

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades

Departamento de Ingeniería Forestal

**Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas de
la madera de cinco especies de árboles tropicales**

Lis Regina Lima Cordón

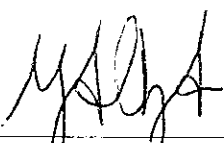
Trabajo de graduación presentado para optar al grado académico de
Licenciada en Ingeniería Forestal

Guatemala
2004

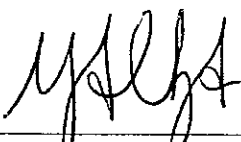
BIBLIOTECA
DE LA
UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA


**Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas de
la madera de cinco especies de árboles tropicales**

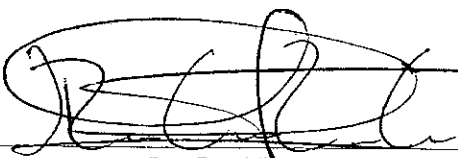
Vo.Bo.

(f) 
Ing. Marco Chávez

Tribunal:

(f) 
Ing. Marco Chávez

(f) 
Ing. César Castañeda

(f) 
Ing. René Zamora

Fecha de aprobación: Guatemala, 9 de febrero de 2004

PREFACIO

Le agradezco en primer lugar a Dios, por haberme dado la oportunidad de concluir y llegar al final de este primer camino. A todas las personas que fueron parte de este proceso: al Departamento de Ingeniería Forestal de la Universidad del Valle de Guatemala, donde se desarrolló mi formación profesional; al Proyecto de Investigación Forestal del Instituto Nacional de Bosques (INAB), por haber impulsado la realización de esta investigación.

Así mismo, al Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad del Valle de Guatemala, por su apoyo en el Laboratorio de Resistencia de Materiales del mismo departamento. A la Escuela de Agricultura de Nororiente (EANOR), por su colaboración en la recolección y transporte de la madera.

Finalmente, quiero hacer un reconocimiento muy especial a mi madre, como una fuente de inspiración; a mi padre, abuelita, hermanos y a mi nana, Francisca, quienes con su amor y comprensión me acompañan en todo momento; a mis tíos y demás familia por sus consejos tan acertados en mi formación y a la familia Tevalán por brindarme su incondicional apoyo y cariño. A todos, **MUCHAS GRACIAS.**

CONTENIDO

	Pág.
PREFACIO	ii
LISTA DE CUADROS	vii
LISTA DE ILUSTRACIONES	ix
RESUMEN	xi
Capítulos	
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	2
III. MARCO TEÓRICO	3
A. Propiedades físicas de la madera	3
1. Características organolépticas	3
a. Olor	3
b. Sabor	3
c. Color	3
d. Grano	4
e. Textura	5
2. Contenido de humedad	5
3. Peso específico o densidad	6
4. Contracciones	8
5. Relación contracción tangencial y radial (CT / CR)	9
6. Posibles usos de la madera según propiedades físicas	9
B. Propiedades mecánicas de la madera	11
1. Conceptos básicos	13
a. Condiciones de ensayo	13
b. Esfuerzo y deformación	13
c. Relaciones existentes entre esfuerzo y deformación	14
d. Elasticidad	14
e. Medidas de resistencia elástica	14
f. Medidas de resistencia última	15

g. Rigidez	15
h. Falla	15
2. Flexión estática	15
a. Módulo de elasticidad	16
b. Módulo de ruptura	18
3. Compresión	18
a. Compresión paralela a la fibra	18
b. Compresión perpendicular a la fibra	19
4. Prueba de corte	19
5. Prueba de dureza	20
C. Análisis estadístico	21
D. Determinación de esfuerzos básicos	22
1. Factor de corrección por variabilidad	23
2. Corrección de esfuerzo por disminución de la resistencia de la madera sujeta cargas estáticas por largo tiempo	23
3. Factor de corrección por grado de razonamiento	23
4. Factor de seguridad	23
5. Resumen de corrección para obtener esfuerzos básicos	24
IV. METODOLOGÍA	25
A. Lugar de recolección	25
B. Elección de especies a estudiar	25
C. Recolección de muestras	25
1. Trámites legales	25
2. Selección de los árboles	26
3. Corte y marcado de los árboles	26
4. Aserrado y transporte del material	27
D. Determinación de propiedades físicas	28
1. Características organolépticas	28
2. Peso específico	28
3. Contenido de humedad	30
4. Contracciones	30
E. Determinación de propiedades mecánicas	31

1. Compresión paralela a la fibra	31
2. Compresión perpendicular a la fibra	32
3. Flexión estática	32
4. Prueba de corte	33
5. Prueba de dureza	34
6. Esfuerzos básicos	34
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
A. Jaboncillo (<i>Sapindus saponaria</i>)	36
1. Descripción botánica del jaboncillo	36
2. Propiedades físicas de la madera del jaboncillo	36
3. Propiedades mecánicas de la madera del jaboncillo	38
B. Malpaiz (<i>Lonchocarpus guatemalensis</i>)	39
1. Descripción botánica del malpaiz	39
2. Propiedades físicas de la madera del malpaiz	39
3. Propiedades mecánicas de la madera del malpaiz	42
C. Pescadillo (<i>Thouinidium decandrum</i>)	43
1. Descripción botánica del pescadillo	43
2. Propiedades físicas de la madera del pescadillo	43
3. Propiedades mecánicas de la madera del pescadillo	46
D. Uruguay (<i>Talisia olivaeformis</i>)	46
1. Descripción botánica del uruguay	46
2. Propiedades físicas de la madera del uruguay	46
3. Propiedades mecánicas de la madera del uruguay	49
E. Cortez (<i>Tabebuia chrysanta</i>)	50
1. Descripción botánica del cortez	50
2. Propiedades físicas de la madera del cortez	50
3. Propiedades mecánicas de la madera del cortez	54
F. Resumen de resultados	54
1. Propiedades físicas	54
2. Propiedades mecánicas	55
VI. CONCLUSIONES	56

VII. RECOMENDACIONES DE USO	59
VIII. BIBLIOGRAFÍA	60
IX. APÉNDICES	62
A. Datos de peso y volumen a diferentes contenidos de humedad	63
B. Modelos de regresión de peso y volumen de cada especie	64
C. Calibración de la compresora manual	67
D. Credencial de consumo familiar para extracción de las maderas	68

LISTA DE CUADROS

Cuadro	Página
3.1 Clasificación de la madera según peso específico presentada por Benítez y Montesinos (1988)	8
3.2 Clasificación de la madera según el tipo de contracción presentada Benítez y Montesinos (1988)	9
3.3 Clasificación de la madera según la relación CT / CR utilizada por Arostegui et al. y citada por Casasola (1988)	9
4.1 Medidas de las piezas a utilizar en las diferentes pruebas	27
4.2 Datos necesarios de obtener para cada especie según Gurfinkel (1981)	28
5.1 Características organolépticas del jaboncillo	36
5.2 Contenido de humedad y pesos del jaboncillo	36
5.3 Valores de contracción del jaboncillo	37
5.4 Esfuerzos últimos y básicos del jaboncillo	38
5.5 Medidas de flexión estática en el jaboncillo	39
5.6 Características organolépticas del malpaiz	39
5.7 Contenido de humedad y pesos del malpaiz	39
5.8 Valores de contracción del malpaiz	41
5.9 Esfuerzos últimos y básicos del malpaiz	42
5.10 Medidas de flexión estática en el malpaiz	42
5.11 Características organolépticas del pescadillo	43
5.12 Contenido de humedad y pesos del pescadillo	45
5.13 Valores de contracción del pescadillo	45
5.14 Esfuerzos últimos y básicos del pescadillo	46
5.15 Medidas de flexión estática en el pescadillo	46
5.16 Características organolépticas del uruguay	46

5.17	Contenido de humedad y pesos del uruguay	47
5.18	Valores de contracción del uruguay	48
5.19	Esfuerzos últimos y básicos del uruguay	49
5.20	Medidas de flexión estática en el uruguay	49
5.21	Características organolépticas del cortez	50
5.22	Contenido de humedad y pesos del cortez	50
5.23	Valores de contracción del cortez	53
5.24	Esfuerzos últimos y básicos del cortez	54
5.25	Medidas de flexión estática en el cortez	54
5.26	Propiedades físicas de las cinco especies en estudio	54
5.27	Características organolépticas de las cinco especies en estudio	55
5.28	Propiedades mecánicas de las cinco especies en estudio (esfuerzos últimos)	55
5.29	Propiedades mecánicas de las cinco especies en estudio (esfuerzos básicos)	55

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración	Página
3.1 Escala Munsell	4
3.2 Diagrama de tres fases de la madera	5
3.3 Diagrama de la relación entre deformación y esfuerzo para materiales dúctiles	16
3.4 Diagrama de la relación entre deformación y esfuerzo para la madera	16
3.5 Diagrama del ensayo de flexión	17
3.6 Tipos de falla en la madera bajo compresión paralela a la fibra (ASTM D143)	19
3.7 Probeta y herramienta para el ensayo de corte desarrollada por el Forest Products Laboratory	20
4.1 Representación esquemática del ensayo de compresión paralela a la fibra	31
4.2 Representación esquemática del ensayo de compresión perpendicular a la fibra ...	32
4.3 Probeta utilizada para la prueba de corte	34
5.1 Corte longitudinal del jaboncillo	37
5.2 Corte transversal del jaboncillo	37
5.3 Diagrama de la relación entre contracción y humedad del jaboncillo	38
5.4 Corte longitudinal del malpaiz	40
5.5 Corte transversal del malpaiz	40
5.6 Corte tangencial del malpaiz	41
5.7 Diagrama de la relación entre contracción y humedad del malpaiz	42
5.8 Corte longitudinal del pescadillo	43
5.9 Corte transversal del pescadillo	44
5.10 Corte tangencial del pescadillo	44
5.11 Diagrama de la relación entre contracción y humedad del pescadillo	45
5.12 Corte longitudinal del uruguay	47

5.13	Corte transversal del uruguay	47
5.14	Corte tangencial del uruguay	48
5.15	Diagrama de la relación entre contracción y humedad del uruguay	49
5.16	Corte longitudinal del cortex	51
5.17	Corte tangencial del cortex	51
5.18	Corte transversal del cortex	52
5.19	Diagrama de la relación entre contracción y humedad del cortex	53

RESUMEN

En la actualidad, existen algunos estudios sobre las propiedades tecnológicas de diferentes maderas. Sin embargo, aún hacen falta muchas especies por estudiar, tomando en cuenta que Guatemala es un país con mucha diversidad forestal. Por esta razón, este estudio se realizó con el fin de determinar las propiedades físicas (contenido de humedad, peso específico y contracciones), así como las propiedades mecánicas (flexión estática, compresión, corte y dureza) de la madera de las siguientes especies de árboles tropicales: *Lonchocarpus guatemalensis* (malpaiz), *Sapindus saponaria* L. (jaboncillo), *Thouinidium decandrum* (zorrillo o pescadillo), *Talisia olivaeformis* (jurgay o uruguay) y *Tabebuia chrysantha* (cortez).

Para la realización de las pruebas, se llevaron a cabo procesos definidos por la American Society for testing and materials (ASTM, Sociedad Americana para Estandarización de Pruebas en Materiales), reconocidos internacionalmente para este tipo de estudios; desde la obtención de la madera adecuada, hasta su aserrado y propiamente cada una de las pruebas. Con la descripción de las características tecnológicas de cada madera, se pudo establecer que las especies con mayor potencial de uso son el malpaiz y el cortez, por su alto peso específico, su alta resistencia y el color de sus tejidos, pudiéndose sugerir un uso para postes, pilotes, durmientes, pisos y construcción en general.

El pescadillo y jaboncillo, son los menos resistentes, y sus maderas, las más livianas, presentando buen comportamiento al trabajo en máquinas de carpintería, aunque debe tenerse cuidado si se usan para la fabricación de muebles, ya que tienen de baja a moderada estabilidad. El uruguay puede utilizarse para la construcción en general, y por su susceptibilidad a la formación de grietas, no se recomienda para trabajos de carpintería.

I. INTRODUCCIÓN

En Guatemala, se han realizado algunos estudios sobre las propiedades físicas y mecánicas de coníferas, especialmente de *Pinus*. Así también, hay estudios de algunas latifoliadas de la región norte del país, especies que ahora se están comercializando muy bien.

Según Valdes (1988), los estudios sobre las características tecnológicas de la madera, encaminados a la determinación de usos probables para la industria, se iniciaron a principios de siglo en las regiones nórdicas, los cuales se han extendido a las regiones tropicales y subtropicales, al nacer la necesidad de un uso íntegro de la madera. Actualmente, hay una continua búsqueda de especies con diferentes características tecnológicas, con el objeto de mejorar el aprovechamiento de los recursos de producción.

Siendo Guatemala un país que cuenta con mucha diversidad forestal, es importante conocer las propiedades físicas y mecánicas de especies con usos potenciales aún no definidos, que contribuyan al establecimiento de bases técnicas que aporten alternativas de uso para su producción, manejo e industrialización.

Ninguna de las especies presentes en este documento ha sido estudiada con profundidad en estos aspectos, sin embargo, se tienen indicios de que pueden servir para algún uso más productivo, y con la determinación de estas propiedades tecnológicas, se pueden proporcionar opciones para un aprovechamiento integral de su madera, sugiriendo diferentes usos, ya sea maderable, artesanal o de otro tipo.

El cortez, el malpaiz, el uruguay, el pescadillo y el jaboncillo, son especies que se encuentran distribuidas en los departamentos de Alta Verapaz, Chiquimula, El Progreso, Jutiapa, Jalapa, Zacapa, Petén e Izabal. Esta distribución puede contribuir a que estas especies tengan algún uso específico de producción, industrial, artesanal, de carpintería, entre otros. En algunos lugares ya se tiene el conocimiento de algunas de estas propiedades en dichas especies, y con las características presentadas en este estudio puede confirmarse su calidad.

II. OBJETIVOS

A. OBJETIVO GENERAL

Estudiar algunas propiedades físicas y mecánicas de la madera de las siguientes especies de árboles tropicales: *Lonchocarpus guatemalensis* (malpaiz), *Sapindus saponaria* L. (jaboncillo), *Thouinidium decandrum* (zorrillo o pescadito), *Talisia olivaeformis* (jurgay o uruguay) y *Tabebuia chrysanta* (cortez).

B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Describir cada tipo de madera según su color, grano, sabor y olor.
2. Determinar las siguientes propiedades físicas de las especies en estudio: peso específico (densidad), contracciones longitudinal, radial, tangencial y volumétrica y contenido de humedad.
3. Determinar las siguientes propiedades mecánicas de las especies en estudio: flexión estática, compresión paralela a la fibra, compresión perpendicular a la fibra, corte y dureza.
4. Establecer usos de las cinco especies en estudio, de acuerdo a sus características físicas y mecánicas.

III. MARCO TEÓRICO

A. Propiedades físicas de la madera

Las propiedades físicas abarcan todas aquellas características inherentes a la constitución misma del material aludido que, por un lado, lo delimitan claramente y, por otro, lo pueden hacer variar de condición por efecto de cambios en las condiciones ambientales a las que se encuentre sometido. Estas propiedades adquieren importancia en el estudio de la madera como material de construcción, ya que es un material vivo conformado por numerosos elementos de complicada estructura (Bisso, 1982).

Las diferentes propiedades físicas que posee la madera le confieren características decorativas (color, veteado, lustre), características identificadoras (olor, gusto, peso); o diversos grados de durabilidad natural. Pero las propiedades que más incidencia tienen en la utilización de la madera como material de construcción y que dan distintos grados de resistencia, son el contenido de humedad, la densidad y las contracciones (Bisso, 1982).

1. **Características organolépticas.** Son aquellas que se determinan a través de la observación, la degustación y el olfato, con finalidad de identificación y reconocimiento, tanto en el campo como a la hora del aserrado y secado. A la madera se le puede determinar su olor, sabor, color, textura y grano.

a. **Olor.** Durante el corte de los árboles, su manejo y su aserrado, es posible detectar el olor que la madera pueda desprender. Este olor es producido por diferentes sustancias volátiles contenidas en las maderas. Para fines prácticos, el olor de la madera puede ser ausente o no distintivo, aromático o desagradable (Benítez y Montesinos, 1988).

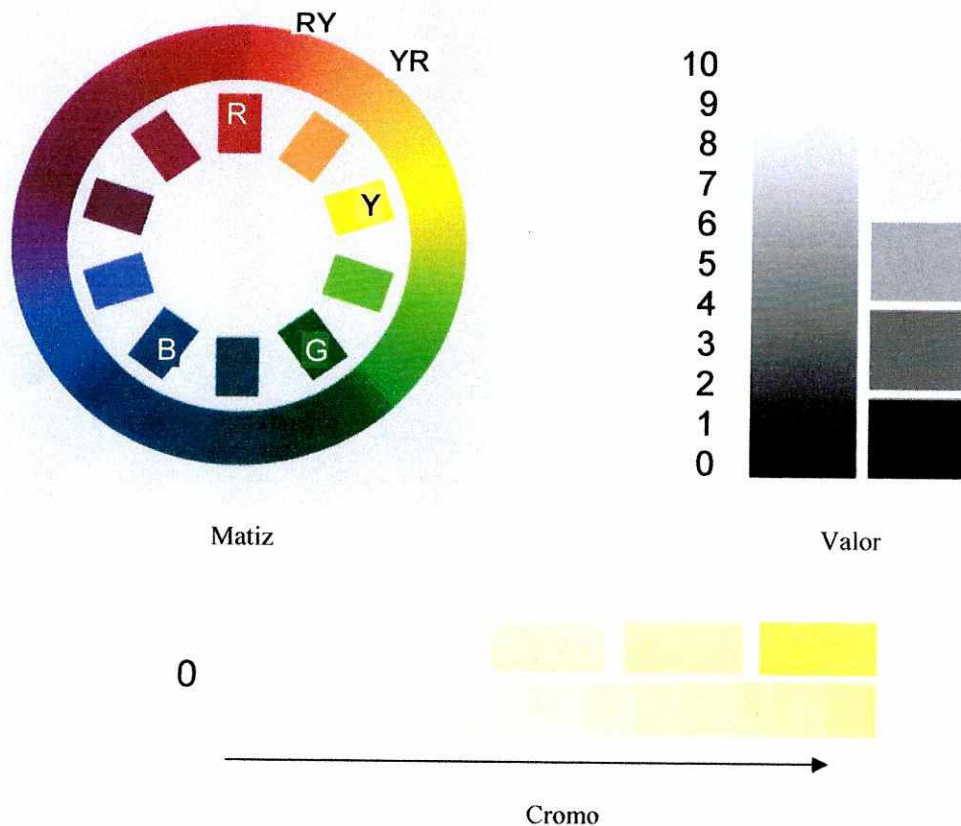
b. **Sabor.** Efecto que en el sentido del gusto, producen algunas sustancias contenidas en las células de la madera. De la misma manera que el olor, el sabor de la madera puede apreciarse si se degusta el aserrín de la misma. Debe tenerse mucho cuidado con aquellas que presenten olor desagradable, ya que puede contener elementos tóxicos. El sabor puede definirse como ausente o no distintivo, amargo, dulce, salado o picante, aunque depende mucho del criterio del observador (Benítez y Montesinos, 1988).

c. **Color.** Para la determinación del color, es necesario referirse a una escala específica, de tal forma que se eviten confusiones. El código Munsell bajo cada color en la tabla de colores, es una notación universal que describe el color. El primer conjunto de números y letras representa el matiz, que es la posición del color en la rueda de colores (Y = amarillo, R = rojo, G = verde, B = azul, YR =

amarillo-rojo, RY = rojo-amarillo) (Globe, 2003). El número que sigue es el valor, que indica la claridad del color. El rango de valores va desde cero para negro puro hasta diez para blanco (Globe, 2003). El último número se conoce como el cromo que describe la intensidad del color.

Colores de valores pequeños de cromo se les dice colores débiles, mientras que a los de valores altos se les dice colores altamente saturados o fuertes. La escala comienza en cero para los colores neutrales pero no hay un final arbitrario para la escala (Vid figura 3.1) (Globe, 2003).

Figura 3.1. Escala Munsell presentada por Globe (2003).



d. Grano. Es la dirección o alineamiento que tienen en un plano longitudinal leñoso sus elementos constitutivos, en especial los alargados verticalmente; como son las fibras y los vasos en las latifoliadas y las traqueidas en las coníferas. Este puede ser principalmente:

- Recto (derecho): cuando la dirección de los elementos es sensiblemente paralelo al eje del árbol.
- Oblicuo: cuando la dirección de los elementos se desvía de la dirección del eje del árbol, formando con él, ángulos agudos.
- Espiralado: cuando el hilo forma una espiral a través del eje.

e. **Textura.** Se refiere al tamaño de los elementos constitutivos del leño, especialmente los parenquimáticos, vasculares y fibrosos. Según Benítez y Montesinos (1988), la textura puede ser:

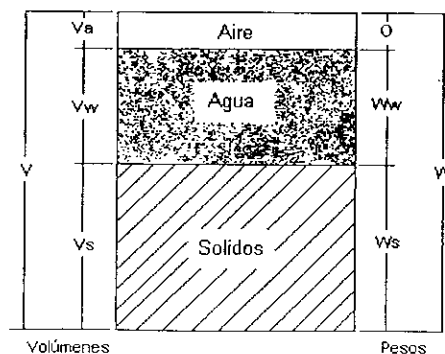
- Gruesa: elementos constitutivos amplios. Fibras con diámetro tangencial grande de más de 250 micras, radios leñosos grandes y parénquima grande.
- Fina: elementos constitutivos pequeños. Fibras menores de 150 micras de diámetro tangencial, parénquima escaso y abundante tejido fibroso.
- Mediana: término medio entre las dos anteriores.
- Homogénea uniforme: cuando los elementos constitutivos del leño sean grandes o pequeños, no presentan grandes variedades en todas las superficies longitudinales del leño.
- Heterogénea: cuando las variaciones entre los elementos constitutivos del leño son grandes (madera tardía y temprana diferenciada)

2. Contenido de humedad. Este parámetro tiene importancia en la utilización de la madera, ya que influye en el peso, resistencia de índole mecánica, contracción y expansión, conductibilidad térmica, durabilidad, inflamabilidad y permeabilidad (Casasola, 1988).

La madera es una sustancia higroscópica, con gran afinidad por el agua y otros líquidos polares; contiene un porcentaje de aire y agua bajo tres formas:

- Agua libre, llenando los espacios celulares,
- Agua higroscópica que se localiza infiltrada en las paredes celulares, y
- Agua de constitución, que forma parte de la estructura molecular (Casasola, 1988).

Figura 3.2. Diagrama de tres fases de la madera.



Peso específico

$$G = Ws / \gamma_w V$$

Peso específico de los sólidos de la madera

$$G_s = Ws / \gamma_w Vs = 1.53$$

Peso unitario

$$w = W / V$$

$$\gamma_w = Ww / Vw = 1 \text{ gr./cm}^3$$

(Gurfinkel, 1981)

El contenido de humedad (CH) se define como la cantidad de agua que contiene un trozo de madera, expresada como porcentaje de la masa de la pieza de madera en estado seco. Este concepto puede expresarse mediante la siguiente fórmula:

$$CH = \frac{\text{Peso húmedo} - \text{Peso seco}}{\text{Peso seco}} \times 100\%$$

Cuando toda el agua libre se ha evaporado y comienza a perderse el agua higroscópica, se conoce como punto de saturación de la fibra, el cual influye en forma significativa en las propiedades físicas y mecánicas, ya que a menor contenido de humedad es mayor la resistencia mecánica de la madera (Casasola, 1988). Según Herrera (1991), este punto se da cuando la madera se encuentra en un porcentaje de humedad que oscila entre 25% y 30%.

La humedad se puede clasificar en diferentes grados:

- a. **Madera verde:** cuando contiene mayor del 30% de humedad
- b. **Madera semiseca:** cuando contiene de 23% a 30% de humedad. En este intervalo, se puede decir que se encuentra el punto de saturación de la fibra, conocido también como estado de humedad crítico.
- c. **Madera comercialmente seca:** cuando su humedad está dentro de un rango de 22% y 18%.
- d. **Madera seca al aire:** cuando su humedad está entre el 17% y 13%.
- e. **Humedad normal:** se le llama así a la humedad media cuyo porcentaje es de un 15% (Herrera, 1991).

Todas las propiedades tecnológicas de la madera, características de elaboración, ataque de hongos, son afectadas por los contenidos de humedad y por esta razón, los valores obtenidos en los ensayos deben ir acompañados de los respectivos valores de humedad.

3. **Peso específico o densidad.** La densidad se define en términos generales como la razón que existe entre la masa de un cuerpo y su volumen (Bisso, 1982). La densidad básicamente dependerá del tamaño de las células, el espesor de sus paredes y la interrelación entre el número de las diferentes clases de células que constituyen el leño (Casasola, 1988).

Esta propiedad referida a la madera, presenta aspectos de relativa complejidad, debido a que el carácter higroscópico de este material (gana y pierde humedad con facilidad), hace que éste sufra variaciones tanto en su masa como en su volumen, al estar afecto a cambios en su contenido de humedad, razón por la cual es necesario especificar las condiciones de la madera al momento de efectuar la medición densidad (Bisso, 1982).

Este parámetro puede ayudar en la selección y clasificación de la madera para determinado uso industrial, a la vez permite conocer su resistencia mecánica, habilidad para sostener clavos, rendimientos de pulpa y facilidad de trabajo en las máquinas (Casasola, 1988).

Una característica sobresaliente de la madera es su baja densidad, comparada con su gran resistencia mecánica; por lo cual es un elemento importante en las construcciones. Gurfinkel (1981) determina la densidad de la sustancia madera con un valor de aproximadamente 1.53gr/cm^3 , esto significa que todas las maderas tienen una misma densidad en cuanto a su constitución de fibras cementadas por lignina, sin embargo, la densidad o peso específico de cada madera varía de acuerdo al tamaño y arreglo de las cavidades celulares de cada una de ellas, así como de su contenido de humedad y de aire.

Según Gurfinkel (1981), el peso específico de la madera está dado por el peso de los sólidos de la madera seca W_s , dividido por el volumen a cierto porcentaje de humedad. El peso específico se determina frecuentemente para, madera verde, G_g ; madera seca al aire (12% de humedad), G_a ; y madera seca al horno (0% de humedad), G_o . Debido a que el volumen de las piezas de madera va disminuyendo con la pérdida de agua, es notorio que el volumen verde es mayor que el volumen al 12%, que, a su vez, es mayor al volumen al 0%. Por lo tanto, el peso específico en verde es menor que el peso al 12%, que, a su vez, es menor que el peso en su estado original.

$$V_g > V_a > V_o \qquad G_g < G_a < G_o$$

(Gurfinkel, 1981)

De acuerdo a lo anterior, pueden determinarse los siguientes tres tipos de peso:

- **Peso aparente:** relaciona la masa y el volumen de madera determinados para un mismo contenido de humedad y que se mide en probetas al estado original.
- **Peso específico:** relaciona la masa anhidra de la madera y su volumen a un contenido de humedad específico, ya sea para madera verde (G_g) o para madera seca al aire (G_a). Este último valor se usa para comparaciones en el mundo.
- **Peso anhidro (G_o):** relaciona la masa y el volumen de la madera en su estado anhidro.

Utilizando el peso específico, las maderas pueden clasificarse de acuerdo al siguiente cuadro:

Cuadro 3.1. Clasificación de la madera según su peso específico presentada por Benítez y Montesinos (1988).

Peso específico	Clasificación
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
Mayor de 0.86	Extremadamente pesada

El peso unitario de la madera, w , a cierto contenido de humedad, se define como la razón entre el peso W y el volumen total V . Como el volumen varía de acuerdo a la cantidad de agua que contenga la madera, es obvio que el peso dependerá del contenido de humedad. El máximo valor de w , se obtiene en el punto de saturación de la fibra, donde el peso y el volumen llegan a sus valores más altos.

4. Contracciones. Contracción puede definirse como la reducción dimensional que presenta una pieza de madera, causada por la disminución del contenido de humedad a partir del punto de saturación de las fibras (Bisso, 1982). Puede tomarse como un índice de estabilidad dimensional que puede tener la madera al ser sometida a condiciones variables de humedad (Casasola, 1988).

Consiste en que la madera absorba o pierda agua, excepto en el punto de saturación de la fibra, ya que acá no sufre contracciones y arriba de éste la humedad no tiene efecto aparente sobre la resistencia (Herrera, 1991). Según Casasola (1988), la causa de los cambios dimensionales se debe en gran parte a la pérdida o entrada del agua higroscópica entre la estructura celulósica de la pared celular. El agua libre no tiene influencia en estos cambios.

La madera posee, como característica resaltante para el estudio del fenómeno de contracción, el hecho de ser un material anisotrópico, es decir, que presenta reducciones dimensionales en las tres direcciones de los ejes de coordenadas, los cuales definen a su vez, los sentidos o cortes de la madera (tangencial, radial y longitudinal), al disminuir su contenido de humedad bajo el punto de saturación de las fibras (Bisso, 1982). Por esta razón, se debe efectuar un análisis del comportamiento de la contracción en las tres direcciones señaladas, lo cual da origen a los conceptos de contracción tangencial, radial y longitudinal.

Según Herrera (1991), se conocen dos tipos de contracciones:

- Retracción: es la falta de equilibrio entre la humedad de la madera y la del ambiente de manera que dicha retracción cesa cuando existe un equilibrio entre ambas.
- Dilatación: consiste en el aumento de volumen con el grado de humedad hasta el punto de saturación de la fibra, de aquí en adelante el volumen no cambia.

Al hacer referencia a contracciones, se ha tenido en cuenta la siguiente clasificación:

Cuadro 3.2. Clasificación de la madera según el tipo de contracción presentada por Benitez y Montesinos (1988).

Clasificación	Radial	Tangencial	Volumétrica
Muy baja	0 – 2.0	0 – 3.5	0 – 5.5
Baja	2.1 – 3.0	3.6 – 5.0	5.6 – 8.0
Mediana	3.1 – 4.0	5.1 – 6.5	8.1 – 10.5
Alta	4.1 – 5.0	6.5 – 8.0	10.6 -13.0
Muy alta	> 5.1	> 8.1	> 13.1

5. Relación contracción tangencial y radial (CT/CR). Es un índice de la estabilidad dimensional de la madera; al acercarse a uno, la madera es más estable y tiene buen comportamiento durante el secado. Tomando como base esta relación, las maderas pueden clasificarse de acuerdo a la siguiente tabla:

Cuadro 3.3. Clasificación de la madera según relación CT / CR utilizada por Arostegui et al. y citada por Casasola (1988).

Clasificación	Relación (CT/CR)
Maderas estables no se agrietan ni deforman.	De 1 a 1.5
Estables, muy pocas grietas (muy leve atención al secado)	De 1.51 a 2
Moderadamente estables, pocas grietas y deformaciones (leve atención al secado).	De 2.1 a 2.5
Inestable, presencia de grietas (atención al secado)	De 2.51 a 3
Muy inestable, fuertes grietas y deformaciones (secado cuidadoso)	Mayor de 3

6. Posibles usos de la madera según propiedades físicas.

a. Estructuras:

Peso seco de 0.4 a 0.8 gr/cm³

Contracción volumétrica menor del 12%.

Relación CT/CR igual o menor de 2.0.

Resistente al ataque de hongos e insectos o fácil de tratar.

- b. Encofrados: moldes o revestimientos de madera en que se hace el vaciado de las piezas de cemento armado, capaz de soportar con total seguridad todas las cargas verticales y los esfuerzos horizontales.

Peso seco de 0.4 a 0.6 gr/cm³.

Contracción volumétrica igual o menor de 1.6%.

Baja absorción de humedad.

Adecuada resistencia mecánica.

Fácil de trabajar.

- c. Carpintería de obra:

Comportamiento bueno al trabajo con máquinas de carpintería

Estabilidad dimensional.

Contracción volumétrica igual o menor del 12%.

Relación CT/CR igual o menor de 2.0.

Apariencia buena.

Liviana a moderadamente pesada.

Textura media a fina y uniforme.

- d. Pisos:

Peso seco igual o mayor de 0.7 g./cm³.

Contracción volumétrica del 10% al 15%.

Buena apariencia.

- e. Mangos de herramientas, artículos deportivos:

Peso específico al 12% de humedad de 0.55 a 0.65 gr/cm³.

Grano recto.

Buena apariencia.

Fácil de trabajar mecánicamente.

- f. Durmientes, postes y pilotes:

Peso específico al 12% de humedad mayor de 0.6 gr/cm³.

Relación CT/CR de 1.5 a 2.5.

Poca tendencia a agrietarse durante el secado (Casasola, 1988).

B. Propiedades mecánicas de la madera

La resistencia se refiere a la capacidad de una estructura o máquina para soportar cargas sin fallar, lo cual puede ocurrir por la ruptura debida al esfuerzo excesivo o verificarse a causa de la deformación excesiva. La segunda causa de la falla, a su vez puede ser el resultado de que un esfuerzo limitativo haya sido excedido o de una rigidez inadecuada. Las propiedades de los materiales que poseen significación en relación con este problema general, son las propiedades mecánicas (Davis et. al, 1982).

Las propiedades mecánicas pueden definirse específicamente como aquellas que tienen que ver con el comportamiento (ya sea elástico o inelástico) de un material bajo fuerzas aplicadas. Las propiedades mecánicas se expresan en términos de cantidades que son funciones del esfuerzo o de la deformación o ambas simultáneamente. El ensayo mecánico se ocupa de la determinación de las medidas de las propiedades mecánicas. Las mediciones primarias involucradas son la determinación de la carga y el cambio de longitud. Estas se convierten en términos de esfuerzo y deformación por medio de la consideración de las dimensiones de la probeta (Davis et. al, 1982).

Las propiedades mecánicas fundamentales son la resistencia, la rigidez, la elasticidad, la plasticidad y la capacidad energética. La resistencia de un material se mide por el esfuerzo según el cual se desarrolla alguna condición limitativa específica. Las principales condiciones limitativas o criterios de la falla son la terminación de la acción elástica y la ruptura. La rigidez tiene que ver con la magnitud de la deformación que ocurre bajo la carga; dentro del rango del comportamiento elástico, la rigidez se mide por el módulo de elasticidad. La elasticidad (mas no el módulo de elasticidad) se refiere a la capacidad de un material, para deformarse no permanentemente al retirar el esfuerzo (Davis et. al, 1982).

No debe inferirse que, en casos particulares, todas las propiedades mecánicas se determinen. Por razones de economía, el número y la dificultad de los ensayos se reducen al mínimo. Para un problema particular, solamente unos cuantos ensayos pertinentes necesitan hacerse ordinariamente, y para la labor de control, un solo tipo de ensayo de la clase más simple elegida porque parece ser un índice significativo de la calidad requerida, frecuentemente es suficiente.

La relación entre varios procedimientos de ensayo puede evidenciarse por medio de una clasificación ordenada de las condiciones de ensayo, estos son:

- Aquellas relacionadas con la manera en que la carga es aplicada.
- Aquellas que tienen que ver con la condición del material o probeta misma en el momento del ensayo.

- Aquellas relacionadas con la condición de los alrededores (condición ambiente) durante el progreso del ensayo.

El método de aplicación de la carga es la base más común para designar o clasificar los ensayos mecánicos. Hay tres factores involucrados en la definición de la manera en que la carga es aplicada: la clase de esfuerzo inducido, la velocidad a la cual la carga se aplica y el número de veces que la carga es aplicada. En el ensayo mecánico de probetas preparadas, hay cinco tipos primarios de cargas; según lo dictado por la condición de esfuerzo a inducir: tensión, compresión, corte directo, torsión y flexión. En los ensayos de tensión y compresión, se intenta aplicar una carga axial a una probeta a modo de obtener una distribución uniforme del esfuerzo sobre la sección transversal crítica (Davis et. al, 1982).

En los ensayos de corte directo, se intenta obtener una distribución uniforme del esfuerzo, pero esta condición ideal nunca es satisfecha en la práctica debido a la manera en que los esfuerzos cortantes se desarrollan dentro del cuerpo bajo cargas de corte directo, y debido a los esfuerzos incidentales establecidos por los dispositivos de sujeción. En los ensayos de flexión, tanto la tensión como la compresión quedan involucradas (y también el corte, si se induce otra flexión que la apura), y los efectos compuestos se estudian; por ejemplo las deflexiones se miden directamente, y el módulo de ruptura se determina (Davis et. al, 1982).

Con respecto al ritmo, según el cual la carga se aplica, los ensayos pueden clasificarse en tres grupos:

- Ensayos estáticos: Si la carga es aplicada durante un período de tiempo relativamente corto, pero con lentitud suficiente para que pueda considerarse que la rapidez del ensayo tenga un efecto prácticamente despreciable sobre los resultados.
- Ensayos dinámicos: Si la carga es aplicada muy rápidamente de modo que el efecto de la inercia y el elemento tiempo quedan involucrados; en el caso especial en que la carga se aplica súbitamente como al inferir un golpe, el ensayo es llamado de impacto.
- Ensayos de larga duración: Si la carga es sostenida durante un largo período digamos meses y aún años (Davis et. al, 1982).

Con respecto al número de veces que la carga es aplicada, los ensayos pueden clasificarse en dos grupos:

- Una sola aplicación de la carga.
- La carga de ensayo se repite muchas veces, millones si es necesario.

1. Conceptos básicos

a. **Condiciones de Ensayo.** Además de las condiciones de cargas, es necesario tomar en cuenta la condición del material en el momento del ensayo y las condiciones ambientales, si ellas afectan los resultados del ensayo. Las propiedades mecánicas de algunos materiales resultan afectadas por las condiciones de humedad. Los ensayos de madera pueden hacerse en probetas en condición verde o atmosféricamente seca, pero el contenido de humedad en el momento del ensayo siempre se determina. Estas arbitrarias condiciones de humedad se requieren para un ensayo normal para que los resultados de los ensayos obtenidos por operadores diferentes sean comparables (Davis et. al, 1982).

b. **Esfuerzo y Deformación.** Según explica Davis et. al (1982), las cargas se aplican y miden por medio de máquinas de ensayo. Estas cargas usualmente se especifican en unidades de fuerza, tales como las libras, aunque en ciertos ensayos como los de torsión, la carga puede expresarse en término de momentos, por ejemplo, libras-pulgadas (lb-plg).

El esfuerzo se define como la intensidad de las fuerzas o componentes internas distribuidas que resisten un cambio en la forma de un cuerpo. El esfuerzo se mide en términos de fuerza por área unitaria. Las unidades comúnmente usadas para materiales estructurales son las libras por pulgada cuadrada (lb/plg²) (Davis et. al, 1982).

Existen tres clases básicas de esfuerzos: tensivo, compresivo y corte. Se acostumbra computar los esfuerzos sobre la base de las dimensiones del corte transversal de una pieza antes de la aplicación de la carga, usualmente llamadas dimensiones originales. En los ensayos de tensión y compresión simples, en las cuales la probeta es sometida a un esfuerzo uniformemente distribuido, el esfuerzo se computa dividiendo la carga (conocida) por la mínima área seccional original. En aquellos casos en los que la distribución no es uniforme, el esfuerzo en puntos específicos puede determinarse por métodos indirectos. En los ensayos de flexión y torsión, dentro de los límites de la acción elástica, los esfuerzos pueden computarse por medio de relaciones teóricas. Dentro del rango elástico, los esfuerzos pueden evaluarse de las deformaciones medidas, mediante el uso del módulo de elasticidad (Davis et. al, 1982).

El término deformación indica el cambio de la forma de un cuerpo; puede deberse al esfuerzo, al cambio térmico, al cambio de humedad o a otras causas. En conjunción con el esfuerzo directo, la deformación usualmente se supone como un cambio lineal y se mide en unidades de longitud. En los ensayos de flexión, la deformación puede expresarse en términos de la deflexión de algún punto especificado de una viga de su posición original (Davis et. al, 1982).

La deformación, entonces, es definida por Davis et. al (1982), como el cambio por unidad de longitud en una dimensión lineal de un cuerpo, el cual va acompañado por un cambio de esfuerzo. Es una

deformación unitaria debida al esfuerzo. Es una razón, o un número no dimensional. Bajo esfuerzo tensivo o compresivo, la deformación se mide en forma paralela a la dirección de la deformación y a la dimensión a la cual se le refiere. La deformación por corte se computa con respecto a la medición perpendicular a la dirección de la fuerza; por lo tanto, la deformación por corte es un ángulo expresado en radianes.

Deformación permanente es la deformación o deformación unitaria restante en un cuerpo previamente esforzado después del retiro de la carga. Si un cuerpo es sometido a esfuerzo tensivo o compresivo en una dirección dada, no sólo ocurre deformación en esa dirección (deformación axial) sino también deformaciones unitarias en direcciones perpendiculares a ella (deformación lateral) (Davis et. al, 1982).

Las deformaciones volumétricas se determinan ocasionalmente. En el caso de los cuerpos porosos o sumamente deformables, el cambio volumétrico en forma ocasional se determina mediante el desplazamiento de un fluido (Davis et. al, 1982).

c. **Relaciones existentes entre esfuerzo y deformación.** La relación entre el esfuerzo y la deformación comúnmente se muestra por medio de un diagrama de esfuerzo y deformación, el cual es trazado con valores de esfuerzo como ordenadas y valores de deformación como abscisas. El procedimiento usual para obtener un diagrama de esfuerzo y deformación, consiste en tomar los datos de una serie de lecturas de un deformímetro (Davis et. al, 1982).

d. **Elasticidad.** La elasticidad es aquella propiedad de un material por virtud de la cual, las deformaciones causadas por el esfuerzo desaparecen al removerse. Algunas sustancias, tales como los gases, poseen únicamente elasticidad volumétrica, pero los sólidos pueden poseer, además, elasticidad de forma. Un cuerpo perfectamente elástico se concibe como uno que recobra completamente su forma y sus dimensiones originales al retirarse el esfuerzo. Para materiales anisotrópicos como la madera, estas propiedades varían según la dirección de la carga. Un índice práctico de la elasticidad es el esfuerzo que marca el límite (efectivo) del comportamiento elástico (Davis et. al, 1982).

e. **Medidas de resistencia elástica.** En los ensayos de materiales bajo carga monoaxial, varios criterios de la resistencia o la falla elástica han sido utilizados; estos son el límite elástico, el límite proporcional y la resistencia a la cedencia. El límite elástico se define como el mayor esfuerzo que un material es capaz de desarrollar sin que ocurra la deformación permanente al retirar el esfuerzo. El límite proporcional se define como el mayor esfuerzo que un material es capaz de desarrollar sin desviarse de la proporcionalidad rectilínea entre el esfuerzo y la deformación. Se ha observado que la mayoría de los materiales exhiben esta relación lineal entre el esfuerzo y la deformación dentro del rango elástico. Las operaciones involucradas en la determinación del límite proporcional son relativamente simples; por lo tanto, es frecuentemente usado como una medida del límite elástico (Davis et. al, 1982).

f. **Medidas de resistencia última.** El término resistencia última está relacionado con el esfuerzo máximo que un material puede desarrollar. Se computan con base en la máxima carga soportada por una pieza de ensayo y las dimensiones seccionales originales. La resistencia a la compresión es el máximo esfuerzo de compresión que un material es capaz de desarrollar. Con un material quebradizo que falla en compresión por ruptura, la resistencia a la compresión posee un valor definido (Davis et. al, 1982).

g. **Rigidez.** La rigidez tiene que ver con la deformabilidad relativa de un material bajo carga. Se le mide por la velocidad del esfuerzo con respecto a la deformación. Mientras mayor sea el esfuerzo requerido para producir una deformación dada, más rígido se considera que es el material (Davis et. al, 1982).

Bajo un esfuerzo simple dentro del rango proporcional, la razón entre el esfuerzo y la deformación correspondiente es denominada módulo de elasticidad. Correspondiendo a los tres tipos fundamentales de esfuerzo, existen tres módulos de elasticidad, el módulo en tensión, compresión y cortante. Bajo corte simple, la rigidez es algunas veces llamada módulo de rigidez. En términos del diagrama de esfuerzo y deformación, el módulo de elasticidad es la pendiente del diagrama de esfuerzo y deformación en el rango de la proporcionalidad del esfuerzo y la deformación (Davis et. al, 1982).

El módulo de elasticidad de los materiales ordinariamente es determinado en forma directa por ensayos que involucran la medición del esfuerzo y de la deformación de probetas sometidas a esfuerzos simples (Davis et. al, 1982).

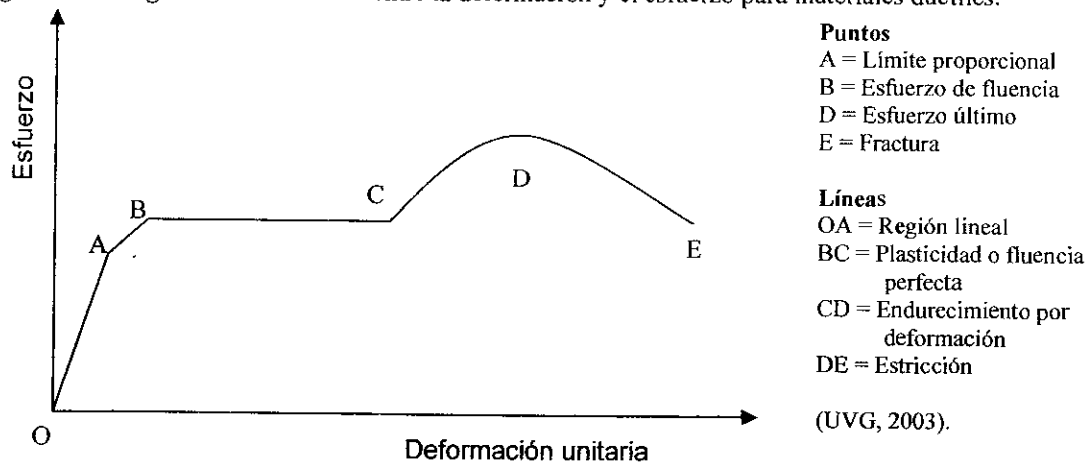
h. **Falla.** En conexión con los ensayos hasta la falla de los materiales y las partes o los miembros estructurales, es importante observar y consignar el tipo de la falla de las características de la fractura. Aunque las observaciones de la falla son necesariamente cualitativas, mucho puede aprenderse de un estudio de las fallas, y con la experiencia resulta posible reconocer por una fractura la clase de esfuerzo que causó la falla y algo acerca de la clase y condición del material (Davis et. al, 1982).

2. **Flexión estática.** Es la resistencia que opone una viga a una carga puntual aplicada en el centro de la luz o distancia entre apoyos; en la cara radial, más cerca de la médula de la probeta (Bisso, 1982). Si las fuerzas actúan sobre una pieza de material, de tal manera que tiendan a inducir esfuerzos compresivos sobre una parte de una sección transversal de la pieza y los esfuerzos tensivos sobre la parte restante, se dice que la pieza está en flexión. La ilustración común de la acción flexionante es una viga afectada por cargas transversales; la flexión puede también causarse por momentos o pares tales como, por ejemplo, los que pueden resultar de cargas excéntricas paralelas al eje longitudinal de una pieza (Bodig y Jayne, 1982).

Del ensayo, se pueden determinar los siguientes parámetros:

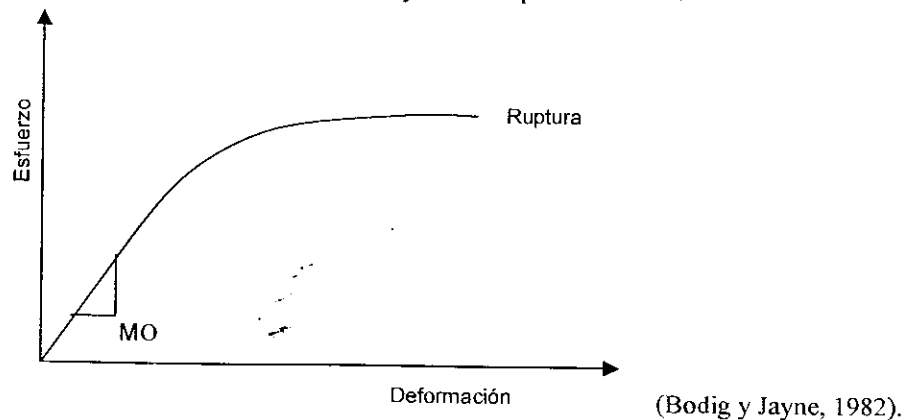
a. **Módulo de elasticidad.** El diagrama que se muestra en la figura 3.3, comienza con una línea recta que va del origen O al punto A, lo que significa que la relación entre el esfuerzo y la deformación unitaria en esta región es lineal y proporcional (su razón permanece constante). Más allá del punto A, la proporcionalidad entre el esfuerzo y la deformación ya no existe; por esto, el esfuerzo en A se llama límite proporcional. La pendiente de la línea recta OA se llama módulo de elasticidad (UVG, 2003).

Figura 3.3. Diagrama de la relación entre la deformación y el esfuerzo para materiales dúctiles.



El comportamiento de la madera, que es un material no dúctil presenta un diagrama de la relación entre el esfuerzo y la deformación, muy particular. Generalmente, llega hasta el punto B de la figura 3.3, dando lugar a una curva como se muestra en la figura 3.4, donde se observa que la parte rectilínea es corta, existiendo una curvatura rápida; esto muestra que el límite elástico es rápidamente sobrepasado entrando a la zona de deformación.

Figura 3.4. Diagrama de la relación entre deformación y esfuerzo para la madera.



Para el cálculo del módulo de elasticidad (MOE), se conocen dos formas diferentes, de tal manera que puedan compararse:

i) Fórmula de Gurfinkel:

$$MOE_{12\%} = 2.8 \cdot 10^6 (\text{peso específico}_{12\%})$$

donde el peso específico está dado en gr/cm^3 y el módulo de elasticidad en $\text{psi (lb/in}^2\text{)}$.

ii) Mecánica clásica: Se utilizan las siguientes fórmulas, que por razones prácticas solamente se explicarán los componentes de cada una de ellas y su aplicación:

$$\Delta_{\text{centro}} = \frac{Pa}{24(\text{MOE}I)} (3L^2 - 4a^2)$$

donde

Δ = deformación (in) (lectura del deformímetro)

P = carga aplicada (lb.) (lectura en la máquina universal)

a = distancia entre los apoyos, en nuestro caso sería L/3 (in)

$I = b (\text{base}) \cdot h (\text{altura})^3 / 12 = \text{constante (in}^4\text{)} = 1.33 \text{ in}^4$

L = largo total de la viga

MOE = módulo de elasticidad

Se requiere encontrar MOE, despejando se obtiene:

$$MOE = \frac{Pa}{24\Delta I} (3L^2 - 4a^2)$$

donde

$I = b (\text{base}) \cdot h (\text{altura})^3 / 12 = \text{constante (in}^4\text{)} = 1.33 \text{ in}^4$

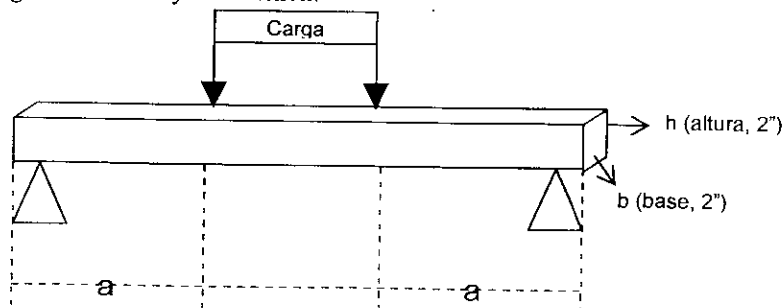
P = carga aplicada (lb.) (lectura en la máquina universal)

a = distancia entre los apoyos, en nuestro caso sería L/3 (in)

L = largo total de la viga

Δ = deformación (in) (lectura del deformímetro)

Figura 3.5. Diagrama del ensayo de flexión.



(UVG, 2003)

b. **Módulo de ruptura.** El módulo de ruptura es un equivalente al esfuerzo que hace fallar a un material. Está en función del momento, del centroide de la sección transversal y de la viga, y del momento de inercia de ésta. De igual manera que el módulo de ruptura, se conocen dos métodos para su cálculo:

i) **Fórmula de Gurfinkel:**

$$\text{MOR} = 25700 (\text{peso específico})^{1.25}$$

Donde el peso específico está dado en gr/cm^3 y el módulo de ruptura en psi.

ii) **Mecánica clásica:** por razones prácticas, solamente se explicarán los componentes de cada fórmula y su aplicación:

$$\text{MOR} = My / I$$

donde

$$I = bh^3 / 12$$

$$M = Pa$$

$$y = h / 2$$

P es la carga última, es decir, la carga cuando falla la viga, esto solamente se calcula una vez con cada muestra (UVG, 2003)

3. Compresión.

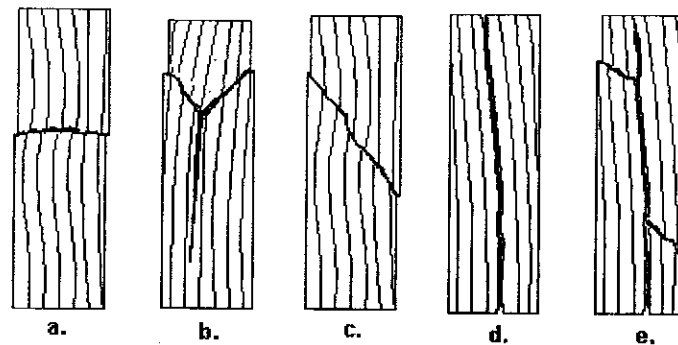
a. **Compresión paralela a la fibra.** Es la resistencia que opone una viga a una carga aplicada en el mismo sentido de la dirección de sus fibras. El método se basa en aplicar sobre una sección transversal extrema de la probeta, una carga continua de dirección paralela a las fibras de la madera, midiendo las deformaciones producidas por la aplicación de dicha carga hasta llegar al punto de falla de la probeta (Davis et. al, 1982).

Los extremos de las probetas de compresión deben ser planos para no causar concentraciones de esfuerzos y deben ser perpendiculares al eje de la pieza para no causar flexión debida a la carga excéntrica. Las piezas de ensayo de madera pueden usualmente arreglarse para satisfacer estas condiciones. Las placas sencillas de apoyo o remate deben llevar superficies maquinadas, planas y paralelas. El material de la placa de apoyo deberá ser fuerte y duro en relación con el de la probeta. Para los materiales quebradizos en los cuales ocurre una fractura, la resistencia última se determina fácil y definitivamente (Davis et. al, 1982).

La madera exhibe, bajo carga compresiva, un comportamiento peculiar propio. Es cualquier cosa, mas no un material isotrópico, y se compone de células formadas por crecimientos orgánicos que se alinean para

formar una serie de tubos o columnas en la dirección de las fibras. Como resultado de esta estructura, el límite elástico es relativamente bajo, no existe un punto de falla o cedencia definido y se verifica una deformación permanente considerable antes de la falla. Estas propiedades varían según la orientación de la carga con respecto a la dirección de las fibras. Para cargas normales al grano, la carga que causa el colapso lateral de los tubos o fibras (aplastamiento) es la carga significativa. Para cargas paralelas a las fibras, no solamente es importante la resistencia elástica, sino también la resistencia de ruptura. La ruptura frecuentemente ocurre debido al colapso de las fibras tubulares como columnas (Davis et. al, 1982).

Figura 3.6. Tipos de falla en la madera bajo compresión paralela a la fibra (ASTM D 143)



- a. Aplastamiento (plano de ruptura aproximadamente horizontal)
- b. Grieta cuneiforme (nótese la dirección de la rajadura: radial o tangencial)
- c. Corte (plano de ruptura en ángulo agudo con la horizontal)
- d. Rajadura
- e. Corte y rajadura paralelos a la fibra (usualmente ocurre en piezas de fibra transversales).

b. **Compresión perpendicular a la fibra.** Este ensayo no requiere muchas lecturas de deformaciones, pero tiene la característica de que habrá que fijarse en qué cara de la probeta se aplica la fuerza. La probeta deberá estar bien definida en cuestión de sus anillos de crecimiento, es decir, bien marcadas las dos caras. El propósito es el de establecer una carga en Kg., en la cual la probeta obtenga una deformación o deflexión (Davis et. al, 1982).

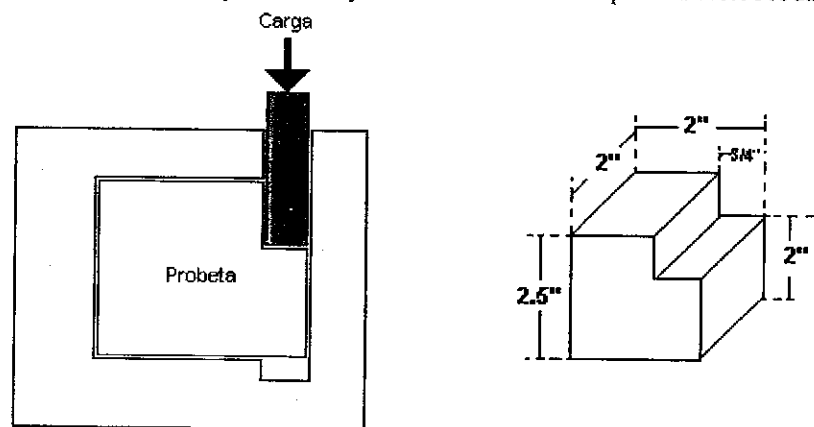
4. **Prueba de corte.** Un esfuerzo de corte es aquel que actúa paralelamente a un plano, para distinguirlo de los esfuerzos tensivos y compresivos que actúan normalmente a un plano. Las cargas que producen las condiciones de corte de interés principal en el ensayo de materiales son las siguientes:

- Las resultantes de fuerzas paralelas, pero opuestas, actúan a través de los centroides de secciones espaciadas a distancias infinitesimales entre sí. Es concebible, en tales casos, que los esfuerzos de corte sobre las secciones sean uniformes y exista un estado de corte directo puro. Es posible acercarse a esta condición, pero nunca alcanzarla prácticamente (Davis et. al, 1982).

- Las fuerzas opuestas aplicadas son paralelas, actúan normalmente a un eje longitudinal del cuerpo, pero están espaciadas a distancias finitas entre sí. Entonces, además de los esfuerzos cortantes producidos, se establecen esfuerzos flexionantes. En el caso de una viga rectangular sometida a cargas transversales, los esfuerzos cortantes sobre cualquier sección transversal varían en intensidad desde cero en las superficies superiores e inferiores de la viga hasta un máximo en el eje neutro (Davis et. al, 1982).
- Las fuerzas aplicadas son paralelas y opuestas, pero no yacen en un plano que contenga el eje longitudinal del cuerpo; aquí se establece un par que produce una torsión alrededor de un eje longitudinal (Davis et. al, 1982).

Para ensayos de esfuerzo directo de la madera, una herramienta y una probeta especiales desarrollados por el Forest Products Laboratory se usan como se muestra en la figura 3.7. La falla tiende a ocurrir a lo largo del plano de corte mostrado (Davis et. al, 1982).

Figura 3.7. Probeta y herramienta para el ensayo de corte desarrollada por el Forest Products Laboratory.



(Davis et. al, 1982)

En el ensayo de corte directo, el dispositivo de ensayo debe sujetar la probeta firmemente y conservar la buena alineación, y la carga debe aplicarse uniformemente en forma perpendicular al eje de la pieza. En esta prueba, el único valor crítico que puede observarse es la carga máxima P . Si A es el área sometida a la fuerza, entonces la resistencia promedio al corte es tomada simplemente como P / A . La forma y textura de la superficie fracturada debe ser reportada (Davis et. al, 1982).

5. Prueba de dureza. Dureza es la resistencia de la madera a la penetración. Se mide por la carga necesaria para hundir una bola de acero pulimentado, de acuerdo con las normas que se aplican para el ensayo. Según con los estándares de la ASTM D143, la dureza se mide por la carga, en libras necesarias para encajar en la madera hasta su mitad, una bola de acero de 0.444 pulg.

Es una característica que depende de la cohesión de las fibras y de su estructura. La dureza depende de la especie, de la zona del tronco, de la edad. En general suele coincidir que las más duras son las más pesadas.

Con respecto a la dureza, puede afirmarse lo siguiente:

- El duramen es más duro que la albura.
- Las maderas verdes son más blandas que las secas.
- Las maderas fibrosas son más duras.
- Las maderas más ricas en vasos son más blandas (Bisso 1988).

C. Análisis estadístico para pruebas físicas y mecánicas de la madera

Prácticamente todos los datos derivados de los ensayos son susceptibles de variar. Los resultados de un ensayo sobre una muestra simple involucran mediciones sujetas a la variación. Los resultados de un ensayo sobre una serie de muestras similares, muestran variación entre éstas (Davis et al, 1982).

Por esta razón, una vez efectuados los ensayos a que se ha hecho referencia anteriormente, se procedió a llevar a cabo la evaluación de los siguientes parámetros estadísticos para cada especie y para cada ensayo en particular:

1. Se determinó la media aritmética (\bar{x}), esto de acuerdo a los resultados obtenidos en cada una de las probetas. La media aritmética es la más extensamente usada de todos los criterios de tendencia central. Constituye el promedio del lenguaje ordinario. Es un promedio calculado y es afectado por cada valor pero muy distorsionado por los inusualmente altos valores de los extremos (Davis et al, 1982).
2. Luego se calculó la desviación estándar, S , a través de la siguiente fórmula:

$$S = \frac{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}{n(n-1)}$$

donde S = desviación estándar

n = número de repeticiones

\bar{x} = media aritmética

Esta es la medida de dispersión más usada y constituye un arreglo especial de la desviación promedio. Los estudios de estadística han demostrado que cuando el número de piezas es pequeño (menor de 25), es más cercanamente correcto dividir por el número de grados de libertad ($n - 1$), en lugar del número total de valores n (Davis et al, 1982).

3. Como las comparaciones significativas de las dispersiones no pueden hacerse utilizando mediciones absolutas, una variación expresada como una relación o porcentaje debe determinarse. Por lo común, la que más se usa es la desviación estándar con base en un porcentaje y es usualmente designado v , el coeficiente de variación (Davis et al, 1982). Finalmente, se calcula este valor, que viene dado de dividir la desviación estándar dentro del promedio aritmético, así:

$$v = \frac{S}{X}$$

donde S es la desviación estándar y X el promedio aritmético.

Debe advertirse que cuando la media aritmética es muy pequeña, o inclusive cero, como podría ser en el caso de mediciones de temperaturas, la v resultante sería muy engañosa (Davis et al, 1982).

D. Determinación de esfuerzos básicos

Los esfuerzos básicos representan la resistencia permisible de la madera en piezas libres de defectos y sanas. Se calculan multiplicando los valores de esfuerzos de resultados de ensayos por factores de corrección que toman en cuenta:

- La variabilidad de la resistencia de la madera;
- La disminución de la resistencia de la madera por efecto de carga permanente durante un período largo de tiempo;
- Grado de razonamiento de la madera analizada; y
- Factor de seguridad que toma en cuenta la posibilidad de sobrecargas accidentales y la influencia de otros factores no previstos (CTEF, 1972).

Se reconoce que algunos esfuerzos, principalmente los de compresión paralela y flexión, se incrementan al secar la madera (ensayos de piezas pequeñas), pero no es recomendable incrementar los esfuerzos básicos para madera seca (piezas mayores de 10cm de grosor) porque se considera que buena parte de la madera utilizada en construcción se coloca verde o poco sazónada y aunque se pusiera seca antes de utilizarla, la pérdida de humedad va acompañada de agrietamientos y combamiento, defectos que contrarrestan el incremento de resistencia debido al secado (CTEF, 1972).

El procedimiento para calcular los factores de corrección, utilizados para los esfuerzos básicos es:

1. Factor de corrección por variabilidad

$$V = 1 - C(v/100)$$

Donde V = factor de corrección por variabilidad de resultados.

v = coeficiente de variación en %

C = coeficiente con valor de 1.0 a 1.5 dependiendo de la dispersión de los valores observados y la forma de su distribución. En este estudio se tomó como 1 (CTEF 1972).

2. Corrección de esfuerzos por disminución de la resistencia de la madera sujeta a cargas estáticas, por largo tiempo. Observaciones realizadas en otros países, han señalado que la resistencia de la madera sujeta a cargas durante períodos largos de tiempo, sufre una disminución que llega hasta el 40% de su resistencia inicial, por lo que se ha adoptado un factor de corrección con un valor de 2/3.

$$T = 0.67$$

Donde T = factor de corrección por disminución de resistencia de la madera sujeta a cargas permanentes por largos períodos de tiempo (CTEF, 1972).

3. Factor de corrección por grado de sazónamiento de la madera. Los incrementos de resistencia son detectados al disminuir la humedad en la madera, bajo su punto de saturación de las fibras. El límite de saturación es del 30% de humedad aproximadamente. Debido a los factores de compensación que existen entre la resistencia de madera verde y resistencia de madera seca, que hacen sus resistencias bastante similares, para maderas cuyo contenido de humedad sea mayor o igual al 30%, el factor de corrección por grado de sazónamiento es igual a 1. Para cada especie debe calcularse según su contenido de humedad (CTEF, 1972).

4. Factor de seguridad. En esta forma se intenta cubrir el efecto de otros factores que afectan las propiedades mecánicas y que no pueden evaluarse; así como también el riesgo de sobre cargas accidentales no previstas. El factor de seguridad debe ser $\frac{1}{2}$ para efectos conservadores.

$$S = \frac{1}{2} = 0.5 = \text{factor de seguridad}$$

(CTEF, 1972).

5. Resumen de corrección para obtener los esfuerzos básicos.

$$\text{Esfuerzo básico} = (X)(V)(T)(S)(H)$$

$$\text{Esfuerzo básico} = (X)(V)(0.67)(0.5)(H)$$

$$\text{Esfuerzo básico} = (X)(V)(H)(0.335)$$

donde

- X = promedio aritmético de los resultados de ensayo
- V = corrección por variabilidad
- T = corrección por disminución de resistencia en madera cargada por largo tiempo = 0.67
- S = factor de seguridad = 0.5
- H = corrección para adaptar los esfuerzos básicos corregidos según el contenido de humedad

(CTEF, 1972).

IV. METODOLOGÍA.

A. Lugar de recolección

El material de estudio se colectó en la ladera de una montaña denominada El Zancudo, ubicada en el municipio de Río Hondo, departamento de Zacapa. Esta área se encuentra bajo la zona de vida bosque seco subtropical (bs - S). Dicha zona se caracteriza por tener una precipitación mínima de 500mm. y máxima de 1000mm., dando una precipitación media de 750mm. anual, con una temperatura mínima de 19°C y máxima de 24°C, y la evapotranspiración mínima de 0 y máxima de 1200. El relieve puede ser plano o ligeramente accidentado. Sus condiciones climáticas varían entre días claros y soleados durante los meses que no llueve, y parcialmente nublados en los meses de enero a abril. Generalmente, los suelos planos son de buena calidad y presentan regadíos.

B. Elección de especies a estudiar

En Guatemala, se ha identificado actualmente una alta diversidad de especies forestales, lo que ha generado una necesidad de información acerca de sus características físicas y mecánicas. Las especies a estudiar carecen de esta información básica, por lo que fueron elegidas para determinarles sus propiedades, dichas especies son: *Lonchocarpus guatemalensis* (malpaiz), *Sapindus saponaria* L. (jaboncillo), *Thouinidium decandrum* (zorrillo o pescadillo), *Talisia olivaeformis* (jurgay o uruguay) y *Tabebuia chrysantha* (cortez).

C. Recolección de muestras

Para las pruebas y ensayos de las propiedades físicas y mecánicas, se trabajó de acuerdo a especificaciones de la ASTM D 143, debido a que incluye métodos adoptados internacionalmente, principalmente por los países americanos, que genera información confiable a partir de especímenes pequeños y de relativamente fácil manejo (Herrera, 1991 y Samayoa, 1972).

1. Trámites legales. Antes de realizar el corte de los árboles, fue necesario realizar los siguientes trámites legales:

a. Se solicitó autorización a la Municipalidad de Río Hondo, Zacapa, para la extracción de las muestras a utilizar, ya que éstas se encontraban en territorio municipal. Fue necesario presentar un documento dirigido al alcalde de esta localidad extendido por la universidad, donde se explicaron las razones del estudio.

b. Al tener el permiso de la municipalidad, se procedió a pedir una licencia de aprovechamiento por investigación en la subregión III - 2 del Instituto Nacional de Bosques (INAB), ubicado en la cabecera departamental. Sin embargo, no fue necesario una licencia de este tipo, sino solamente una credencial para consumo familiar, ya que el volumen no sería tan grande (*Vid* anexo D).

c. Ahí mismo, fue necesario adquirir una nota de envío para el transporte de las trozas y de la madera aserrada.

2. Selección de los árboles. Para fines prácticos de un estudio de orientación sobre las propiedades tecnológicas, es suficiente tener un $\pm 15\%$ de precisión del valor promedio; para ello, se necesitan cinco árboles seleccionados al azar (Valdes, 1988). Por esta razón, se tomaron las muestras de la siguiente forma:

a. Se escogieron cinco árboles de cada especie al azar, separados al menos por 100m de distancia. Se presentaron ciertas dificultades a la hora de la extracción de las trozas, debido a la pendiente del lugar y a la densidad del bosque. Una excepción hubo con dos especies, *Talisia olivaeformis* (jurgay o uruguay) y *Tabebuia chrysanta* (cortez), que por la dificultad de posición en el campo y la escasez de éstos en el lugar, no fue posible extraer cinco árboles de cada uno, sino solamente tres.

b. Se evitaron ejemplares excepcionales, árboles que presentaran madera de reacción (madera en árboles inclinados), y fuste comercial con defectos aparentes (copas quebradas, ataque de hongos e insectos).

3. Corte y marcado de los árboles. Después de los trámites legales, fue necesario contratar una cuadrilla de cinco personas de la región para el corte de los árboles, un baquiáno, conocedor del lugar y de la ubicación de las especies a extraer; una persona encargada del manejo de la motosierra para el corte y derrumbe de los árboles y tres ayudantes para cargar y trasladar las trozas del lugar del corte al automóvil de carga.

Las actividades que se realizaron para el corte y transporte de las trozas fueron:

- Reconocimiento del lugar donde habitan las especies y ubicación de las mismas.

- Marcado preliminar de los árboles a extraer, colocando letra inicial de sus nombres comunes con pintura roja (M = malpaiz, U = uruguay, C = cortez, P = pescadito y J = jaboncillo).
- Medición del diámetro a la altura del pecho (DAP) y alturas de los árboles, con forcípula y pistola Haga, respectivamente.
- Tumba de los árboles.
- Troceado de los árboles: cada troza se identificó con las mismas letras utilizadas en el marcaje antes del corte acompañado de un número arábigo, dependiendo el número de troza para cada especie.
- Transporte por arrastre hacia el automóvil.
- Almacenamiento en una bacadilla temporal, mientras se terminaba el trabajo de corte.

De cada árbol, se cortaron trozas de 1.5m de largo, sin embargo el fuste comercial de estas especies no era mayor de 3m, por lo que sólo se obtuvo una troza de esta longitud.

4. Aserrado y transporte del material. Las trozas se trasladaron a un aserradero del municipio Gualán, Zacapa, para el aserrado inicial. En este se obtuvieron todas las varillas posibles con dimensión de 2 X 2", previendo posibles pérdidas o presencia de muestras defectuosas. Estas varillas fueron identificadas con su letra correspondiente dependiendo la especie.

Posteriormente, se contrató un servicio de flete para el transporte de la madera aserrada a la ciudad capital, donde las varillas fueron llevadas a una carpintería para ser cortadas debidamente y obtener las piezas específicas a utilizar en cada una de las pruebas, como se indica en el cuadro 4.1.

Cuadro 4.1. Medidas de las piezas a utilizar en las diferentes pruebas

Prueba	Medidas (pulg.)
Peso específico	2 X 2 X 2
Humedad	2 X 2 X 2
Contracción volumétrica	2 X 2 X 2
Módulo de elasticidad	2 X 2 X 30
Módulo de ruptura	2 X 2 X 30
Compresión paralela a la fibra	2 X 2 X 8
Compresión perpendicular a la fibra	2 X 2 X 6
Corte	Ver figura 3.7

Estas medidas fueron tomadas de la ASTM, con excepción de las muestras de las propiedades físicas, que por el tamaño del horno empleado, fue necesario reducir su tamaño, que originalmente sería de 2 X 2 X 6".

D. Determinación de propiedades físicas

1. Características organolépticas. Se determinaron las siguientes características a través de observar, oler y saborear el aserrín que surgía del corte con motosierra, en el lugar de recolección de la muestra:

- a. Olor: ausente o no distintivo, aromático, desagradable.
- b. Sabor: ausente o no distintivo, amargo, dulce, picante.
- c. Color: en el laboratorio, se utilizó la escala Munsell para determinar el color específico de la madera y no dar lugar a interpretaciones dadas al criterio del observador.
- d. Grano: recto, oblicuo, entrecruzado o espiralado.
- e. Textura: gruesa, fina, mediana; homogénea uniforme o heterogénea.

2. Peso específico. En esta prueba, se utilizaron 10 probetas de cada especie de 2 X 2 X 2". Para cada tipo de madera, era necesario completar un cuadro como el siguiente:

Cuadro 4.2. Datos necesarios de obtener para cada especie según Gurfinkel (1981)

Estado de la muestra	Humedad (%)	Peso W (gr.)	Volumen V (cm ³)
Verde	Entre 20 y 30%		
Seca al aire	Aprox. 12%		
Seca al horno (anhidra)	0%		

Con este cuadro completo, se calcularían los diferentes pesos de las muestras, según se especifica más adelante (*vid* apéndice A).

Para la medición de estas probetas, se utilizó un vernier digital marca Stainless Hardened, modelo Scala 230.203, con precisión de 0.001mm y se pesaron en una balanza electrónica marca Sartorius modelo 2354, con capacidad máxima de 1000gr. y una precisión de 0.01g.

Primer día: se identificaron las probetas con su letra mayúscula correspondiente a la especie y un número arábigo (Ej.: probeta 1 del cortez = C1). Se identificaron sus lados con letras minúsculas (a = axial, r = radial y t = tangencial).

Para obtener los datos en estado verde u original, se midieron las probetas en sus tres dimensiones, con lo cual se calculó su volumen; también fueron pesadas. Al finalizar, se colocaron todas las muestras en el

horno a 100°C durante 24 horas, con espacio suficiente entre ellas, para que fluyera bien el aire caliente y lograr un secado óptimo.

Con estos datos iniciales, fue posible calcular el peso aparente (w_g) de cada muestra utilizando la siguiente fórmula:

$$w_g = \frac{\text{Peso en estado original de humedad}}{\text{Volumen en estado original de humedad}}$$

Segundo día: cada muestra se midió y se pesó de nuevo de la misma forma que el día anterior y posteriormente se sumergieron en agua, donde estarían 24 horas. Con los datos obtenidos, fue posible determinar el peso anhidro o peso seco (G_o) y el peso específico verde (G_g) con las siguientes fórmulas:

$$G_o = \frac{\text{Peso en estado seco}}{\text{Volumen en estado seco}}$$

$$G_g = \frac{\text{Peso en estado seco}}{\text{Volumen en estado verde}}$$

Tercer día: se sacaron las muestras del agua, se limpió la humedad superficial con una servilleta y se procedió a pesar y a medir como los días anteriores.

Con estos datos se obtuvieron contenidos de humedad intermedios entre el estado original y el seco; para completar el cuadro 4.2, se realizaron modelos de regresión de la relación entre humedad y peso, también de la relación entre humedad y volumen, para interpolar estas variables donde fuese necesario (*vid* modelos utilizados para cada especie en apéndice B).

En la mayoría de las especies, se calculó el peso y el volumen al 12% de humedad con estos modelos de regresión, al tener los datos necesarios, se calculó el peso específico seco al aire (G_a) y el peso unitario al 12% ($w_{12\%}$), que son valores que ya pueden compararse con datos obtenidos internacionalmente. Se utilizaron las siguientes fórmulas:

$$G_a = \frac{\text{Peso en estado seco}}{\text{Volumen al 12\%}}$$

$$W_{12\%} = \frac{\text{Peso al 12\% de humedad}}{\text{Volumen al 12\% de humedad}}$$

3. Contenido de humedad. Para el cálculo de esta propiedad, se usaron los datos obtenidos en las primeras y segundas mediciones realizadas con las mismas probetas utilizadas en el cálculo de peso específico. Se aplicó la siguiente fórmula:

$$CH = \frac{\text{Peso húmedo} - \text{Peso seco}}{\text{Peso seco}} \times 100\%$$

4. Contracciones. Con los datos obtenidos en las mediciones de los dos primeros días, fue posible determinar la contracción de las probetas a través de las siguientes fórmulas:

a. Contracción radial:

$$C_r = \frac{\text{dimensión radial en verde} - \text{dimensión radial en seco}}{\text{Dimensión radial en verde}} \times 100\%$$

b. Contracción tangencial:

$$C_t = \frac{\text{dimensión tang en verde} - \text{dimensión tang en seco}}{\text{Dimensión tang en verde}} \times 100\%$$

c. Contracción axial:

$$C_a = \frac{\text{dimensión axial en verde} - \text{dimensión en seco}}{\text{Dimensión en verde}} \times 100\%$$

d. Contracción volumétrica:

$$C_v = \frac{\text{Volumen en verde} - \text{volumen en seco}}{\text{Volumen en verde}} \times 100\%$$

Al finalizar los cálculos, se procedió a elaborar una gráfica de la relación Contracción – Humedad en cada una de sus dimensiones, axial, radial y tangencial.

E. Determinación de propiedades mecánicas.

1. **Compresión paralela a la fibra.** Es la resistencia que opone una viga a una carga aplicada en el mismo sentido de la dirección de sus fibras. Se realizó aplicando una carga, hasta el momento de la falla, donde se hizo la lectura de la misma y se describió el tipo de falla para cada probeta según la figura 3.6. Para la medición de la carga última aplicada, se utilizó una compresora hidráulica monofásica, marca Forney, modelo FT-40-DR, con capacidad de 250,000 lb. A partir de este ensayo, fue posible determinar el esfuerzo último de compresión paralela a la fibra a través de la siguiente fórmula:

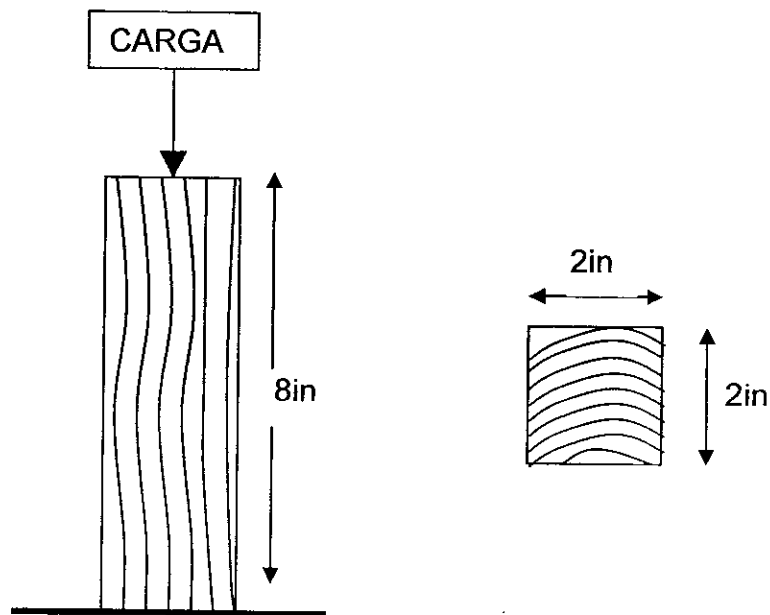
$$E_{pa} = \frac{F}{A}$$

donde E_{pa} es el esfuerzo último de compresión paralela a la fibra

F es la fuerza aplicada en lb o kg

A es el área donde es aplicada la fuerza en in^2 o cm^2 .

Figura 4.1. Representación esquemática del ensayo de compresión paralela a la fibra.



Así mismo, también se realizaron pruebas en la compresora hidráulica marca Versa Tester Soiltest, Número de Serie 153, donde fue posible colocar un deformímetro a la pieza para ir midiendo su deformación cada 1000lb. Hasta llegar a 6000lb. Con estos datos, pudo obtenerse el módulo de elasticidad en compresión paralela a la fibra, a través de una gráfica de cargas vs. deformación (*Vid* apéndice C).

2. **Compresión perpendicular a la fibra.** Es la resistencia que opone la madera a una carga aplicada en sentido perpendicular a la dirección de las fibras en una cara radial de la probeta. Para este ensayo, se utilizaron probetas de 2 X 2 X 6". Se fue aplicando carga en la compresora hidráulica monofásica, marca Forney hasta que la probeta mostrara mucha deformación o falla. A partir de este ensayo, fue posible determinar el esfuerzo último de compresión perpendicular a la fibra a través de la siguiente fórmula:

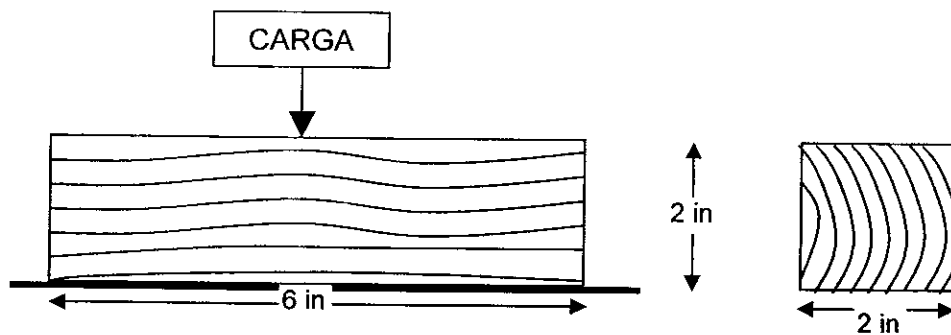
$$E_{\perp} = \frac{F}{A}$$

donde E_{\perp} es el esfuerzo último de compresión perpendicular a la fibra

F es la fuerza aplicada en lb o kg

A es el área donde es aplicada la fuerza en in^2 o cm^2 .

Figura 4.2. Representación esquemática del ensayo de compresión perpendicular a la fibra.



3. **Flexión estática.** Para esta prueba, se utilizaron probetas de 2 X 2 X 30". Se colocaron según se muestra en la figura 3.5, en la compresora hidráulica marca Versa Tester Soiltest, Número de Serie 153, en la cual se tomaron los datos de carga. Para las lecturas de deformación, se utilizó un deformímetro 1C - 8, Soiltest, Inc. con carrera total de 1". Se fue aplicando la carga lentamente hasta ver movimiento en la aguja que marca la misma. Luego se fueron tomando lecturas de las deformaciones cada 100lb. hasta llegar a las 1000lb. A partir de esta carga, se esperó hasta la carga última, donde fallara la probeta.

A partir de los datos obtenidos, se calcularon el módulo de elasticidad y el módulo de ruptura, como sigue:

$$\text{MOE} = \frac{Pa}{24\Delta I} (3L^2 - 4a^2)$$

Donde MOE es el módulo de elasticidad

I es b (base) * h (altura)³ / 12 = constante (in^4) = 1.33 in^4

P es la carga aplicada (lb) (lectura en la máquina universal)

a es la distancia entre los apoyos, en nuestro caso sería $L/3$ (in)

L es el largo total de la viga

Δ es la deformación (in) (lectura del deformímetro)

Suponiendo unas medidas iguales para todas las probetas, es posible sustituir en la fórmula el momento de inercia, la distancia entre los apoyos y el largo total de la viga, dando como resultado una fórmula en función de la carga aplicada y la deformación:

$$\text{MOE} = \frac{P(718.75)}{\Delta}$$

Y para calcular el módulo de ruptura, se utilizó la última carga registrada hasta la falla, aplicando la siguiente fórmula:

$$\text{MOR} = My / I$$

donde

MOR es el módulo de ruptura

$$I = bh^3 / 12$$

$$M = Pa$$

$$y = h / 2$$

4. Prueba de Corte. El esfuerzo cortante es el que actúa tangencialmente a la superficie del material. Estos son generados por una acción directa de fuerzas al tratar de cortar al material donde son aplicadas, y se define como fuerza sobre área.

$$E_c = \frac{F}{A}$$

donde

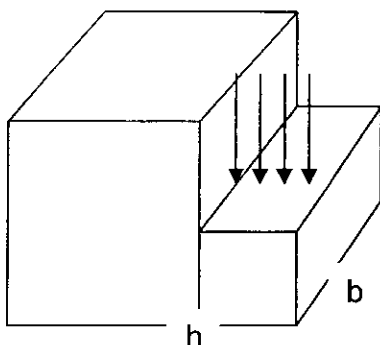
E_c es el esfuerzo cortante

F es la fuerza aplicada en lb o kg

A es el área donde es aplicada la fuerza en in^2 o cm^2 .

Se utilizaron 10 probetas como muestra la figura 4.4 de cada especie. Después de ser debidamente identificadas, se procedió a colocar dichas muestras en un dispensador como puede verse en la figura 3.7, donde también se especifican las dimensiones correctas para que las probetas no tengan ningún problema en su colocación.

Figura 4.3. Probeta utilizada para la prueba de corte.



Para determinar el esfuerzo cortante, se procedió a medir la base (b) y la altura (h) de cada muestra, lo que serviría para calcular el área de la falla. El dispensador con la probeta es colocado en la compresora manual marca Soiltest, modelo CN – 472y, número de serie 192. Seguidamente, se tomó la lectura de deformación del anillo en la compresora manual, en vueltas, hasta que la muestra falló. Se anotó el tipo de falla; en aquellos donde se presentó perpendicular a la fibra, se trató de una falla radial; y donde fue tangente a la fibra, se trató de una falla tangencial.

Luego se calculó el equivalente en carga de la deformación anterior con la siguiente fórmula, extraída de la calibración de la compresora manual (*Vid* apéndice C):

$$\text{Carga (lb.)} = \frac{1000 (\text{No. De vueltas})}{1 \frac{1}{3}}$$

Y finalmente se calculó el esfuerzo cortante en psi (lb /in²) y en kg /cm².

5. Prueba de dureza. Para esta prueba, se utilizó una probeta de cada especie de 2 X 2 X 6”.

Utilizando la compresora manual, se ejerció presión sobre cada probeta, hasta penetrar a una profundidad de 0.096” la mitad de una bala de acero, achatada en su extremo de 0.44” de diámetro. Al llegar a la marca de la profundidad necesaria, se tomó la lectura de la compresora. De la misma forma que se calculó anteriormente las cargas, así mismo se procedió para éstas, a través de la calibración de la compresora manual.

6. Esfuerzos básicos. Los esfuerzos básicos representan la resistencia permisible de la madera en piezas libres de defectos y sanas. Para su cálculo, después de obtener los datos de los esfuerzos últimos de cada prueba, se calcularon los esfuerzos básicos para cada una, aplicando la siguiente fórmula, desarrollada con detalle en el capítulo 3, sección D:

$$\text{Esfuerzo básico} = (X)(V)(H)(0.335)$$

donde

X es el promedio aritmético de los resultados de ensayo

V es la corrección por variabilidad

H es la corrección para adaptar los esfuerzos básicos corregidos según el contenido de humedad

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Jaboncillo (*Sapindus saponaria* L.)

1. Descripción botánica del jaboncillo. Árbol generalmente de 9 a 15m de alto o más, corteza gris, fisurada y escamosa, la copa usualmente ancha y densa, el tronco de 50cm. o más de diámetro; foliolos la mayoría 6 a 12, estrechamente lanceolados a oblongos, de 5 a 18cm. de largo, obtusos a largo-acuminados, agudos u obtusos en la base, asimétricas, glabras, enteros, el raquis estrechamente alado; flores blancas o blanquecinas, de 4mm. de ancho, a menudo largas y pedunculadas, panículas muy ramificadas, las ramas puberulentas; pétalos de 3mm. de largo; fruto usualmente 1 coco, a veces 2 a 3 cocos, globosos, glabros, de 1 a 2cm. de diámetro, muy carnosos; semillas pálidas, globosas, alrededor de 1cm. de diámetro (Stanley y Steyermark, 1949).

2. Propiedades físicas de la madera del jaboncillo.

Cuadro 5.1. Características organolépticas del jaboncillo.

Características	Descripción
Olor	Aromático
Color	Entre 2.5Y / 8 / 2 y 2.5Y / 8 / 3, más o menos un color amarillento claro.
Sabor	No distintivo
Grano	Oblicuo a recto
Textura	Gruesa, homogénea

Cuadro 5.2. Contenido de humedad y pesos del jaboncillo.

Propiedad	Unidades	Valor medio	Desv. estándar	Coef. de variación (%)
Humedad	(%)	27.96	2.53	9.04
Peso aparente, w_g	(gr/cm ³)	0.86	0.015	1.80
Peso anhidro, G_o	(gr/cm ³)	0.76	0.014	1.80
Peso Específico al 12%, G_a	(gr/cm ³)	0.72	-	-
Peso Específico al 28%, G_p	(gr/cm ³)	0.67	0.009	1.37
Peso unitario al 12%, w_a	(gr/cm ³)	0.81	-	-

Según el peso específico al 12%, esta especie tiene una madera que se clasifica como "excesivamente pesada", como puede verse en el cuadro 3.1. Esto se confirma con los datos de peso específico que presenta el Dataforg (2003), que da un valor de 0.8gr/cm³, ubicándose en la misma clasificación.

Figura 5.1. Corte longitudinal del jaboncillo

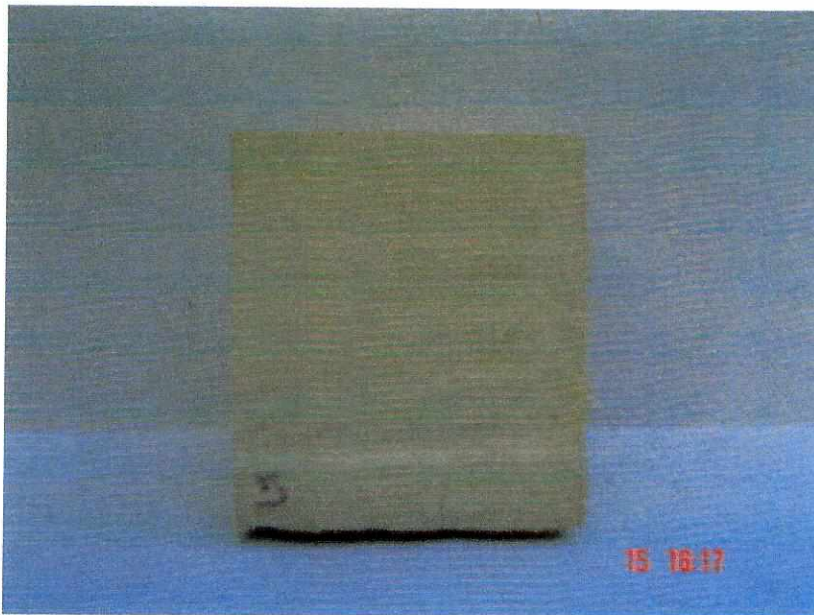


Figura 5.2. Corte transversal del jaboncillo



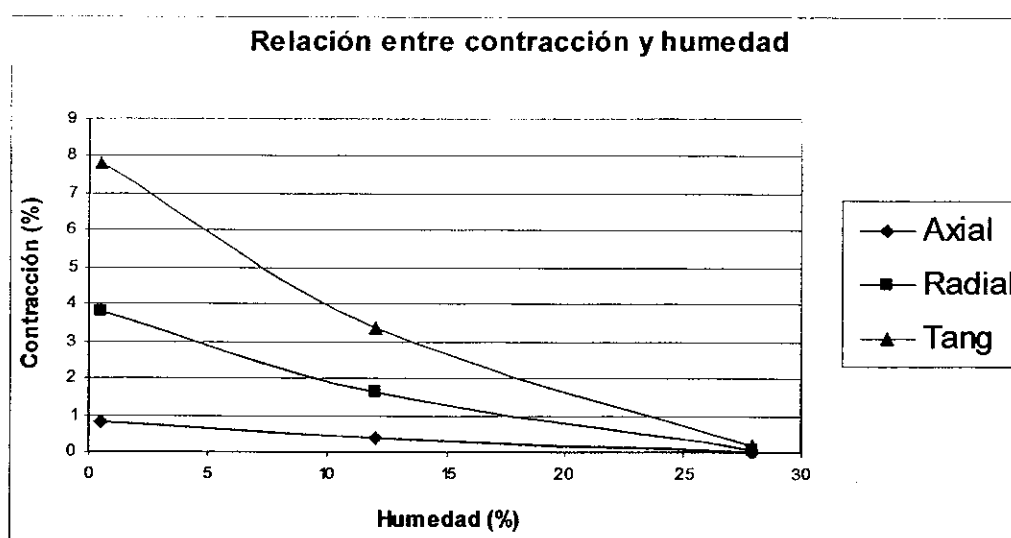
Cuadro 5.3. Valores de contracción del jaboncillo

Contracción	Valor medio (%)	Desviación estándar	Coefficiente de variación (%)
Axial	0.83	0.66	80.07
Radial	3.78	0.87	22.99
Tangencial	7.81	0.39	5.01
Volumétrica	12.04	1.06	8.78
CT / CR	2.20	0.66	30.15

En la cara axial, puede observarse que el jaboncillo no presenta mayor deformación por contracción. Sin embargo, el corte radial de esta madera, según el cuadro 3.2, sufre poca contracción, considerándosele mediana. Al contrario de su cara tangencial, esta madera se contrae altamente, por lo que debe tenerse bajo observación durante el secado. Como puede verse en la figura 5.3, el lado con mayor contracción es el tangencial, y a menor contenido de humedad, mayor será la contracción.

En general, el jaboncillo se contrae altamente al ser sometido a secado, con un valor promedio del 12% de contracción de su volumen, esto puede deberse a la textura gruesa de la madera, que puede almacenar una alta cantidad de agua, que al perderse contrae las fibras.

Figura 5.3. Relación entre la contracción y la humedad del jaboncillo



La razón entre contracción tangencial y radial es de 2.20, lo que significa que es una madera moderadamente estable, que forma pocas grietas y deformaciones al ser secada, por lo tanto requiere una leve atención al secado, como se había mencionado anteriormente.

3. Propiedades mecánicas de la madera del jaboncillo.

Cuadro 5.4. Esfuerzos últimos y básicos del jaboncillo

	Psi (lb/in ²)	kg/cm ²	Esf. básicos (kg/cm ²)	Coef. de var. (%)
Corte radial	1257.91	88.44	23.70	14.47
Compresión paralela a la fibra	6648.06	467.46	138.84	4.67
Compresión perpendicular a la fibra	3562.40	250.462	67.08	14.04
Dureza	1006.88 lb	456.74 kg	144.41 kg	4.23

La falla de compresión paralela a la fibra fue aplanada, es decir que su plano de ruptura fue aproximadamente horizontal como puede verse en la figura 3.6.

Cuadro 5.5. Medidas de flexión estática en el jaboncillo

	Psi (lb/in ²)	kg/cm ²	Esf. básicos (kg/cm ²)	Desv. Estándar	Coef. de Var. (%)
MOE	1.88 X 10 ⁶	132,173	132,173	1.79 X 10 ⁴	13.54
MOR	19125	1347.45	411.70	369.11	1.93

MOE = Módulo de elasticidad, MOR = Módulo de ruptura

B. Malpaiz o gusano. (*Lonchocarpus guatemalensis* Benth)

1. Descripción botánica del malpaiz. Árbol de pequeño a mediano, de 12m de alto o más, de 75cm de diámetro aproximadamente. Las hojas son imparipinnadas y alternas, aproximadamente 9-15 cm. de largo, de 5-7 foliolos. Los foliolos son subcoriáceos de 4 a 7cm de largo, ovados a oblongos, con ápice de obtuso a acuminado y base obtusa o ancha; la inflorescencia es una panícula axilar de flores perfectas, usualmente tiene muchas flores que aparecen con o después de las nuevas hojas, de color lila que generalmente presentan puntos amarillentos en sus pétalos; el fruto es una legumbre estipitada, aplanada, alada e indehisciente de 7cm de largo o más corta, que puede contener de una a tres semillas. La madera en este género es dura, pesada, resistente y fuerte. Se utiliza en algunos lugares para la construcción pesada y durable (Stanley y Steyermark, 1946).

2. Propiedades físicas de la madera del malpaiz.

Cuadro 5.6. Características organolépticas del malpaiz.

Características	Descripción
Olor	Aromático
Color	Entre 2.5Y / 7 / 6, 2.5Y / 6 / 6 y 2.5Y / 7 / 8, generalmente es un color amarillo un poco fuerte.
Sabor	No distintivo
Grano	Recto u oblicuo (irregular)
Textura	Fina, homogénea

Cuadro 5.7. Contenido de humedad y pesos del malpaiz.

Propiedad	Unidades	Valor medio	Desv. estándar	Coef. de variación (%)
Humedad	(%)	18.07	0.72	4.00
Peso aparente, w_g	(gr./cm ³)	1.01	0.026	2.62
Peso anhidro, G_o	(gr./cm ³)	0.94	0.02	2.2
Peso Específico al 14%, G_a	(gr./cm ³)	0.89	0.03	3.79
Peso Específico al 18%, G_p	(gr./cm ³)	0.86	0.02	2.76
Peso unitario al 14%, w_a	(gr./cm ³)	1.02	0.02	2.24

Figura 5.4. Corte longitudinal del malpaiz



Figura 5.5. Corte transversal del malpaiz



Figura 5.6. Corte tangencial del malpaiz



Según el peso específico al 14%, esta especie tiene una madera que se considera como extremadamente pesada, como puede verse en la clasificación que se presenta en el cuadro 3.1.

Cuadro 5.8. Valores de contracción del malpaiz.

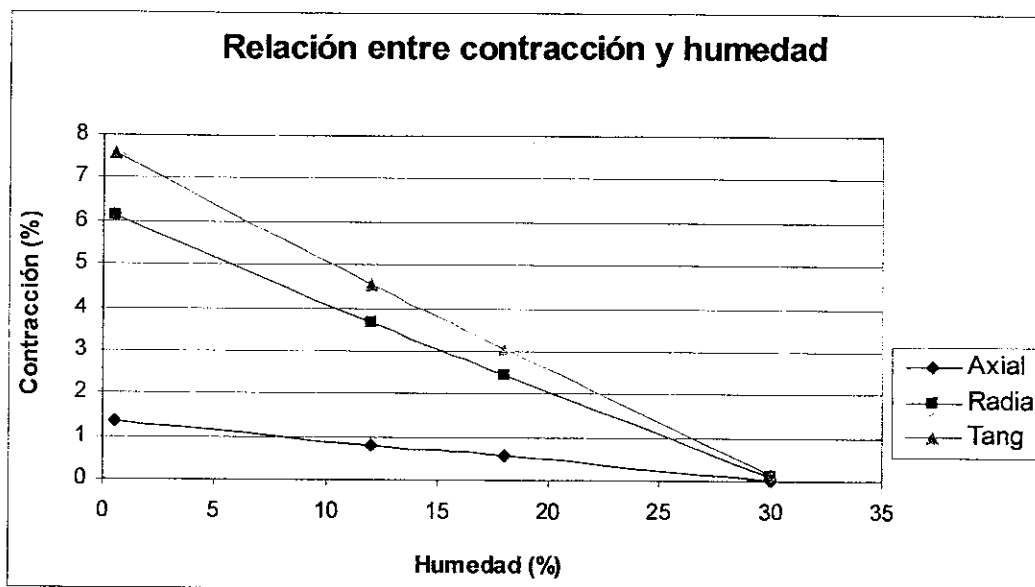
Contracción	Valor medio (%)	Desviación estándar	Coefficiente de variación (%)
Axial	0.85	0.974	114.7
Radial	3.66	0.914	24.96
Tangencial	4.56	0.577	12.65
Volumétrica	8.84	0.96	10.81
CT / CR	1.34	0.48	35.59

En la cara axial, puede observarse que el malpaiz no presenta mayor deformación por contracción. Sin embargo, el corte radial de esta madera, según el cuadro 3.2, sufre poca contracción, considerándosele mediana. A pesar que su cara tangencial tiene mayor contracción que la radial, no es una diferencia significativa, por lo que se considera una contracción tangencial baja. Puede observarse en la figura 5.7, que la línea de contracción tangencial no se encuentra muy lejana a la de contracción radial, con lo cual se confirma lo anteriormente dicho.

En general, el malpaiz se contrae medianamente al ser sometido a secado, con un valor promedio del 9% de contracción de su volumen. Según su relación CT / CR, es una madera estable, que no forma grietas

ni deformaciones, sin embargo, si se realiza un secado rápido a altas temperaturas, puede sufrir leves grietas.

Figura 5.7. Relación entre la contracción y la humedad del malpaiz



3. Propiedades mecánicas de la madera del malpaiz.

Cuadro 5.9. Esfuerzos últimos y básicos del malpaiz

	Psi (lb/in ²)	Kg/cm ²	Esf. básicos (kg/cm ²)	Coef. de var. (%)
Corte radial	1857.35	130.56	25.15	4.54
Compresión paralela a la fibra	7626.93	536.29	101.09	6.58
Compresión perpendicular a la fibra	3600.82	253.17	46.39	9.19
Dureza	1518.75 lb	690.34 kg	121.13kg	12.86

La falla de compresión paralela a la fibra algunas veces fue de corte, es decir que su plano de ruptura fue aproximadamente en ángulo agudo con la horizontal, como puede verse en la figura 3.6. Unas pocas probetas no presentaron falla visible, pero mostraron cierto pandeo.

Cuadro 5.10. Medidas de flexión estática en el malpaiz

	Psi (lb/in ²)	kg/cm ²	Esf. básicos kg/cm ²	Desv. estándar	Coef. de var. (%)
MOE	2.41 X 10 ⁶	169,654	169,654	4.09 X 10 ⁴	24.11
MOR	21000	1479.55	269.63	143.22	9.68

MOE = Módulo de elasticidad, MOR = Módulo de ruptura

C. Pescadillo o zorrillo. (*Thouinidium decandrum* (Humb. & Bonpl.) Radlk.)

1. Descripción botánica del pescadillo. Usualmente es un árbol de 5 a 10m de alto, frondoso, hojas largas compuestas, membranosas y generalmente brillantes, ápice lanceolado, base aguda o acuminada, borde aserrado, venación prominente; flores en panículas frecuentemente grandes de color blanco, con cuatro pétalos (Stanley y Steyermark, 1949).
2. Propiedades físicas de la madera del pescadillo.

Cuadro 5.11. Características organolépticas del pescadillo.

Características	Descripción
Olor	Ausente
Color	Entre 5Y / 8 / 4 y 5Y / 7 / 4, generalmente es un color crema amarillento.
Sabor	No distintivo
Grano	Recto u oblicuo (irregular)
Textura	Mediana, heterogénea

Figura 5.8. Corte longitudinal del pescadillo

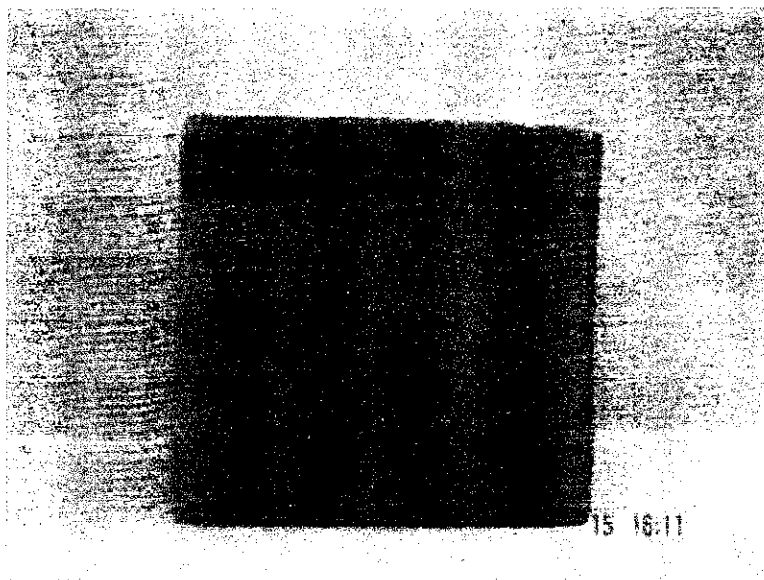


Figura 5.9. Corte transversal del pescadillo

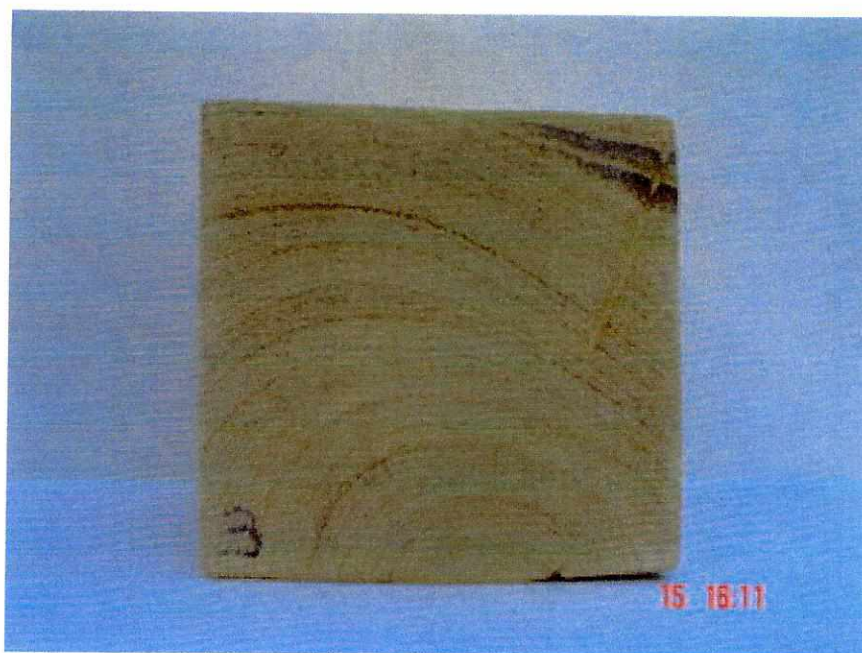
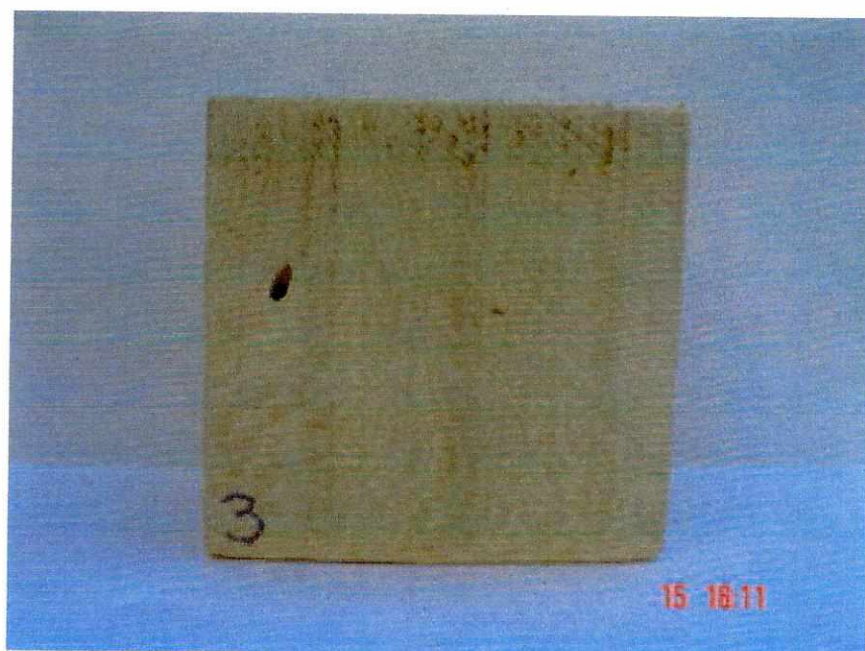


Figura 5.10. Corte tangencial del pescadillo



Cuadro 5.12. Contenido de humedad y pesos del pescadillo.

Propiedad	Unidades	Valor	Desv. estándar	Coef. de variación (%)
Humedad	(%)	32.07	11.66	36.37
Peso aparente, w_g	(gr./cm ³)	0.84	0.06	7.04
Peso anhidro, G_o	(gr./cm ³)	0.68	0.02	3.49
Peso Específico al 12%, G_a	(gr./cm ³)	0.67	-	-
Peso Específico al 32%, G_p	(gr./cm ³)	0.64	0.02	2.95
Peso unitario al 12%, w_a	(gr./cm ³)	0.75	-	-

Según el peso específico al 12%, esta especie tiene una madera que se considera como “muy pesada”, como puede verse en la clasificación que se presenta en el cuadro 3.1.

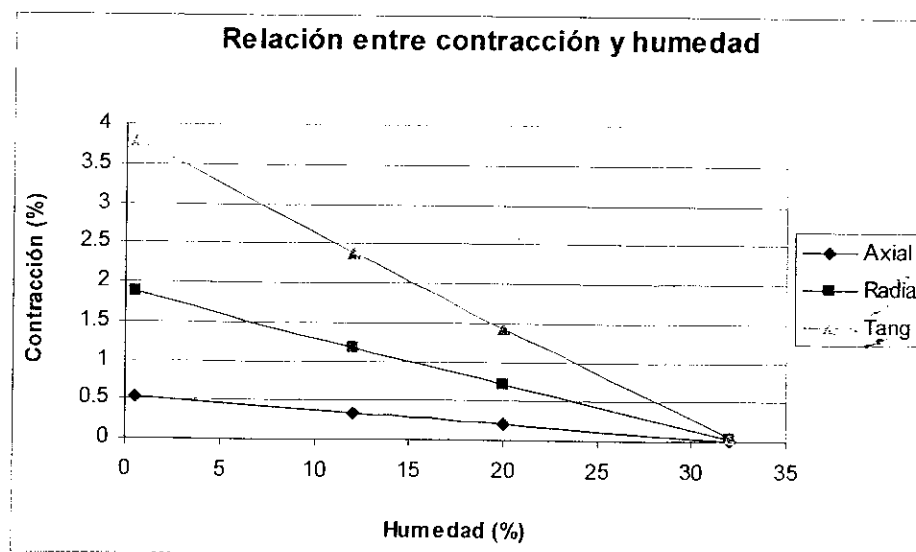
Cuadro 5.13. Valores de contracción del pescadillo.

Contracción	Valor medio (%)	Desviación estándar	Coefficiente de variación (%)
Axial	0.54	0.18	32.39
Radial	1.88	0.84	44.57
Tangencial	3.80	2.03	53.35
Volumétrica	6.10	2.71	44.38
CT / CR	2.19	0.66	30.27

Según la clasificación encontrada en Benítez y Montesinos (1988) mostrada en el cuadro 3.2, la contracción radial y tangencial es muy baja. En volumen, también presenta una contracción baja.

Sin embargo, la razón entre contracción tangencial y radial es de 2.19, lo que significa que es una madera medianamente estable, que puede formar grietas y deformaciones leves durante el secado, razón por la cual debe tenerse algunos cuidados durante el mismo.

Figura 5.11. Relación entre la contracción y la humedad del pescadillo.



3. Propiedades mecánicas de la madera del pescadillo.

Cuadro 5.14. Esfuerzos últimos y básicos del pescadillo

	Psi (lb/in ²)	kg/cm ²	Esf. básicos (kg/cm ²)	Coef. de var. (%)
Corte radial	1710.21	120.19	35.84	10.98
Compresión paralela a la fibra	5551.39	390.31	121.72	6.91
Compresión perpendicular a la fibra	1782.26	297.92	83.12	16.72
Dureza	926.25 lb	420.16 kg	127.83 kg	9.57

La falla de compresión paralela a la fibra algunas veces fue de corte, es decir que su plano de ruptura fue aproximadamente en ángulo agudo con la horizontal, como puede verse en la figura 3.6. Unas pocas probetas no presentaron falla visible, pero mostraron cierto pandeo.

Cuadro 5.15. Medidas de flexión estática en el pescadillo

	Psi (lb/in ²)	kg/cm ²	Esf. Básicos kg/cm ²	Desv. Estándar	Coef. de Var. (%)
MOE	1.79 X 10 ⁶	126,255	126,255	1.73 X 10 ⁴	13.67
MOR	10125	713.35	221	53.64	7.52

MOE = Módulo de elasticidad, MOR = Módulo de ruptura

D. Jurgay o uruguay. (*Talisia olivaeformis* (HBK.) Radlk.)

1. Descripción botánica del uruguay. Árbol de 15 a 18m de alto, el tronco de aproximadamente 60cm de diámetro, corteza grisácea, las ramificaciones más viejas presentan lenticelas muy visibles; hojas compuestas de 4 a 6 folíolos coriáceos, lustrosos y de peciolo delgados, oblongos a lanceolados u ovado-oblongos, de 7 a 11cm de largo y 2 a 5cm de ancho, ápice acuminado, base obtusa; flores blancas agrupadas en panículas pequeñas o grandes; fruto largo y duro, subgloboso, comúnmente de 4 a 5cm de longitud, que contiene una semilla larga (Stanley y Steyermark, 1949).

2. Propiedades físicas de la madera del uruguay.

Cuadro 5.16. Características organolépticas del uruguay.

Características	Descripción
Olor	Aromático
Color	Entre 10YR / 8 / 6, 10YR / 7 / 6 y 10YR / 7 / 8, generalmente es un color marrón claro amarillento.
Sabor	No distintivo
Grano	Recto
Textura	Mediana, heterogénea

Cuadro 5.17. Contenido de humedad y pesos del uruguay.

Propiedad	Unidades	Valor	Desv. estándar	Coef. de variación (%)
Humedad	(%)	21.43	3.50	16.33
Peso aparente, w_g	(gr./cm ³)	1.06	0.04	3.35
Peso anhidro, G_o	(gr./cm ³)	0.96	0.01	1.48
Peso Específico al 12%, G_a	(gr./cm ³)	0.89	-	-
Peso Específico al 21%, G_R	(gr./cm ³)	0.87	0.04	4.50
Peso unitario al 12%, w_a	(gr./cm ³)	0.75	-	-

Según el peso específico al 12%, esta especie tiene una madera que se considera como extremadamente pesada, como puede verse en la clasificación que se presenta en el cuadro 3.1.

Figura 5.12. Corte longitudinal del uruguay

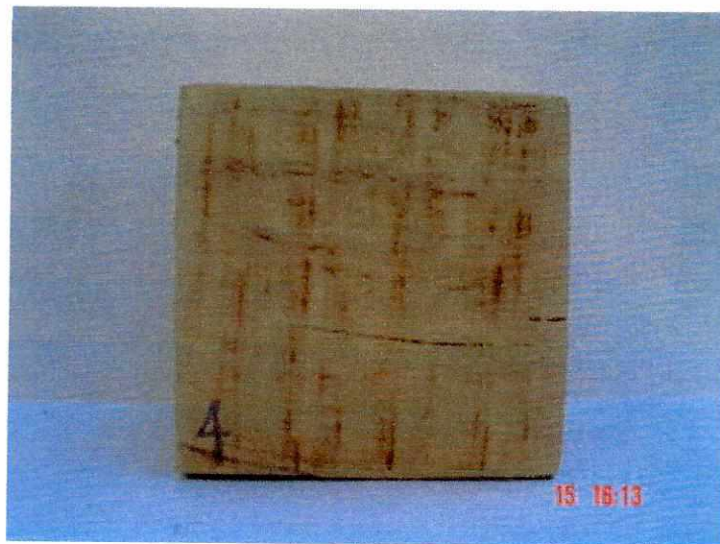


Figura 5.13. Corte transversal del uruguay

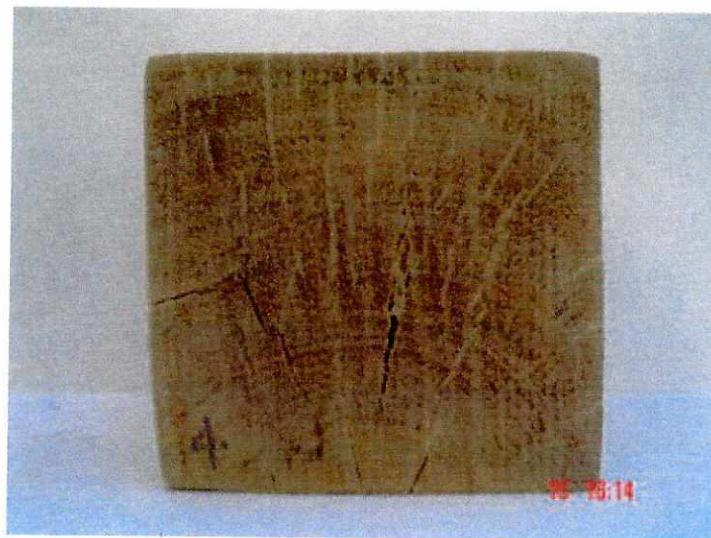


Figura 5.14. Corte tangencial del uruguay



Cuadro 5.18. Valores de contracción del uruguay.

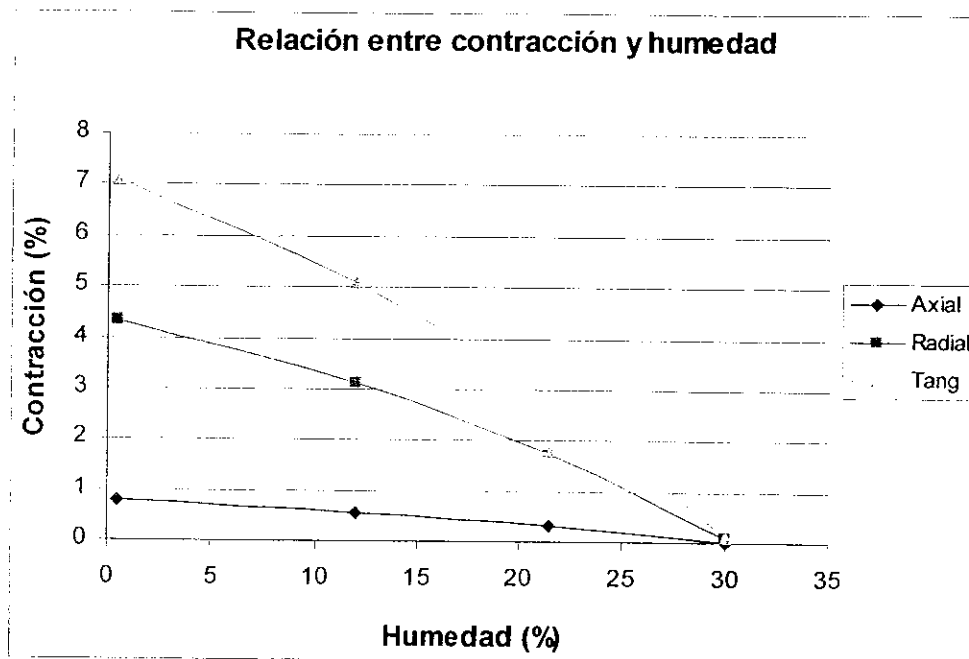
Contracción	Valor medio (%)	Desviación estándar	Coefficiente de variación (%)
Axial	0.55	0.46	82.63
Radial	3.10	1.66	53.69
Tangencial	5.07	2.69	53.15
Volumétrica	8.50	3.76	44.21
CT / CR	1.74	0.81	46.28

En la cara axial, puede observarse que el uruguay no presenta mayor deformación por contracción. Sin embargo, el corte radial de esta madera, según la clasificación encontrada en Benítez (1988) mostrada en el cuadro 3.2, sufre poca contracción, considerándosele mediana.

A pesar que su cara tangencial tiene mayor contracción que la radial, no es una diferencia significativa, por lo que se considera una contracción tangencial baja. Pueden observarse las curvas de contracción en sus tres dimensiones de esta madera en la figura 5.15.

En general, el uruguay se contrae medianamente al ser sometido a secado, con un valor promedio del 8.5% de contracción de su volumen. Según su relación CT / CR, es una madera estable, que forma pocas grietas y deformaciones, sin embargo, si se realiza un secado rápido a altas temperaturas, puede sufrir varias grietas.

Figura 5.15. Relación entre la contracción y la humedad del uruguay



3. Propiedades mecánicas de la madera del uruguay.

Cuadro 5.19. Esfuerzos últimos del uruguay

	Psi (lb/in ²)	kg/cm ²	Esf. básicos (kg/cm ²)	Coef. de var. (%)
Corte radial	1799.47	126.52	25.5	15.26
Compresión paralela a la fibra	8339.75	586.42	134.57	3.52
Compresión perpendicular a la fibra	3967.46	278.96	63.58	4.18
Dureza	1603.13 lb	727.21kg	161.34 kg	6.72

La falla de compresión paralela a la fibra algunas veces fue de corte, es decir que su plano de ruptura fue aproximadamente en ángulo agudo con la horizontal, como puede verse en la figura 3.6. Así mismo, algunas de ellas presentaron una ruptura en forma de grieta cuneiforme.

Cuadro 5.20. Medidas de flexión estática en el uruguay

	Psi (lb/in ²)	kg/cm ²	Esf. básicos kg/cm ²	Desv. estándar	Coef. de var. (%)
MOE	2.44 X 10 ⁶	171,628	171,628	3.1 X 10 ⁴	18.06
MOR	23,250	1638.07	332.81	238.83	14.58

MOE = Módulo de elasticidad, MOR = Módulo de ruptura

E. Cortez. (*Tabebuia chrysantha* (Jacq.) Nicholson.)

1. Descripción botánica del cortez. Árbol de 20 a 25 m de alto y de hasta 60cm. de diámetro. tronco recto. ramas escasas, gruesas y ascendentes, copa piramidal; caducifolio; corteza externa fisurada, grisáceo amarillenta, internamente de color crema amarillenta, laminada. Grosor total de la corteza de 8mm. a 11mm.; ramas jóvenes, ligeramente fisuradas y angulosas con cicatrices prominentes de las hojas caídas, gris a pardo amarillento, glabras, con pequeñas lenticelas longitudinales y pálidas; estípulas ausentes; hojas decusadas, digitadas a compuestas, de 15 a 25cm. de largo incluyendo el pecíolo. compuestas de 5 folíolos de 7 x 2.5 a 12 x 4.5cm., lanceolados o elípticos, con el margen entero, ápice acuminado, base redondeada; verde brillantes en el haz, verde opacas en el envés, con manojos de pelos en las axilas de la nervadura principal en el envés; pecíolos de 6 a 20cm. de largo, glabros, pulvinados en la base; flores en panículas con las ramas cimosas terminales, de 8 a 10cm. de largo y de 10 a 20cm. de ancho, con pelos estrellados escamosos; cigomorfas; cáliz amarillo verdoso, de 1 a 1.3cm. de largo, tubular, con 4 dientes de 3 a 4mm. de largo, ovales o triangulares, el lóbulo superior con una evaginación pequeña y redondeada, con pubescencia estrellada y escamosa en ambas superficies; corola amarillo intenso y brillante, de 6 a 7.5cm. de largo, largamente tubular; cápsulas de 35 a 45cm. de largo, angostas, ligeramente retorcidas, muy agudas, con numerosas estrías longitudinales, pardo verdosas, con escamas, con numerosas semillas aplanadas, aladas, de 1.5 a 2cm. de largo, morenas.

2. Propiedades físicas de la madera del cortez.

Cuadro 5.21. Características organolépticas del cortez.

Características	Descripción
Olor	Aromático
Color	En corte radial es un color entre 5Y / 7 / 8 y 5Y / 6 / 8, más o menos un verde amarillento claro. En corte longitudinal, es un color entre 5YR / 4 / 4 y/o 5YR / 3 / 4, de color marrón oscuro
Sabor	Amargo
Grano	Recto
Textura	Fina, homogénea

Cuadro 5.22. Contenido de humedad y pesos del cortez.

Propiedad	Unidades	Valor	Desv. estándar	Coef. de variación (%)
Humedad	(%)	12.34	1.65	13.38
Peso aparente, w_g	(gr./cm ³)	1.16	-	-
Peso anhidro, G_0	(gr./cm ³)	1.03	0.015	1.44
Peso Específico al 12%, G_a	(gr./cm ³)	0.98	0.025	2.55
Peso Específico al 30%, G_p	(gr./cm ³)	0.90	-	-
Peso unitario al 12%, w_a	(gr./cm ³)	1.096	0.035	3.16

Figura 5.16. Corte longitudinal del cornez

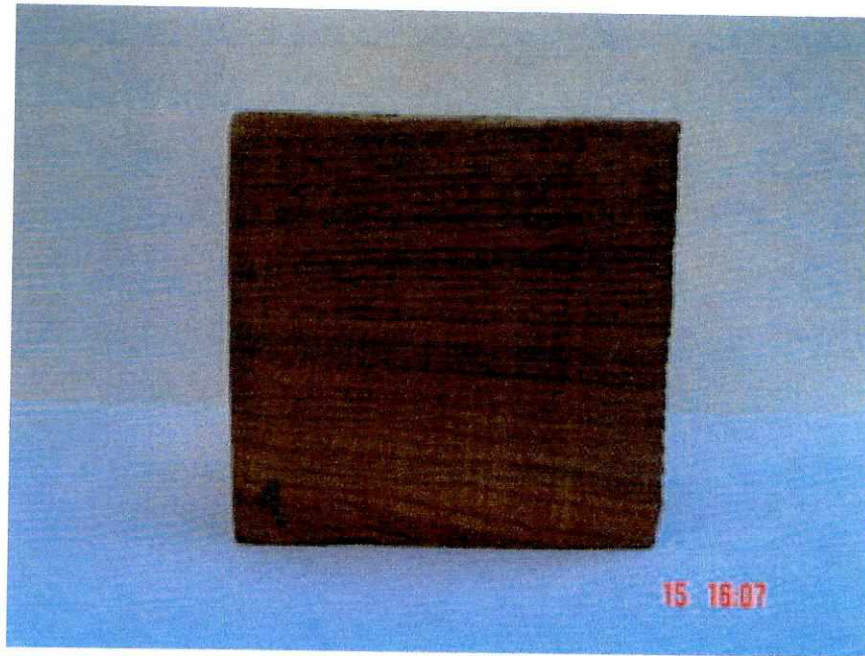
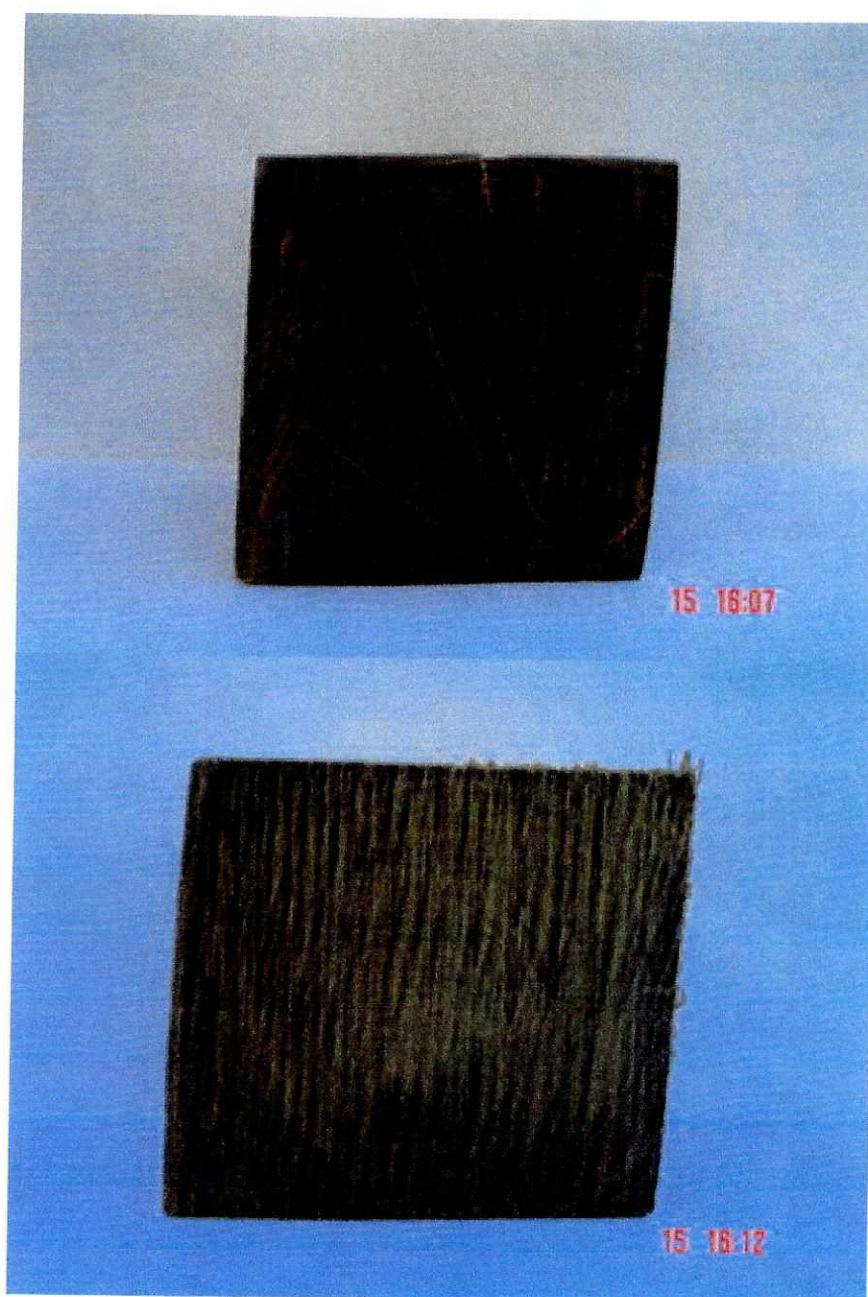


Figura 5.17. Corte tangencial del cornez



Figura 5.18. Corte transversal del cortex



Según el peso específico al 12%, esta especie tiene una madera que se clasifica como extremadamente pesada, como puede verse en el cuadro 3.1. Este valor se mantiene similar al encontrado en la descripción de un género igual que describe Chudnoff (1984).

Cuadro 5.23. Valores de contracción del cortez.

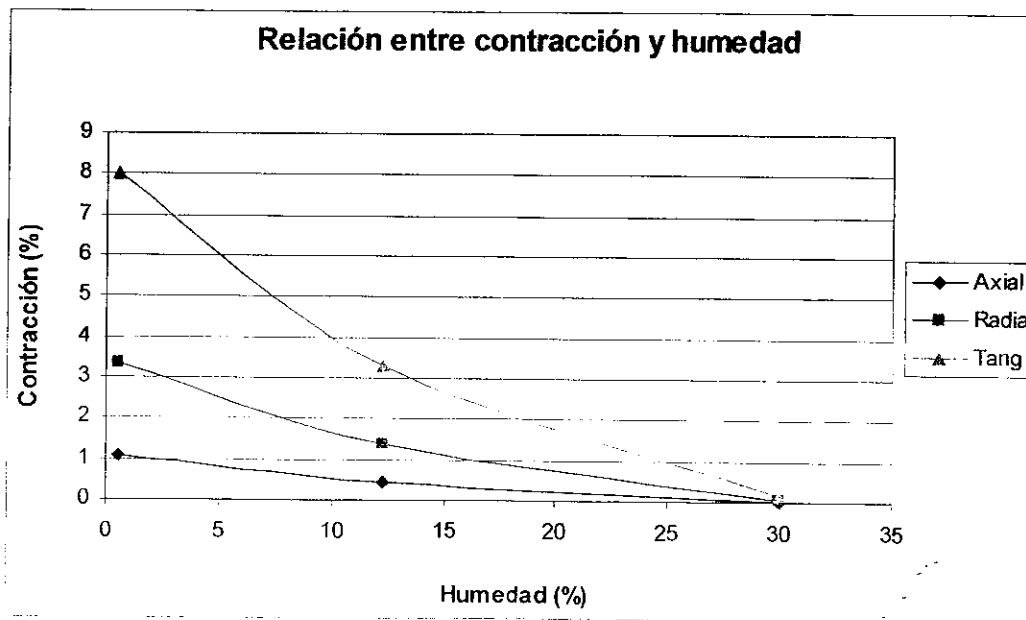
Contracción	Valor medio (%)	Desviación estándar	Coefficiente de variación (%)
Axial	0.45	0.27	59.54
Radial	1.36	0.54	39.80
Tangencial	3.28	2.12	64.66
Volumétrica	5.02	2.37	47.32
CT / CR	2.52	1.47	58.31

El cortez, en su cara axial, no presenta mayor deformación por contracción. Sin embargo, el corte radial de esta madera, según el cuadro 3.2, sufre muy poca contracción, considerándosele muy baja. Así también, su cara tangencial también se contrae muy poco, clasificándose también como muy baja.

En general, el cortez se contrae muy poco al ser sometido a secado, con un valor promedio de 5.02% de contracción en su volumen, esto puede deberse a la textura fina de la madera, que puede almacenar una menor cantidad de agua, que al perderse no produce mayores cambios.

A pesar de su poca contracción en volumen, la razón entre contracción tangencial y radial demuestra un valor de 2.52, lo que significa que es una madera inestable, con presencia de grietas a la hora del secado.

Figura 5.19. Relación entre la contracción y la humedad del cortez



3. Propiedades mecánicas de la madera del cortez.

Cuadro 5.24. Esfuerzos últimos y básicos del cortez.

	Psi (lb/in ²)	kg/cm ²	Esf. básicos (kg/cm ²)	Coef. de var. (%)
Corte radial	2186.91	153.82	18.04	14.59
Compresión paralela a la fibra	12162.93	855.10	112.17	4.49
Dureza	2400 lb	1088.68 kg	145.72 kg	2.55

La falla de compresión paralela a la fibra, generalmente se presentó como una grieta cuneiforme, como puede verse en la figura 3.6.

Cuadro 5.25. Medidas de flexión estática en el cortez.

	Psi (lb/in ²)	kg/cm ²	Esf. básicos kg/cm ²	Desv. estándar	Coef. de var. (%)
MOE	2.74 X 10 ⁶	193,327	193,327	5.56 X 10 ⁴	28.73
MOR	34875	2457.11	259.02	571.28	23.25

MOE = Módulo de elasticidad, MOR = Módulo de ruptura

F. Resumen de resultados

1. Propiedades físicas

Cuadro 5.26. Propiedades físicas de las cinco especies en estudio

Propiedad	Jaboncillo	Malpaiz	Pescadillo	Uruguay	Cortez
Humedad (%)	27.96	18.07	32.07	21.43	12.34
Peso aparente, w_p (gr/cm ³)	0.86	1.01	0.84	1.06	1.16
Peso anhidro, G_o (gr/cm ³)	0.76	0.94	0.68	0.96	1.03
Peso Específico al 12%, G_a (gr/cm ³)	0.72	0.89	0.67	0.89	0.98
Peso Específico al 28%, G_p (gr/cm ³)	0.67	0.86	0.64	0.87	0.90
Peso unitario al 12%, w_a (gr/cm ³)	0.81	1.02	0.75	0.75	1.10
Contracción Axial (%)	0.83	0.85	0.54	0.55	0.45
Contracción Radial (%)	3.78	3.66	1.88	3.10	1.36
Contracción Tangencial (%)	7.81	4.56	3.80	5.07	3.28
Contracción Volumétrica (%)	12.04	8.84	6.10	8.50	5.02
CT / CR	2.20	1.34	2.19	1.74	2.52

Cuadro 5.27. Características organolépticas de las cinco especies en estudio

	Jaboncillo	Malpaiz	Pescadillo	Uruguay	Cortez
Olor	Aromático	Aromático	Ausente	Aromático	Aromático
Color	Amarillento claro.	Generalmente es un color amarillo semi fuerte.	Crema amarillento.	Marrón claro	En corte radial es un color más o menos verde amarillento claro. En corte longitudinal, es un color marrón oscuro
Sabor	No distintivo	No distintivo	No distintivo	No distintivo	Amargo
Grano	Oblicuo a recto	Recto u oblicuo (irregular)	Recto u oblicuo (irregular)	Recto	Recto
Textura	Gruesa, homogénea	Fina, homogénea	Mediana, heterogénea	Mediana, heterogénea	Fina, homogénea

2. Propiedades mecánicas

Cuadro 5.28. Propiedades mecánicas de las cinco especies en estudio (esfuerzos últimos)

Propiedad	Jaboncillo	Malpaiz	Pescadillo	Uruguay	Cortez
Corte radial (kg/cm^2)	88.44	130.56	120.19	126.52	153.82
Compresión paralela a la fibra (kg/cm^2)	467.46	536.29	390.31	586.42	855.10
Compresión perpendicular a la fibra (kg/cm^2)	250.462	253.17	297.92	278.96	-
Dureza (kg)	456.74	690.34	420.16	727.21	1088.68
Módulo de Elasticidad (kg/cm^2)	132,173	169,654	126,255	171,628	193,327
Módulo de ruptura (kg/cm^2)	1347.45	1479.55	713.35	1638.07	2457.11

Cuadro 5.29. Propiedades mecánicas de las cinco especies en estudio (esfuerzos básicos)

	Jaboncillo	Malpaiz	Pescadillo	Uruguay	Cortez
Corte radial (kg/cm^2)	23.70	25.15	35.84	25.5	18.04
Compresión paralela a la fibra (kg/cm^2)	138.84	101.09	121.72	134.57	112.17
Compresión perpendicular a la fibra (kg/cm^2)	67.08	46.39	83.12	63.58	-
Dureza (kg)	144.41	121.13	127.83	161.34	145.72
Módulo de elasticidad (kg/cm^2)	132,173	169,654	126,255	171,628	193,327
Módulo de ruptura (kg/cm^2)	411.70	269.63	221	332.81	259.02

VI. CONCLUSIONES

A. Propiedades físicas

1. Características organolépticas. La madera del jaboncillo, es de un color amarillento claro, que desprende un olor aromático y que no se le distingue sabor; su grano va de oblicuo a recto y tiene una textura gruesa y homogénea. El malpaiz se distingue por un color amarillo semifuerte, con olor aromático y sin sabor; el grano de su madera es irregular, es decir, que en algunas partes es recto y en otras, oblicuo; y su textura es fina y homogénea. La madera del pescadillo no tiene olor ni sabor distintivo, es de un color crema amarillento, con un grano irregular y textura mediana, heterogénea. El uruguay también tiene una madera aromática, de color marrón claro, un poco rosada; presenta grano recto y textura mediana y heterogénea. El cortez posee una madera aromática y de sabor amargo; en su corte inmediato radial, muestra un color verde claro, mientras que en cortes debidamente cepillados, es de color marrón oscuro; tiene grano recto y una textura fina y homogénea.

2. Peso específico. Según las descripciones del capítulo anterior, la madera más pesada es la del cortez, cc. un peso específico de 0.98 gr/cm^3 . Una descripción hecha por Chudnoff (1984) demuestra que el peso específico del género *Tabebuia* oscila entre 0.85 y 0.97 gr/cm^3 , sin embargo, un estudio realizado por el Centro Amazónico de Desarrollo Forestal, CADEFOR, en Bolivia, registra valores hasta de 1.05 gr/cm^3 . Por lo tanto, el peso específico del Cortez, *Tabebuia chrysantha*, es aceptable dentro de lo registrado en otras investigaciones.

El jaboncillo, el pescadillo y el uruguay son especies de la misma familia (*Sapindaceae*). Las dos primeras son las de menor peso y de color similar, aún no se han encontrado datos registrados de estos géneros en relación a su peso. Pero Llach (1996), establece el peso específico de otro género de la misma familia, *Cupania*, aproximadamente de 0.6 gr/cm^3 , similar al encontrado en estas dos especies, 0.67 gr/cm^3 para el pescadillo y 0.72 gr/cm^3 para el jaboncillo.

El uruguay posee una madera muy pesada (0.89 gr/cm^3), en comparación con el pescadillo y el jaboncillo. Una especie del mismo género, *Talisia esculenta*, registra un valor de 0.94 gr/cm^3 (CADEFOR 2002), un poco más pesada que el uruguay, pero ambas se clasifican como extremadamente pesadas:

El malpaiz, de la misma familia que el manchiche, presenta una madera muy pesada también, con características visibles sobresalientes, ya que presenta un color amarillento uniforme, como puede verse en la figura 5.4. Se ha encontrado que el peso específico de este género, *Lonchocarpus*, está

entre 0.62 y 0.76 gr/cm³ (Chudnoff, 1984 y CADEFOR, 2002), sin embargo esta especie presentó un valor más alto, 0.89 gr/cm³.

3. **Contracciones.** Analizando la contracción volumétrica de las cinco especies de madera, la que sufrió una mayor contracción fue la del jaboncillo con un valor de 12.04%, seguida por el malpaiz (8.84%) y el uruguay (8.50%). En volumen, las especies más estables fueron el pescadillo y el cortez, es decir que su volumen no presentó una contracción muy notable, con valores de 6.10 y 5.02% respectivamente.

El pescadillo y el jaboncillo son maderas moderadamente estables que necesitan especial atención durante el secado, ya que pueden formar grietas y deformarse en volumen.

El malpaiz, presentó contracciones un poco más bajas que otras especies de este mismo género, que generalmente se encontraron con valores aproximadamente de 4% para contracción radial, 8% para tangencial y 12% ó 13% para contracción volumétrica, mientras que el malpaiz mostró 3.6% en radial, 4.6% en tangencial y 8.8% en volumen; valores más bajos que los registrados.

El uruguay, mostró contracciones más bajas que las encontradas para *Talisia esculenta* (CADEFOR, 2002). Sin embargo ambas, *T. esculenta* y *T. olivaeformis*, tienen una relación CT / CR muy parecida, que las clasifica como maderas estables, aunque pueden formar grietas a la hora del secado como puede verse en las figuras 5.12 y 5.13.

Otras especies del género *Tabebuia*, muestran valores entre 3% y 7% de contracción radial, entre 5% y 10% de contracción tangencial y entre 9% y 18% de contracción volumétrica. El cortez, tiene valores de contracción más bajos, como pueden verse en el cuadro 5.23, pero su relación CT / CR fue más alta, por lo que se considera una madera más inestable que las encontradas en Chudnoff (1984) y CADEFOR (2002). Esta inestabilidad puede observarse en la figura 5.18, donde la probeta presenta formación de grietas después del secado.

B. Propiedades mecánicas

La madera con mayor resistencia fue el cortez, mostrando sus valores más altos en esfuerzos últimos: 153.8 kg/cm² en corte, 855.10 kg/cm² en compresión paralela a la fibra, 1088.7 kg en dureza y 2457.1 kg/cm² en módulo de ruptura por flexión. Esto puede deberse a que es la especie con mayor peso específico. Le sigue el uruguay, con los siguientes valores: 126.52 kg/cm² en corte, 586.4 kg/cm² en

compresión paralela a la fibra, 278.96 kg/cm² en compresión perpendicular a la fibra, 727.21 kg en dureza y 1638.07 kg/cm² en módulo de ruptura por flexión.

El malpaiz muestra estos esfuerzos últimos: 130.56 kg/cm² en corte, 536.29 kg/cm² en compresión paralela a la fibra, 253.17 kg/cm² en compresión perpendicular a la fibra, 690.34 kg/cm² en dureza y 1479.55 kg/cm² en módulo de ruptura por flexión.

En esfuerzo de corte y de compresión perpendicular a la fibra, el pescadillo tiene valores más altos que el jaboncillo, 120.19 kg/cm² y 297.92 kg/cm², respectivamente para el primero, y 88.44 kg/cm² y 250.46 kg/cm² para el segundo. En los demás esfuerzos, el jaboncillo se mostró más resistente: 467.46 kg/cm² en compresión paralela a la fibra, mientras que el pescadillo, 390.31 kg/cm²; 456.74 kg en dureza, mientras que el pescadillo 420.16 kg y 1347.45 kg/cm² en módulo de ruptura, mientras que el pescadillo, 713.35 kg/cm².

El módulo de elasticidad es una medida de rigidez, los siguientes valores muestran desde la madera más rígida a la menos rígida: cortez, 1.93×10^5 kg/cm²; uruguay, $1.71 \cdot 10^5$ kg/cm²; malpaiz, $1.69 \cdot 10^5$ kg/cm²; jaboncillo, $1.32 \cdot 10^5$ kg/cm² y pescadillo, $1.26 \cdot 10^5$ kg/cm².

VII. RECOMENDACIONES DE USO

Según las características mostradas por cada tipo de madera, tomando en cuenta su color, su peso específico, su resistencia y su estabilidad, pueden sugerirse los siguientes usos para cada una:

- Jaboncillo: puede utilizarse principalmente para postes y pilotes, ya que tiene un peso específico mayor de 0.6gr/cm^3 , y una relación CT / CR de 2.2, valores necesarios para estos usos, tal como se muestra en el apartado A. 6 del capítulo III. Debido a esto, también puede usarse en construcciones rurales. A pesar de presentar un buen comportamiento al trabajo con máquina de carpintería, no tiene la estabilidad necesaria para utilizarse en carpintería general.
- Malpaiz: es una madera con buena vista y buen color, con textura fina y homogénea, además de tener buena estabilidad. A pesar de presentar un poco de dificultad al trabajo con máquinas de carpintería, puede utilizarse para fabricación de todo tipo de muebles y carpintería en general. Es una madera altamente resistente, por lo que también puede utilizarse en la construcción en general, para durmientes postes y pilotes.
- Pescadillo: según su peso específico y su moderada estabilidad, es una madera que puede utilizarse para durmientes y postes, algunas veces puede usarse para mangos de herramienta, construcciones rurales y ocasionalmente para carpintería.
- Uruguay: puede usarse para la construcción en general, pero no se usa en carpintería por su alta susceptibilidad a la formación de grietas durante el secado. También puede usarse en la fabricación de artesanías, por el color y el veteado que muestra en su corte tangencial y que no presenta mayor dificultad de trabajo en máquina.
- Cortez: se recomienda para el uso de construcción en general, así como para pisos, postes, pilotes y durmientes, debido a su alta resistencia y soporte de carga. Presenta una coloración marrón oscuro que puede ser atractivo para la fabricación de muebles; sin embargo debe tenerse cuidado, ya que es un poco inestable en la formación de grietas.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

- Benítez, R.F. & J. Montesinos. 1988. Catálogo de 100 especies forestales de Honduras: distribución, propiedades y usos. Escuela Nacional de Ciencias Forestales –ESNACIFOR. Siguatepeque, Honduras. 216 pp.
- Bodig, J. & B. A. Jayne. 1982. Mechanics of wood and wood composites. Van Nostrand Reinhold Company Inc. New York. 712pp
- CADEFOR. 2002. Información técnica para el procesamiento industrial de 134 especies maderables de Bolivia. [En línea]. Proyecto FAO-GCP / BOL / 028 / NET. CADEFOR. Centro Amazónico de Desarrollo Forestal. Disponible en: <http://www.cadefor.org/es/especies/ficha.asp?cesp=112>. [Consulta: enero 24 de 2004].
- Casasola, C.R. 1988. Anatomía y propiedades físicas de las maderas *Calophyllum brasiliense*, *Vochysia hondurensis* y *Symphonia globulifera*. Tesis Licenciatura en Agronomía. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. 112 pp.
- Chudnoff, M. 1984. Tropical Timbres of the World. Agriculture handbook Number 607. Department of Agriculture, Forest Service. Washington. 466pp.
- CTEF. 1972. Estudio de las Propiedades Físico Mecánicas y Estructura Anatómica de 7 especies de Pino de Guatemala. Centro Técnico de Evaluación Forestal. Guatemala. 114pp.
- Davis, H., G. Troxell y C. Wiskocil. 1982. Ensaye e inspección de los materiales en ingeniería. 9ª. Impresión. C. A. Editorial Continental S.A. de C.V. México D.F. 576pp.
- Globe. 2003. Soil Investigation. Soil Caracterización. [En línea]. UCAR / CSU whit support from NASA, NSF and the US Department of State. Disponible en <http://www.globe.gov/hq/trr/spanish/1>. [Consulta: enero 25 de 2004].
- Gurfinkel, G. 1981. Word engineering. 2ª. Edition. Kendall / Publishing Company. Iowa. 552pp.
- Herrera, E. 1991. Propiedades Físico-Mecánicas de tres especies de maderas de Petén: plumajillo, danto y lagarto. Tesis Ingeniería Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. 101 pp.
- Martínez, H. 1989. El componente forestal en los Sistemas de finca de pequeños agricultores. CATIE. Turrialba, C. R. 79pp.
- Niembro, A. 1986. Árboles y arbustos útiles de México. Limusa. México, D. F. 206 pp.
- Pennington, T.D. & J. Sarukhán. 1998. Árboles Tropicales de México. Segunda edición. Ediciones Científicas Universitarias. México D.F. 521 pp.
- Pérez, D., R. Espinoza, A. Masís, A. Guadamuz y F. Chavarría. 1998. Species Page de *Lonchocarpus guatemalensis* (Fabaceae). 20 mayo 1998. [En línea]. Species Home Pages. Area de Conservación Guanacaste, Costa Rica. Disponible en: <http://www.acguanacaste.ac.cr>. [Consulta: enero 24 de 2004].

- Samayoa, M. 1972. Estudio preliminar de las propiedades físico-mecánicas de 7 especies de pino de Guatemala. Tesis Ingeniería Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. 156 pp.
- Standley, P. C. 1946. Leguminosae in Flora of Guatemala. Fieldiana: Botany. Volume 24: part V. Chicago Natural History Museum. Chicago. 367pp.
- Standley, P. C. & J. Steyermark. 1949. Sapindaceae in Flora of Guatemala. Fieldiana: Botany. Volume 24: part IV. Chicago Natural History Museum. Chicago. 275pp.
- Valdes, H.C. 1988. Anatomía y propiedades físicas de la madera *Lonchocarpus latifolius* (Willd) HBK, *Terminalia amazonia* (J.F. Gmel) y *Pouteria gallifruta* Cronquist. Tesis Licenciatura en Agronomía. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. 49pp.

IX. APÉNDICES

- A. Datos de peso y volumen a diferentes contenidos de humedad
- B. Modelos de regresión de peso y volumen de cada especie
- C. Calibración de la compresora manual
- D. Credencial de consumo familiar para extracción de las maderas

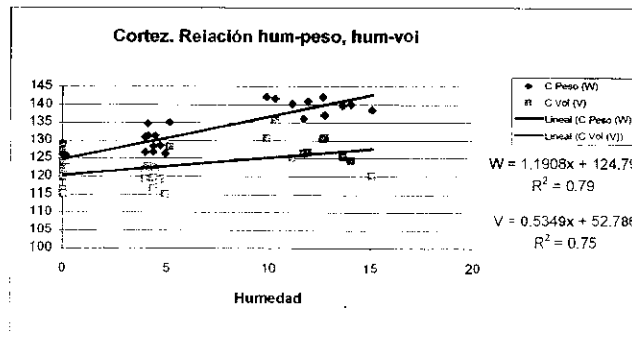
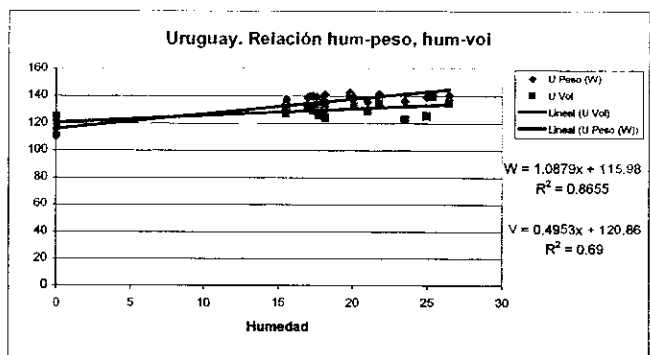
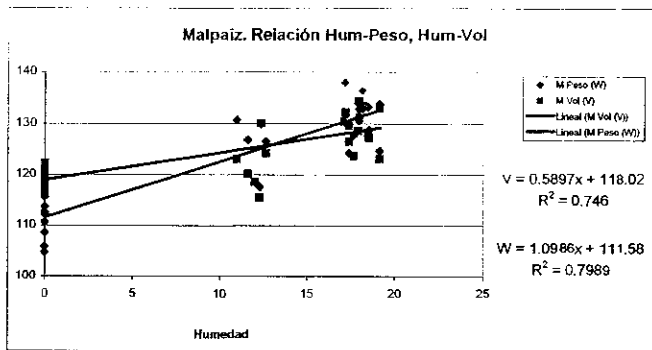
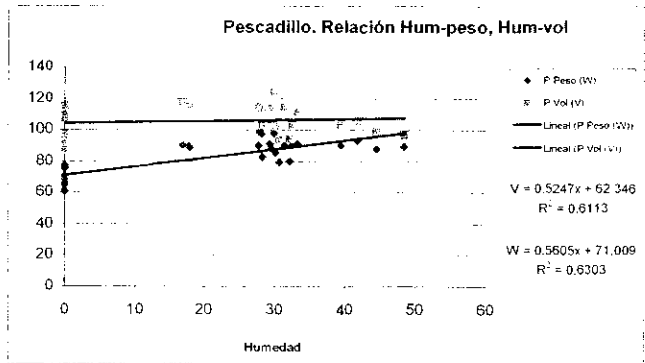
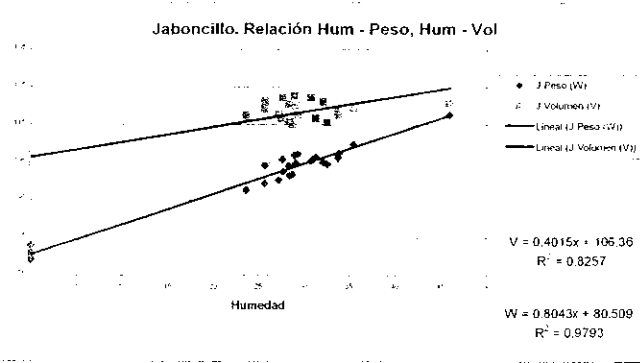
APÉNDICE A

Datos de peso y volumen a diferentes contenidos de humedad

Estado de la muestra	Humedad (%)	Jaboncillo		Malpaiz		Pescadillo		Uruguay		Cortez	
		Peso W (gr.)	Volumen V (cm ³)	Peso W (gr.)	Volumen V (cm ³)	Peso W (gr.)	Volumen V (cm ³)	Peso W (gr.)	Volumen V (cm ³)	Peso W (gr.)	Volumen V (cm ³)
Verde	Entre 20 y 30%	103.01	117.23	131.55	130.16	90.02	107.85	139.77	131.95	160.51	138.64
Seca al aire	Aprox. 12%	90.16	111.18	127.38	124.39	77.74	103.13	129.03	126.80	139.84	127.54
Seca al horno (anhidra)	0%	80.50	105.87	111.42	118.63	68.64	101.38	115.19	120.58	124.51	120.66

APÉNDICE B

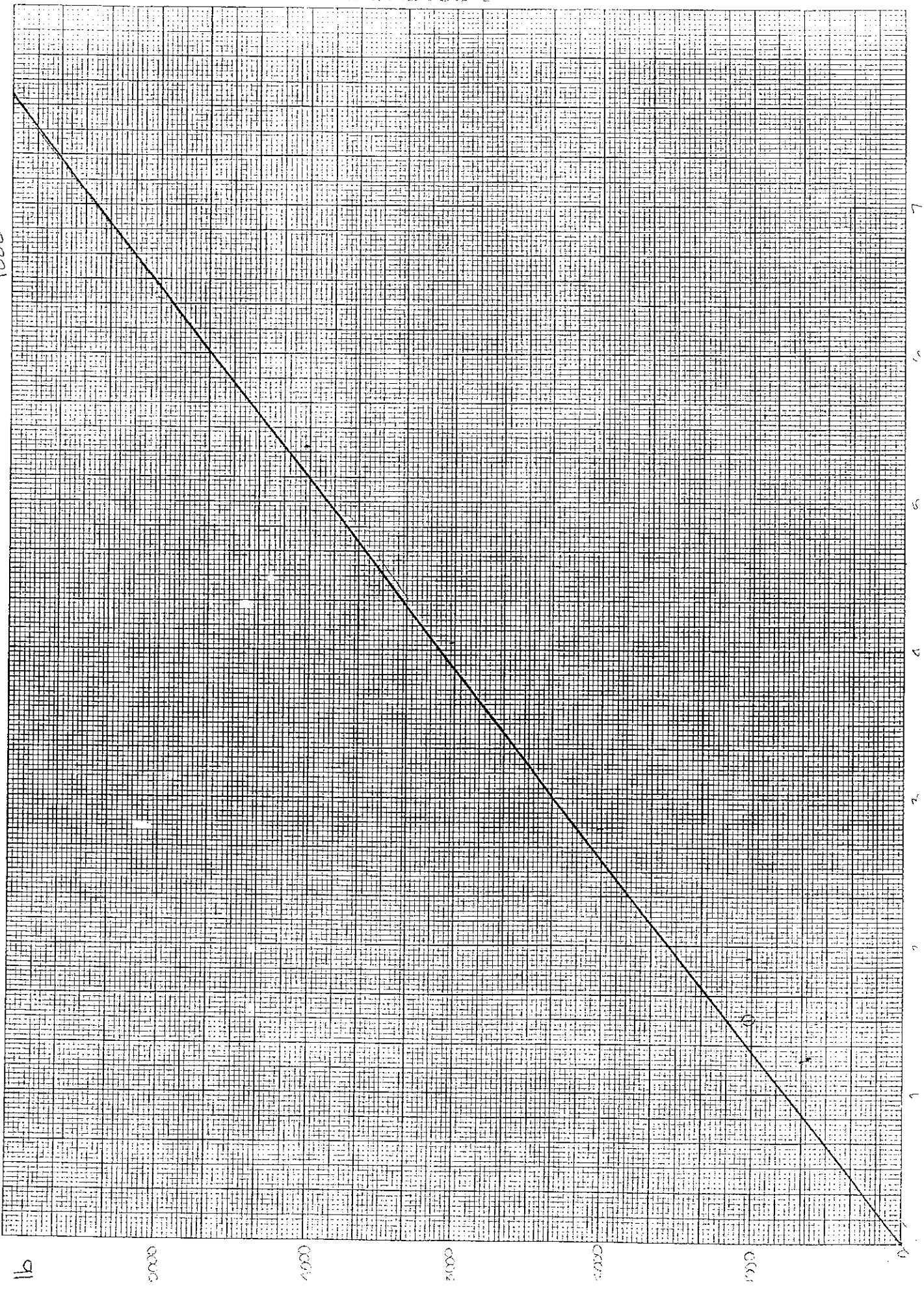
Modelos de regresión de peso y volumen de cada especie



$N^{\circ} \text{ VUELTAS} = \frac{\text{CARGA} \times \frac{1}{3}}{1000}$

CALIBRACIÓN EN UN BERSAL

18 X 25 CM.





APENDICE D

INSTITUTO NACIONAL DE BOSQUES REGION FORESTAL III CREDENCIAL PARA CONSUMO FAMILIAR

SUB REGION: III-2	No. CONSUMO FAMILIAR: 061	CODIGO: DSR-III-2-CF-061-2003
Lugar y Fecha: Zacapa, 12 de Septiembre de 2,003.		

DATOS GENERALES DEL SOLICITANTE:

Nombre: Lis Regina Lima Cordón	
Cédula de vecindad No. De orden: A-1	Registro: 1,053,589
Extendida en la municipalidad de: Guatemala	Ocupación: Estudiante
Dirección: 18 Calle 29-01 Zona 18, Colonia Santa Elena III	
Municipio: Guatemala	Departamento de: Guatemala

DATOS DEL TERRENO DONDE SE REALIZARA EL APROVECHAMIENTO DE CONSUMO FAMILIAR

Nombre del terreno: El Zancudo	Area del terreno: 5.00 Has.
Ubicación: Aldea El Rosario	
Municipio: Río Hondo	Departamento ZACAPA

De conformidad con el informe de la inspección de campo efectuada se autoriza el presente permiso de consumo familiar de acuerdo al cuadro siguiente:

ESPECIE	No. DE ÁRBOLES	DAP (CMS)	ALTURA MEDIA	VOLUMEN EN MTRS3	DISTRIBUCION DEL PRODUCTO	
					TROZA	LEÑA
JURGAY	05	0.3	8	1.70	1.20	0.5
ZORRILLO	05	0.3	8	1.70	1.20	0.5
MALPAIZ	05	0.3	8	1.70	1.20	0.5
CORTEZ	05	0.3	8	1.70	1.20	0.5
JABONCILLO	05	0.3	8	1.70	1.20	0.5
TOTAL	25			8.50	6.00	2.5

LA VIGENCIA DE ESTE PERMISO COMPRENDE DEL:

12 - 09 - 2003 AL 11 - 10 - 2003

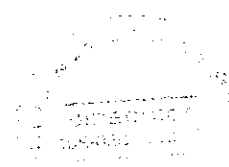
PERIODO IMPRRORROGABLE.....

EL BENEFICIARIO DEL PERMISO QUEDA OBLIGADO A CUMPLIR CON LAS SIGUIENTES CONDICIONES:

1. Cortar únicamente los árboles marcados por el INAB.
2. No extralimitarse en el volumen y especies autorizadas.
3. No vender o ceder el producto del presente permiso.
4. Plantar por lo menos 10 arbolitos por cada árbol cortado (según compromiso de la solicitud)
5. Cumplir con las demás disposiciones que le señale el INAB.

EL INCUMPLIMIENTO A CUALQUIERA DE LAS RECOMENDACIONES ANTERIORES SERA MOTIVO DE SANCION CONFORME LAS LEYES VIGENTES.

José Luis González de León
Director Sub-Regional III-2
INAB, Zacapa



REGION III
ZACAPA
Col. Bosques de San Julian
500 mts. del Estadio
Tel. 941-3431
Subregión III-1 Izabal
Subregión III-2 Zacapa
Subregión III-3 Chiquimula
Subregión III-4 Progreso
e-mail
region3@inab.gob.gt

C.c. Archivo