativamente pocos y de tipo leve a excepción del colapso que se calificó de leve a moderado. Estos resultados son similares a los obtenidos por González (51) y Slooten (104).

Cuadro 14. Comparación de las propiedades mecánicas de la madera de Brosimum costarricense (Ojoche) en condición verde con las de otras maderas de peso específico similar.

E S P E C I E	PESO ESPECÍFICO Volumen verde Peso seco al horno	FLEXION ESTÁTICA					DUREZA		COMPRESION PARALELA AL GRANO			CIZALLAMIENTO PARALELO AL GRANO	COMPRESION PERP. AL GRANO
		Esfuerzo al límite prop. Kg/cm <sup>2</sup>	Módulo de ruptura Kg/cm <sup>2</sup>	Módulo de elasticidad Kg/cm <sup>2</sup> x 1000	Trabajo al límite prop. Kg/cm <sup>2</sup>	Trabajo a la carga máxima Kg/cm <sup>2</sup>	Extremos Kg	Lados Kg	Esfuerzo al límite prop. Kg/cm <sup>2</sup>	Resistencia máx. a la compresión Kg/cm <sup>2</sup>	Módulo de elasticidad Kg/cm <sup>2</sup>		
Ojoche <u>Brosimum costa-</u> <u>rricense</u> Costa Rica	0,625	409	752	119	0,817	4,39	521	548	177	343	51,7	108,0	54,5
Ojoche blanco <u>Brosimum costa-</u> <u>rricense</u> Nicaragua (51)	0,640	337	747	135	0,495	8,36	523	492	136	320	82,7	92,4	31,4
Remón blanco <u>Brosimum alicae-</u> <u>trum</u> Guatemala	0,72	-	1240	131	-	-	861	948	-	-	-	-	-
Guayabo negro <u>Terminalia amazo-</u> <u>nica</u> Nicaragua (51)	0,607	347	695	112	0,602	6,12	538	499	188	339	831	87,9	38,1
Swamp white oak <u>Quercus bicolor</u> Estados Unidos (122)	0,64	381	698	112	0,740	10,2	545	527	252	307	-	107	73,2

Cuadro 15. Comparación de las propiedades mecánicas de la madera de Brosimum costarricense (Ojoche) en condición seca con las de otras maderas de peso específico similar.

E S P E C I E	PESO ESPECIFICO Volumen verde Peso seco al horno	FLEXION ESTADICA					DUREZA		COMPRESION PARALELA AL GRANO			CIZALLAMIENTO PARALELO AL GRANO	COMPRESION PERP. AL GRANO
		Esfuerzo al límite prop. Kg/cm <sup>2</sup>	Módulo de elasticidad Kg/cm <sup>2</sup> x 1000	Trabajo al límite prop. Kg/cm <sup>2</sup>	Trabajo a la carga máxima Kg/cm <sup>2</sup>	Extremos Kg	Lados Kg	Esfuerzo al límite prop. Kg/cm <sup>2</sup>	Resistencia máx. a la compresión Kg/cm <sup>2</sup>	Módulo de elasticidad Kg/cm <sup>2</sup>	Esfuerzo cortante máximo Kg/cm <sup>2</sup>		
<u>Ojoche</u> <u>Brosimum costa-</u> <u>rricense</u> Costa Rica	0,625	668	1119	114	1,73	8,04	810	677	253	521	107	142	79,3
<u>Ojoche blanco</u> <u>Brosimum costa-</u> <u>rricense</u> Nicaragua (51)	0,640	548	1080	153	1,10	6,06	911	726	251	592	128	144	83
<u>Ojoche</u> <u>Brosimum costa-</u> <u>rricense</u> Cariari C.R. (104)	0,640	660	1130	130	1,95	7,7	1030	775	-	-	-	-	-
<u>Brosimum alicac-</u> <u>trum</u> Guayana (51)	0,654	-	-	-	-	-	1132	908	478	717	170	141	106
Sande <u>Brosimum sp</u> Panamá (79)	0,640	660	1130	130	1,95	7,7	1030	775	-	-	-	-	-

#### 5.2.6 Características de carpintería

La madera de *B. costarricanum* es moderadamente difícil de trabajar. La presencia de grano mechudo y rasgado dificulta la obtención de una superficie totalmente lisa. En términos generales se puede decir que ofrece buen acabado cuando se trabaja en condición seca. Estas apreciaciones coinciden en gran parte con lo expuesto por Slooten (104) y por González (51).

#### 5.2.7 Extracción de clavos

La madera de *B. costarricanum* ofrece buena resistencia a la extracción de clavos. Esta propiedad la hace apta para ser utilizada en armaduras de madera y como madera estructural y todos aquellos usos donde se requiera el empleo de clavos como elementos de unión. Sin embargo el clavado debe ser cuidadoso ya que raja fácilmente.

#### 5.2.8 Características de preservación

La madera de *B. Costarricanum* es relativamente fácil de preservar a presión; ofrece buena absorción, aunque presenta una penetración transversal irregular. Estos resultados son similares a los obtenidos por González (51) sobre muestras procedentes de Nicaragua.

### 5.3 Ceiba pentandra (L.) Gaertn (Ceiba)

#### 5.3.1 Aspectos de la madera

El grano entrecruzado, la textura gruesa, el lustre y la figura ausentes le proporcionan a la madera una apariencia poco atractiva de bajo valor decorativo. La superficie radial presenta un jaspeado característico.

#### 5.3.2 Propiedades anatómicas

Con base en la clasificación del factor de Runkel, esta madera se puede considerar como buena para ser utilizada en la producción de pulpa y papel.

#### 5.3.3 Propiedades físicas

La madera de *C. pentandra* es muy liviana, presentó un peso específico promedio de 0,283, ámbito 0,210 - 0,389; valor similar al indicado por Wangard (127) para muestras procedentes de Panamá, Perú y Venezuela, con peso específico promedio de 0,250, ámbito - 0,220 - 0,330; pero menor al hallado para ceiba de Venezuela (125) donde presentó 0,340 en promedio.

En el cuadro 16. se presentan los valores de las propiedades físicas determinadas en este trabajo y los encontrados en la literatura para esta especie, sobre muestras procedentes de varios países y determinados con base en la norma ASTM (3).

Comparando estos valores entre sí, tenemos que la madera de ceiba analizada en este trabajo y procedente de Costa Rica, (ver cuadro 16.), presenta el mayor peso específico, excepto el de ceiba yuca de Venezuela. La contracción volumétrica, radial, tangencial y la relación de contracciones también es la más alta. Sin embargo, los valores de las propiedades físicas presentados por esta especie sobre muestras de los diferentes países están -

Cuadro 16. Comparación de las propiedades físicas de la madera de Ceiba pentandra, de diferentes procedencias, con Tilia americana

E S P E C I E	Contenido de humedad % Verde	DENSIDAD (gr/cm <sup>3</sup> )	PESO ESPECIFICO		CONTRACCIONES				RAZON DE CONTRACCIONES		
			Peso seco al horno	Peso y volumen secos al horno	Volumé- trica Porc.	Radial Porc.		Tangencial Porc.		De verde a seco al aire*	De verde a seco al horno
						De verde a seco al aire*	De verde a seco al horno	De verde a seco al aire*	De verde a seco al horno		
<u>Ceiba pentandra</u> Costa Rica	143,4	0,680	0,283	0,319	11,3	2,6	4,7	4,9	7,6	1/1,9	1/1,9
<u>Ceiba yuca</u> <u>Ceiba pentandra</u> Venezuela (125)	196,0	0,970	0,340	0,380	10,2	1,5	3,8	3,6	7,0	1/2,2	1/1,8
Bonzo <u>Ceiba pentandra</u> Panamá (79)	195,0	-	0,240	0,200	9,6	1,3	2,5	2,2	3,9	-	1/1,6
Lupuma <u>Ceiba pentandra</u> Perú (6)	-	-	0,250	0,27	7,7	-	2,7	-	4,1	-	1/2,0
<u>Ceiba pentandra</u> Venezuela (6)	67,2	-	0,250	-	7,7	-	2,1	-	4,1	-	1/1,9
Basswood <u>Tilia americana</u> Estados Unidos (122)	105	-	0,320	0,370**	15,8	-	6,6	-	6,3	-	1/1,4

\* Al 12% contenido de humedad

\*\* Al 15% contenido de humedad

dentro del ámbito de los valores determinados para ceiba de Costa Rica.

Estos valores son un indicativo de la buena estabilidad dimensional que presenta la madera de *C. pentandra* y la presencia de pocos defectos durante el secado al aire.

Kukachka (75) al referirse a esta especie indica que presenta una considerable variación en el contenido de humedad y el peso específico y agrega que muestras procedentes del Ecuador presentaron en los valores de contenido de humedad un ámbito de 632% a 1040% y un peso específico promedio de 0,089 basado en volumen verde y peso seco al horno.

#### 5.3.4 Propiedades mecánicas

La resistencia que ofrece *Ceiba pentandra* a los esfuerzos mecánicos es relativamente muy baja.

Con el secado al aire, la madera de *Ceiba pentandra* presenta un notable incremento en todas sus propiedades mecánicas, como se observa en el cuadro 8.

Estos resultados corroboran lo indicado por Slooten (99) para esta especie, quien al comentar los resultados de su trabajo dice: "con el secado al aire la ceiba presentó un notable aumento en la mayoría de sus propiedades".

En los cuadros 17. y 18. se indican los valores de las propiedades mecánicas de la madera de ceiba en condición verde y condición seca al aire respectivamente, y las encontradas en la literatura para esta especie.

Al comparar los valores de las propiedades mecánicas de ceiba, obtenidos en condición seca, se tiene que los determinados en este estudio son los más altos, excepto en dureza que es mayor en la madera de ceibo yuca procedente de Venezuela. Los resultados más

Cuadro 17. Comparación de las propiedades mecánicas de la madera de Ceiba pentandra, de diferentes procedencias, en condición verde.

E S P E C I E	PESO ESPECIFICO		FLEXION ESTATICA					DUREZA		COMPRESION PARALELA AL GRANO			COMPRESION PERP. AL GRANO	CIZALLAMIENTO PARALELO AL GRANO
	Volúmen verde	Peso seco al horno	Esfuerzo al límite prop. kg/cm <sup>2</sup>	Módulo de ruptura kg/cm <sup>2</sup>	Módulo de elasticidad Kg/cm <sup>2</sup> x 1000	Trabajo al límite prop. kg/cm <sup>2</sup>	Trabajo a la carga máxima kg/cm <sup>2</sup>	Extremos Kg	Lados Kg	Esfuerzo al límite prop. kg/cm <sup>2</sup>	Resistencia máx. a la compresión kg/cm <sup>2</sup>	Módulo de elasticidad kg/cm <sup>2</sup>	Esfuerzo cortante máximo kg/cm <sup>2</sup>	Esfuerzo al límite prop. kg/cm <sup>2</sup>
<u>Ceiba pentandra</u> Costa Rica	0,275		172	279	56,9	0,296	2,47	136	138	88	108	20	31,3	13,1
<u>Ceiba yuca</u> <u>Ceiba pentandra</u> Venezuela (75)	-		-	153	28,8	-	0,84	-	99,8	-	74,6	-	-	-
<u>Ceiba yuca</u> <u>Ceiba pentandra</u> Venezuela (126)	0,250		99	153	29	0,200	0,8	113	98	55	75	32	25,0	7,0
<u>Ceiba pentandra</u> Venezuela (127)	0,25		99	153	28,8	0,197	0,84	113,5	99,9	54,9	74,5	32,3	24,7	7,0

Cuadro 18. Comparación de las propiedades mecánicas de la madera de Ceiba pentandra (Ceiba) de varias procedencias, en condición seca al aire.

E S P E C I E	PESO ESPECIFICO Volumen verde Peso seco al horno	FLEXION ESTATICA					DUREZA		COMPRESION PARALELA AL GRANO			CIZALLAMIENTO PARALELO AL GRANO	COMPRESION PERP. AL GRANO
		Esfuerzo al límite prop. kg/cm <sup>2</sup>	Módulo de ruptura kg/cm <sup>2</sup>	Módulo de elasticidad kg/cm <sup>2</sup> x 1000	Trabajo al límite prop. kg/cm <sup>2</sup>	Trabajo a la carga máxima kg/cm <sup>2</sup>	Extremos kg	Lados kg	Esfuerzo al límite prop. kg/cm <sup>2</sup>	Resistencia max. a la compresión kg/cm <sup>2</sup>	Módulo de elasticidad kg/cm <sup>2</sup>	Esfuerzo cortante máximo kg/cm <sup>2</sup>	Esfuerzo al límite prop. kg/cm <sup>2</sup>
Ceiba Ceiba pentandra Costa Rica	0,283	333	484	75	0,82	3,03	212	154	167	243	62,7	51,4	15,2
Ceiba Ceiba pentandra Venezuela (125)	0,34	176	324	41	-	-	227	141	87	162	20,0	36,0	17,0
Bongo Ceiba pentandra Panamá (79)	0,24	173	280	43	0,40	1,5	180	108	-	-	-	-	-
Ceiba Ceiba pentandra Venezuela (6)	0,25	99	153	29	0,20	0,8	113	98	55	75	32	25,0	7,0
Ceiba Ceiba pentandra Venezuela (36)	-	285	377	47	-	-	114	144	169	228	29,9	29,1	22,2
Lupuma Ceiba pentandra Surinam (99)	0,25	205	304	38	0,63	1,97	159	109	111	167	42,2	39,0	22,0
Ceiba Ceiba pentandra Venz. Surinam (126, 127)	0,24	226	320	43	0,59	1,7	171	111	140	197	36,0	43,0	32,0

Ajustados al 12 % de humedad.

bajos en todas las propiedades mecánicas los presentan maderas de ceiba procedentes de Panamá y Venezuela, estudiados por Llach (71) y Slooten (99) respectivamente.

#### 5.3.5 Características de secado

La madera de *C. pentandra* ofrece un secado rápido al aire. Es moderadamente fácil de secar al aire y los defectos que presenta son leves. Los resultados experimentales aquí obtenidos son semejantes a los expuestos por Llach (79) y discrepan muy poco con las informaciones dadas por Longwood (77).

#### 5.3.6 Características de carpintería o trabajabilidad

Esta madera en condición seca es relativamente fácil de cortar y aserrar; la presencia de grano mechudo y rasgado en la labor de cepillado dificultan un poco la obtención de una superficie totalmente lisa. Estas apreciaciones coinciden con las informaciones dadas por Llach (79) y Vangaard (127).

Longwood (77) al valorar las características de maquinado, dice que ceiba ofrece un cepillado excelente, un moldurado pobre, un torneado muy pobre, un taladrado pobre, un lijado bueno y que no raja con el atornillado.

#### 5.3.7 Extracción de clavos

La madera de *C. pentandra* no presenta ningún indicio de raja - dura por la penetración del clavo, pero la resistencia que opone a la extracción es muy baja; por lo que para algunos usos esta madera requiere un tipo diferente de unión.

### 5.3.8 Características de preservación

La madera de ceiba es muy fácil de preservar a presión. Presenta una alta retención y una penetración total. De los registros (no publicados) que lleva el Laboratorio de Productos Forestales del CATIE, se deduce que con la preservación, esta madera aumenta considerablemente su duración. Especímenes con 4,5 años de enterrados se encuentran en un 80% atacados por insectos y hongos, mientras los testigos fueron destruidos en un 100% al cabo de 9 meses.

## RESUMEN

Motiva el presente trabajo el actual desconocimiento de las propiedades físicas, mecánicas, de secado y preservación que existe sobre las maderas del bosque tropical. En este estudio se describe la labor realizada para obtener experimentalmente, los valores de esas propiedades, a un nivel preliminar para las especies *Hura crepitans*, *Brosimum costarricense* y *Ceiba pentandra*. La muestra provenía del bosque muy húmedo tropical, transición a premontano y el muestreo se realizó al azar en aserradero.

El trabajo incluye para cada especie: descripción anatómica, propiedades físicas, propiedades mecánicas, características de secado al aire, trabajabilidad y preservación.

Todas las pruebas se realizaron de acuerdo a normas ASTM. El material de ensayo se obtuvo de cinco árboles por especie y los ensayos para las propiedades mecánicas se realizaron en condición verde y en condición seca.

En general, las tres especies se recomiendan para variados nuevos usos además de los tradicionales. Son fáciles de secar, preservar y trabajar. Por su peso específico *Ceiba pentandra* es muy liviana, *Hura crepitans* es moderadamente liviana y *Brosimum costarricense* es muy pesada.

Las propiedades mecánicas de las tres especies están de acuerdo al peso específico de cada una, siendo estas propiedades respectivamente, muy bajas, moderadamente bajas y altas.

### SUMMARY

This work is motivated by the lack of information concerning physical, mechanical, drying and preservation properties about the wood from tropical forest. This study describes the work done on experimental basis to acquire the values for such properties for the species *Hura crepitans*, *Brosimum costarricense* and *Ceiba pentandra*. The wood samples came from the tropical moist forest, premontane belt transition.

For each species this work includes: anatomical description, physical and mechanical properties and drying, workability and preservation characteristics. All tests were conducted according to ASTM standards. The test material was cut from five trees per species and tests were conducted in green and dry conditions.

In general, the three species are recommended for various new applications besides the traditional. They are easy to dry, work and preserve. By their specific gravity, *Ceiba pentandra* is very light, *Hura crepitans* is moderately light and *Brosimum costarricense* is very heavy. The mechanical properties of all three species range according to their specific gravity, being these properties, very low, moderately low and high, respectively.

LITERATURA CITADA

1. ACOSTA C., I. Características anatómicas y propiedades físicas y mecánicas de la madera del "Urapán", Fraxinus chinensis var acuminata Lingelsh. Tesis Ing. For. Bogotá, Universidad Distrital "Francisco José de Caldas", Facultad de Ingeniería Forestal, 1965. 144 p.
2. \_\_\_\_\_. Descripción anatómica, propiedades físicas y algunos usos de 25 maderas de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1967. 192 p.
3. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard methods of testing small clear specimens of timber. ASTM D 143-52. 1973. 978 p.
4. AMERICAN WOOD PRESERVERS' ASSOCIATION. Manual de estándares. Washington, D.C., 1972. p. irr.
5. AMOS, G.L. and DADSWELL. Siliceous inclusions in wood in relation to marine borer resistance. Journal of the Council for Scientific and Industrial Research (Australia) 21:190-196. 1948.
6. AROSTEGUI V, A. Estructura anatómica y propiedades físico-mecánicas de dos maderas del Perú: Guarea trichilioides L. y Ceiba pentandra L. Tesis Mag. Agr. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1961. 111 p.
7. ASSOCIATION TECHNIQUE INTERNATIONALE. Des bois tropicaux. Nomenclature Generale des bois Tropicaux. Paris, 1965. 283 p.
8. AUNG., M. Density variation outwards from the pith in some species of Shorea and its anatomical basis. Empire Forestry Review 41(1):48-56. 1962.
9. BAMBER, R.K. and LANYON, J.W. Silice deposition in several woods of new South Wales. Tropical Woods Nº113: 48-54. 1960.
10. BARGHOORN, E.S. The ontogenetic development and phylogenetic specialization of rays in the xylem of dicotyledons. II. Modification of the multiseriate and uniseriate rays. American Journal of Botany 28:273-281. 1940.

11. BASCOPE, F. Clave de identificación macroscópica de algunas maderas dicotiledóneas de Latinoamérica. Instituto Latinoamericano de Investigación y Capacitación. Boletín N°9. 1962. 107 p.
12. BEEKMAN, W.B. Wood dictionary. Amsterdam, Elsevier, 1964. 479 p.
13. BESLEY, L. Importance variation and measurement of wood density and moisture; pulp and paper research. Institute of Canada. Technical Report N°489, 1966. 30 p.
14. BETHEL, J.S. and HARRAR, E.S. A method of determining the specific gravity of small wood samples. Tropical Woods N°93: 53-36. 1948.
15. BRAZIER, J.D. y FRANKLIN, G.L. Identification of hardwoods, a microscopic key. Great Britain, Department of Scientific and Industrial Research. Bulletin N°46. 1961. 96 p.
16. BROWN, H.P., PANSHIN, A.J. y FORSAITH, C.C. Textbook of wood technology. New York, McGraw Hill, 1949. v. 1., 952 p.
17. \_\_\_\_\_. Textbook of wood technology. New York, McGraw Hill, 1952. v. 2., 783 p.
18. BURTT, D.J. Identification of some timber trees of the Gold Coast. Tropical Woods N°20:17-19. 1929.
19. CALIX, R. Identificación dendrológica y anatómica de 37 especies arbóreas de Honduras. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1970. 181 p.
20. CAMARGO, R.A. Tratamientos preservadores guías para once maderas de Costa Rica. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1968. 87 p.
21. CARLQUIST, S. Wood Anatomy of asterede (Compositae). Tropical Woods N°113:54-85. 1960.
22. COLOMBIA, FONDO DE PROMOCION DE EXPORTACIONES. Maderas de Colombia. Bogotá. sf. 117 p.
23. \_\_\_\_\_. INSTITUTO DE DESARROLLO DE LOS RECURSOS NATURALES RENOVABLES. Seminario sobre el VII Congreso Forestal Mundial. Bogotá, 1972. p. irr.
24. COROTHIE, H. Maderas de Venezuela. Caracas, Ministerio de Agricultura y Cría, 1948. 320 p.

25. \_\_\_\_\_. Estructura anatómica de 30 maderas de la Guayana venezolana y clave para su identificación. Mérida, Universidad de los Andes, 1966. 9 p.
26. CUMBIE, G.B. Anatomical studies in the Leguminosae. Tropical Woods N°113:1-48. 1960.
27. CHACON, J.F. Las características de algunas especies forestales con miras a su utilización en la industria fosforera. Tesis Mag. Agr. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1962. 145 p.
28. CHALK, L. The distribution of the lengths of fibres and vessel members and the definition of terms of size. Tropical Woods N°48:49-51. 1936.
29. CHATTAWAY, M. Proposed standards for numerical values used in describing woods. Tropical Woods N°29:20-28. 1932.
30. \_\_\_\_\_. Crystals in woody tissues. II. Tropical Woods N°102:55-74. 1955.
31. \_\_\_\_\_. Crystals in woody tissues. II. Tropical Woods N°104:100-124. 1956.
32. CHAVARRIA, R.A. Algunas especies maderables de Costa Rica. Revista de Agricultura (Costa Rica) 32(7/8): 214-219. 1960.
33. DAVIS, E.M. Exploratory tests on machining and related properties of fifteen tropical american hardwoods. U.S. Forest Products Laboratory. Rpt. R 1744. 1949. 5 p.
34. DE ROSAYRO, R.A. Field characters in the identification of forest trees. Empire Forestry Review 32(2):124-141. 1953.
35. DESCH, H.E. Timber: its structure and properties. 3rd ed. London, MacMillan, 1956. 350 p.
36. DE ZEEUW, C. Maderas de la Guayana Venezolana. Mérida, Venezuela, Laboratorio de Productos Forestales, 1968. 181 p.
37. DICKINSON, F.E., HESS, R.H. y WANGAARD, F. Properties and uses of tropical woods. I. Tropical Woods N°95:71-145. 1949.
38. ECHENIQUE-MANRIQUE, R. Descripción, características y usos de 25 maderas tropicales mexicanas. México, D.F., Cámara Nacional de la Industria de la Construcción, 1970. 237 p. (Serie maderas de México).

39. ESAU, K. Plant anatomy. New York, Wiley, 1953. 125 p.
40. FERNANDEZ, J. Estudio de las propiedades físico-mecánicas del Ciprés (Cupressus lusitanica Mill) en el Valle Central de Costa Rica. Tesis Mag. Sc., Turrialba, Costa Rica, IICA, 1971. 82 p.
41. FIELDING, J.M. The influence of silviculture, practices on wood properties. In International Review of Forestry Research. 1967. 316 p.
42. FINDLAY, W.P.K. The preservation of timber, London, Adam, 1962. 162 p.
43. FLORES, L.J. Anatomía de la madera de tres especies tropicales mexicanas. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. Boletín Técnico N°8. 1963. 14 p.
44. FREDERICK, R. et al. Properties and uses of tropical woods. IV. Tropical woods N°99:1-187. 1954.
45. \_\_\_\_\_. Properties and uses of tropical woods V. Tropical woods N°103:1-60. 1955.
46. FREIRE, L. Descripción microscópica de 15 maderas del Ecuador y clave de identificación con tarjetas perforadas. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1973.
47. GARRATT, G.A. Systematic anatomy of the woods of the Mominiaceae. Tropical Woods N°39:18-44. 1934.
48. GHOSH, S.A., ROA, K.R. y PURKAYASTA, S.K. Variation structure and quality of some indian timbers in relation to growth. Indian Forester 84(6):341-344. 1958.
49. GIECK, H. Manual de fórmulas técnicas. 11 ed. Trad: por Arnulf. Riedl S. México, D.F., Servicios de Ingeniería, 1969. p. irr.
50. GONZALEZ T, G. Análisis experimentales de algunas teorías supuestas aplicadas al secado de chapas de madera. Tesis Ing. Químico. San José, Universidad de Costa Rica, 1970. 60 p.
51. \_\_\_\_\_ et al. Propiedades y usos de quince especies maderables del nordeste de Nicaragua. San José, Costa Rica, Laboratorio de Productos Forestales IICA-CATIE, 1973. 202 p. (FO:SF/Nic 9. Informe técnico 8).

52. GONZALEZ T., M.E., SLOOTEN, H.J. VAN DER y RICHTER, H.G. Maderas Latinoamericanas. VII. Calophyllum brasiliense, Couratari panamensis, Dendropanax arboreum y Bombacopsis sessilis. Turrialba (Costa Rica) 21(4):466-477. 1971.
53. GONZALEZ T., M. E. Propiedades físicas, mecánicas, usos y otras características de algunas maderas comercialmente importantes de Costa Rica. San José, IICA, Laboratorio de Productos Forestales, 1973. 51 p.
54. GREAT BRITAIN. DEPARTMENT OF SCIENTIFIC AND INDUSTRIAL RESEARCH. Identification of hardwoods; a lens key. 2ed. London, 1960. 126 p. (Forest Products Research Bulletin, N°25).
55. \_\_\_\_\_. An atlas of endgrain photomicrographs for the identification of hardwoods. London, 1961. 88 p. (Forest Products Research. Bulletin N°26).
56. HALL, N. y JOHNSTON, R. D. Field identification of dicotyledons: ii a punched card system for the identification of families. Australian Journal of Botany 3(1):82-88. 1955.
57. HARRAR, E. S. Some physical properties of modern cabinet woods. I. Hardeness. Tropical Woods N°68:1-11. 1941
58. HARRAR, E. S. y REID, D. G. Retention of creosote oil in the wood of Pinos occidentalis Swarty. Tropical Woods N°71:33-36. 1942.
59. \_\_\_\_\_. Some physical properties of modern cabinet wood. II. Screw-Holding Power. Tropical Woods N°70:1-15. 1942.
60. HESS., R. W., WANGAARD, F. F. y DICKINSON. Properties and uses of tropical woods, II. Tropical Woods N°97:1-132. 1950.
61. HOHEISEL, H. Estipulaciones para los ensayos de propiedades físicas y mecánicas de la madera. Mérida, Venezuela, Instituto Forestal Latinoamericano de Investigación y Capacitación, 1968. 56 p.
62. HOLDRIDGE, L. R. Inventariación y demostraciones forestales: Panamá; manual dendrológico para 1000 especies arbóreas en la República de Panamá. FAO, Inf. Tec. N°1, 1970. 325 p.
63. \_\_\_\_\_, et al. Forest environments in tropical life zones. New York, Pergamon Press. 1971. 741 p.

64. HOWARD, A. L. A manual of the timbers of the world; their characteristics and uses. 3 ed. London, McMillan, 1951. 751 p.
65. HUERTA, C. J. Anatomía de la madera de 12 especies de coníferas mexicanas. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. Boletín Técnico N°8. 1963. 51 p.
66. HUNT, G. M. y GARRAT, G. A. Preservación de la madera. Trad. de Abelardo Sachis Batalla. Barcelona, Esp., Salvat, 1962. 496 p.
67. JANE, F. W. The structure of wood. 2 ed. London, Black, 1970. 478 p.
68. JAPING, G. y JAPIN, H. Houthandboek; surinaanse houtsoorten. Paramaibo, Vitgare, Dien's Lands Bostheer, Suriname, 1960. 240 p.
69. KATHERINE, E. Anatomía vegetal. Traducción del Inglés por José Pons R. Barcelona, Esp., Omega, 1959. 729 p.
70. KERR, T. Action of hydrofluoric acid in softening wood. Tropical Woods N°40:37-42. 1934.
71. KRIBS, D. A. Comparative anatomy of the woods of the yuglandaceae. Tropical Woods N°12:30-32. 1927.
72. KOLLMANN, F. Tecnología de la madera y sus aplicaciones. Trad. de 2 ed. alemana por el Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias y el Servicio de la Madera. Madrid, Ministerio de Agricultura, 1959. v. 1., 675 p.
73. KRIBS, D. A. Commercial foreign woods on the american market; a manual to their structure, identification, uses and distribution. Pennsylvania, Pennsylvania State College, 1950. 157 p.
74. KOEHLER, A. Guidebook for the identification of woods used for ties and timbers. U.S. Department of Agriculture. Misc. RL-1. 1971. 79 p.
75. KUKACHKA, B. F. Properties of imported tropical woods. Madison, Wis, U.S. Forest Service, 1970. 67 p. (FPL 125).
76. LITTLE JUNIOR, E. L. Clave con fichas perforadas de las familias de los árboles mexicanos. Turrialba (Costa Rica) 18(1):45-59. 1968.
77. LONGWOOD, F. R. Puerto Rican Woods. U. S. Forest Service. Handbook N°205. 1961. 98 p.

78. \_\_\_\_\_. Present and potential comercial timbers of the carib -  
bean. U.S. Forest Service. Handbook 207. 1962. 167 p.
79. LLACH C, L. Propiedades físicas y mecánicas de ciento trece espe-  
cies. Panamá, FAO, 1971. v. 3, pp 454-752. (FAO: SF/PAN 6.  
informe técnico 3).
80. MARKWARDT, L. J. y WILSON. Stength and related properties of  
woods grown in teh United Stetes. U.S. Department of Agri -  
culture. Bulletin Nº479. 1953. 99 p.
81. METCALFE, C. R. y CHALK, L. Anatomy of the dicotyledons. Oxford,  
Great Britain, 1950. 2 Vol.
82. NORMAND, D. Atlas des bois de la cote d'Ivoire. Centre Technique  
Forestier Tropical, Norgent-Sur-Marne, Publicación Nº1. 1950.  
146 p.
83. ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALI-  
MENTACION. La madera: tendencias y perspectivas mundiales.  
FAO, Roma, 1967. 134 p.
84. \_\_\_\_\_. Informe del segundo período de sesiones del Comité de  
la FAO de Desarrollo Forestal en los Trópicos. FAO, Roma,  
1970. 149 p.
85. PANSHIN, A. J., DE ZEEUW, C. y BROWN, H. P. Textbook of wood  
technology; structure, identification, uses and properties  
of the commercial woods of the United States. 2 ed. New  
York, McGraw Hill, 1964. v. 1, 643 p.
86. PARKER, M. H. Diseño simplificado de estructuras de madera. Mé-  
xico, D. F., Limusa, 1972. 294 p.
87. PERAZA, O. C. Estudio de las maderas de coníferas españolas y de  
la zona norte de Marruecos. Instituto Forestal de Investiga-  
ciones y Experiencias. Boletín Nº83. 1964. 112 p.
88. PITTIER, H. Ensayo sobre plantas usuales de Costa Rica. San Jo-  
sé, Universitaria, 1957. 264 p.
89. POPOV, E. P. Mechanics of materials. New Yersey, Prentice Hall,  
1952. 441 p.
90. RASMUSSEN, E. F. Dry Kiln-Operator's Manual. U. S. Department of  
Agriculture. Agriculture Handbook Nº188. 1961. 197 p.

91. RECORD, S. J. The American Woods of the family Euphorbiaceae. Tropical Woods N°54:7-40. 1938.
92. \_\_\_\_\_. American woods of the family Flacourtiaceae. Tropical wood N°68:10-57. 1941.
93. \_\_\_\_\_ y HESS, W. R. Timbers of the new world. New Haven, Yale University Press, 1949. 640 p.
94. RENDLE, B. J. y CLARKE, S. H. The problem of variation in the structure of wood. Tropical woods N°38:1-8. 1934.
95. RICHTER, H. G. Características generales macroscópicas y microscópicas de 113 especies panameñas. Panamá, FAO, 1971. v. 2, pp. 104-453. (FO: SF/PAN 6. informe técnico 3).
96. ROBYNS, A. Index to the contributions toward a flora of Panama and the flora of Panama through march 1965. Anales of the Missouri Botanical Garden 52:234-247. 1965.
97. ROSERO, P. Primera reunión técnica de programación sobre desarrollo forestal del trópico húmedo latinoamericano. IICA-Trópicos - INDERENA, Medellín, Col, 1973. p. ir.
98. RUNKEL, R. O. H. Pulp from tropical woods. Tappi 35(4):174-178. 1952.
99. SLOOTEN, H. J. VAN DER y MARTINEZ, P. E. Descripción y propiedades de algunas maderas venezolanas. Boletín informativo y divulgativo Instituto Forestal Latinoamericano N°10, 1959. p. irr.
100. \_\_\_\_\_ y VAN DER. Maderas latinoamericanas. I. Objetivos y especificaciones generales de los estudios. Turrialba, (Costa Rica) 19(3):409-411. 1969.
101. \_\_\_\_\_, ACOSTA C, I, y AAB, P. S. Maderas latinoamericanas. II. Quercus aaata, Q. costarricensis y Q. eugeniaefolia. Turrialba (Costa Rica) 19(3):412-418. 1969.
102. \_\_\_\_\_. Maderas latinoamericanas. III. Podocarpus standleyi, Podocarpus oleifolius, Drimys granadensis, Magnolia poasana y Didymopanax pittieri, Turrialba (Costa Rica) 20(1):105-1115. 1970.
103. \_\_\_\_\_. Maderas latinoamericanas. IV. Nectandra sp., Ocotea austinii, Persea sp. aff. vesticula, Persea schiedeana. Turrialba (Costa Rica) 20(2):223-232. 1970.

104. \_\_\_\_\_ y GONZALEZ, M. E. Maderas latinoamericanas. V. Carapa sp., Virola Koschnyi, Terminalia lucida, y Brosimum costarricense. Turrialba (Costa Rica) 20:(4):503-510. 1970.
105. \_\_\_\_\_. Maderas latinoamericanas. VI. Bursera simaruba, Poulsenia armata, Pterocarpus officinalis y Ficus werckleana. Turrialba (Costa Rica) 21(1):69-76. 1971.
106. \_\_\_\_\_ et al. Propiedades y usos de ciento trece especies maderables de Panamá. Panamá, FAO, 1971. (FO:SF/PAN 6. informe técnico 3).
107. STANDARD SOIL COLOR CHART. Explanation on its usage. Tokyo, Fujihira Industry, 1965. 16, 14 p.
108. STANDLEY, P. C. The mexican and Central American species of pterocarpus. Tropical Woods N°20:10-14. 1931.
109. \_\_\_\_\_. Flora de Costa Rica, Chicago Field Museum of Natural History, 1937. (Botanical Series, V. 18).
110. \_\_\_\_\_ y STEYERMARK, J. A. Flora of Guatemala. Chicago, Natural History Museum. Fieldiana: Botany, vol. 24, part 6. 1949. 440 p.
111. STARK, E. W. Wood anatomy of the magnoliaceae indigenous to the United States. Purdu University Agriculture Experimental Station. Station Bulletin N°607. 1954. 20 p.
112. TIEMANN, H. D. Effect of moisture upon the strength and stiffness of wood. Washington, U. S. Forest Service. Bulletin N°70. 1936. 144 p.
113. \_\_\_\_\_. Wood technology; constitution properties, and uses. 3rd. ed. London, Pitman, 1951. 396 p.
114. TITMUS, A. H. y MULLER, C. H. Anatomical and toxonomic approaches to subgeneric segregation in American Quercus. American Journal of Botany 29:523-529. 1942.
115. TORRES, J. J. Conservación de la madera en su aspecto práctico. Madrid, Instituto Forestal de Investigación y Experiencias, 1966. 101 p.
116. TORTORELLI, L. A. Maderas y bosques argentinos. Buenos Aires, Acme. 1956. 910 p.
117. TOSSI, J. A. Jr. Mapa ecológico de Costa Rica, 1:750.000, según la clasificación de zonas de vida del mundo de L. R. Holdridge, Centro Científico Tropical, San José, Costa Rica. 1969 1 hoja

118. U. S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Methods of applying wood preservatives. Madison, Wis., U. S. Forest Products Laboratory. Report N°D 154. 1953. 27 p.
119. \_\_\_\_\_. Wood preservation. Madison, Wis., U. S. Forest Products Laboratory. Report N°R 1903-18. 1953. 29 p.
120. \_\_\_\_\_. Wood Handbook USDA. Agriculture Handbook 72. 1955. 528 p.
121. U. S. FOREST PRODUCTS LABORATORY. Wood Handbook. U. S. Department of Agriculture. Agriculture Handbook N°227. 1955. 167 p.
122. \_\_\_\_\_. Wood Handbook. U. S. Department of Agriculture. Agriculture Handbook N°72. 1955. 528 p.
123. \_\_\_\_\_. Identification of oak woods. U. S. Forest Service Research. Note. FPL-039. 1964. 2 p.
124. VERRAL, A. F. Preserving wood by brush, dip, and short soak method. U. S. Department of Agriculture. Technical Bulletin N°1334. 1965. 50 p.
125. VENEZUELA. LABORATORIO NACIONAL DE PRODUCTOS FORESTALES. Estudio tecnológico de 104 maderas de los altos llanos occidentales. Mérida, Ven. 1972. 175 p.
126. VIELA, J. E. Propiedades físico-mecánicas de 137 maderas de la Guayana Venezolana. Mérida, Ven. Laboratorio de Productos Forestales, 1969. 87 p.
127. WANGAARD, F. F. y MUSCHLER, A. F. Properties and uses of tropical woods. III. Tropical Woods N°98:1-190. 1952.
128. WERCKLE, C. Las maderas de Costa Rica. Boletín de Fomento (Costa Rica) 1 (2):948-951. 1911.
129. WHITMORE, J. L. Density variation in the wood of Costa Rican balsa. Tesis Mag. Sc. Ann Arbor, Forest University of Michigan, 1968. 79 p.
130. \_\_\_\_\_ y HARTSHORN, G. S. Literature review of common tropical trees. Universidad de Washington. Contribution N°8. 1969. 113 p.

131. WIELAND, G. R. Wood anatomy and angiosperm origin. Tropical Woods N°39:1-11. 1934.
132. WOODSON JUNIOR, R. E. y SCHERY, R. W. Flora of Panama. IV, Fase 2. Anales of the Missouri Botanical Garden 47(4):81-203. 1960.
133. YING-PE, CH. Bark structure of North American conifers. U.S. Department of Agriculture, Techn. Bull. N°1095. 1954. 86 p.