



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHAPINGO
DIVISIÓN DE CIENCIAS FORESTALES
MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES

**PROPIEDADES TECNOLÓGICAS DE LAS MADERAS DE *Cedrela odorata* L
e *Hymenaea oblongifolia* Huber DEL CHOCÓ-COLOMBIA, MEDIANTE
MÉTODO NO DESTRUCTIVO**

Tesis de Maestría



*Que como requisito parcial, para optar al título
de Maestra en Ciencias en Ciencias Forestales*

DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

Presenta:

YESSIKA BIASNEY SERNA MOSQUERA

Chapingo, Texcoco, Edo. de México

Abril de 2009



PROPIEDADES TECNOLÓGICAS DE LAS MADERAS DE *Cedrela odorata* L e *Hymenaea oblongifolia* Huber DEL CHOCÓ-COLOMBIA, MEDIANTE MÉTODO NO DESTRUCTIVO.

Tesis realizada por YESSIKA BIASNEY SERNA MOSQUERA, bajo la dirección del comité asesor indicado abajo,

Directora:



DRA. AMPARO BORJA DE LA ROSA

Asesor:



M.C. MARIO FUENTES SALINAS

Asesor:



M.C. ALEJANDRO CORANO AMBRIZ

AGRADECIMIENTOS

La autora de esta investigación expresa sus agradecimientos:

A Dios primero que todo, que me ha dado las fuerzas y entereza para luchar por los retos y sueños impuestos en la vida y enfrentarla con todas las fuerzas permisibles.

A mis padres: *Agustín Serna y Delia Mosquera*, por darme la vida y hacerme una persona de bien y de lucha constante.

A la Dra. *Amparo Borja de la Rosa* por su colaboración y asesoría, al igual que al M.C. *Mario Fuentes Salinas* y M.C. *Alejandro Corona Ambríz* por su asesoría.

A la Dra. *Alicia Ríos Hurtado* por su apoyo incondicional el cual me ha encaminado a lograr hechos importantes en la vida.

A *Plácido Salomón Álvarez López* por su apoyo y colaboración incondicional.

A mis *familiares y amigos* en general por su apoyo y colaboración en las cosas a que me enfrente en la vida como este proyecto por ejemplo.

A la *Universidad Autónoma Chapingo* por la oportunidad de formarme como master en esta institución, al laboratorio de anatomía y tecnología de la madera de la División de Ciencias Forestales y al laboratorio de ecología del Departamento de Fitotecnia, por su apoyo y colaboración para los experimentos.

A la *Universidad Tecnológica del Chocó “D.L.C “* y la *Nuffic* de Holanda por su apoyo y colaboración.

Al señor *Francisco Pérez Cuevas* por su valiosa colaboración.

DEDICATORIA

A Dios, por regalarme la vida, a mis padres quienes decidieron darme la vida, brindarme la oportunidad de educarme y salir adelante superando todas las dificultades a las cuales hay que enfrentarse en la vida cotidiana , a la vida misma que me regala cosas maravillosas día a día, me enfrenta a mi misma y a los retos de superación y me llena de fuerza para librar los obstáculos y forjarme mas fuerte y valiente en mi intento de lucha constante de crecimiento personal y profesional y me enfrenta al resto del mundo y no dejarme amedrentar por las dificultades.

DATOS BIOGRÁFICOS

La autora de esta investigación es originaria del municipio de Bagadó, Departamento del Chocó, Colombia. Estudió su pregrado en la Universidad Tecnológica del Chocó “Diego Luís Córdoba”, con sede en la ciudad de Quibdó la carrera de Ingeniera Agroforestal. Egresó en octubre de 2003. Su título de tesis fue, Evaluación de Sustratos Orgánicos Resultantes de la Producción de la Seta *Pleurotus sajor caju*, para la Producción de Plantas Medicinales y Alimenticias.

En el año 2004, realizó el Diplomado “Didáctica a la Educación Superior”, con una carga horaria de 240 horas, impartido por la Universidad Tecnológica del Chocó, Colombia-Universidad Pinar del río, Cuba.

Fue Joven Investigadora del Programa de Formación de Jóvenes Investigadores Universidad Tecnológica del Chocó-COLCIENCIAS, en el año de 2004.

Es Investigadora del grupo de Investigación en Sistemas Productivos de la Universidad Tecnológica del Chocó-Colciencias, en el cual se han publicado algunos artículos en revistas, seminarios y congresos.

Es Docente de la Universidad Tecnológica del Chocó “Diego Luís Córdoba”, mediante resolución de Octubre de 2006.

CONTENIDO

	Pág.
ÍNDICE DE TABLAS.....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
ÍNDICE DEL APENDICE.....	XIII
 1. INTRODUCCIÓN	 1
2. OBJETIVOS.....	3
2.1 General.....	3
2.2 Específicos	3
3. DESCRIPCIÓN DE LAS ESPECIES.....	4
3.1 Cedro (<i>Cedrela odorata</i> L.).....	4
3.1.1 Clasificación sistemática.....	4
3.1.2 Descripción botánica.....	5
3.1.3 Distribución	5
3.1.4 Ecología.....	6
3.1.5 Usos e importancia	6
3.2 Algarrobo (<i>Hymenaea oblongifolia</i> Huber)	7
3.2.1 Clasificación sistemática.....	7
3.2.2 Descripción botánica.....	8
3.2.3 Distribución	8
3.2.4 Ecología.....	8
3.2.5 Usos e importancia	9
4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	9
4.1 Antecedentes descriptivos de las propiedades tecnológicas de la madera de cedro (<i>Cedrela odorata</i> L.).....	9
4.2 Antecedentes descriptivos de las propiedades tecnológicas de la madera de algarrobo (<i>Hymenaea oblongifolia</i> Huber)	13
5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	16
5.1 Materiales.....	16
5.1.1 Descripción del área de colecta.....	16
5.1.2 Colecta del material	20
5.2 Métodos.....	22
5.2.1 Colecta del material (Método no destructivo).....	22

5.2.2 Trabajo de laboratorio.....	23
5.2.3 Caracterización anatómica microscópica de las maderas	25
5.2.4 Índices de calidad de pulpa para papel.....	28
5.2.5 Densidad de las maderas estudiadas	29
5.2.5.1 Densidad básica	29
5.2.5.2 Densidad normal.....	30
5.2.5.3 Determinación de la zona de transición de madera juvenil a madura.....	32
5.2.6 Determinación del poder calorífico de las maderas	34
5.2.6.1 Obtención de muestras.....	34
5.2.6.2 Proceso de combustión	34
5.2.6.3 Corrección ácida (Por formación de ácido nítrico)	35
5.2.6.4 Calculo del poder de combustión.....	36
5.2.7 Propiedades mecánicas.....	37
5.2.8 Elaboración de fichas tecnológicas.....	39
5.2.9 Medición de elementos constitutivos y determinación del tamaño de la muestra.....	39
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	41
6.1 Características anatómicas microscópicas de la madera de cedro (<i>Cedrela odorata</i> L).....	41
6.2 Características anatómicas microscópicas de la madera de algarrobo (<i>Hymenaea oblongifolia</i> Huber).	46
6.3 Índices de calidad de pulpa para papel de la madera de cedro (<i>Cedrela odorata</i> L).....	51
6.4 Índices de calidad de pulpa para papel de la madera de algarrobo (<i>Hymenaea oblongifolia</i> Huber)	52
6.5 Densidad básica de las maderas estudiadas	53
6.5.1 Densidad básica de la madera de cedro (<i>Cedrela odorata</i> L).....	53
6.5.2 Densidad básica de la madera de algarrobo (<i>Hymenaea</i> <i>oblongifolia</i> Huber).	55
6.6 Zona de transición de la madera juvenil a madura	57
6.6.1 Zona de transición de la madera juvenil a madura de cedro (<i>Cedrela odorata</i> L).	58
6.6.2 Zona de transición de la madera juvenil a madura de algarrobo (<i>Hymenaea oblongifolia</i> Huber).....	59
6.7 Poder calorífico de las maderas estudiadas.....	61
6.7.1 Poder calorífico de la madera de cedro (<i>Cedrela odorata</i> L)	61
6.7.2 Poder calorífico de la madera de algarrobo (<i>Hymenaea</i> <i>oblongifolia</i> Huber).	64
6.8 Propiedades mecánicas de las maderas estudiadas	67
6.8.1 Propiedades mecánicas de la madera de cedro (<i>Cedrela odorata</i> L)	67
6.8.2 Propiedades mecánicas de la madera de algarrobo (<i>Hymenaea</i> <i>oblongifolia</i> Huber)	70

6.9 Usos potenciales posibles para las maderas de cedro (<i>Cedrela odorata</i> L) y algarrobo (<i>Hymenaea oblongifolia</i> Huber) para la zona de estudio.	72
6.10 Fichas tecnológicas de las maderas	76
7. CONCLUSIONES	81
8. RECOMENDACIONES	83
9. LITERATURA CITADA	84
10. APENDICE.....	93

ÍNDICE DE TABLAS.

	Pág
Tabla 1. Características dendrométricas de los árboles de cedro (<i>Cedrela odorata</i> L), colectados para la investigación.....	21
Tabla 2. Características dendrométricas de los árboles de algarrobo (<i>Hymenaea oblongifolia</i> Huber), colectados para la investigación.....	21
Tabla 4. Características microscópicas de la madera de cedro (<i>Cedrela odorata</i> L)	42
Tabla 5. Valores longitudinales y diametrales de las fibras de la madera de cedro (<i>Cedrela odorata</i> L).....	44
Tabla 6. Clasificación de los elementos celulares de la madera de cedro (<i>Cedrela odorata</i> L).....	44
Tabla 7. Características microscópicas de la madera de algarrobo (<i>Hymenaea oblongifolia</i> Huber).	47
Tabla 8. Dimensiones longitudinales y diametrales de las fibras de la madera de algarrobo (<i>Hymenaea oblongifolia</i> Huber).	49
Tabla 9. Clasificación de los elementos celulares de la madera de algarrobo (<i>Hymenaea oblongifolia</i> Huber).	49
Tabla 10. Índice de calidad de pulpa para papel de la madera de cedro (<i>Cedrela odorata</i> L).....	52
Tabla 11. Índices de calidad de pulpa para papel de la madera de algarrobo (<i>Hymenaea oblongifolia</i> Huber).	53
Tabla 12. Poder calorífico de la madera de cedro (<i>Cedrela odorata</i> L).....	62
Tabla 13. Capacidad calórica de la madera de cedro (<i>Cedrela odorata</i> L)	64
Tabla 14. Poder calorífico de la madera de algarrobo (<i>Hymenaea oblongifolia</i> Huber).....	65

Tabla 15. Capacidad calórica de la madera de algarrobo (<i>Hymenaea oblongifolia</i> Huber).....	67
Tabla 16. Propiedades mecánicas la madera de cedro (<i>Cedrela odorata</i> L), calculadas con coeficientes matemáticos a partir de la densidad básica y la densidad normal.	69
Tabla 17. Propiedades mecánicas de la madera de algarrobo (<i>Hymenaea oblongifolia</i> Huber), calculadas con coeficientes matemáticos a partir de la densidad básica y la densidad de normal.	71
Tabla 18. Usos potenciales a los que puede ser sometida la madera de cedro (<i>Cedrela odorata</i> L) en el desarrollo de la industria maderera en la región, requisitos y propiedades deseables. (Tomadas de usos dados en bibliografía revisada, sobre regiones parecidas).....	73
Tabla 19. Usos potenciales a los que puede ser sometida la madera de algarrobo (<i>Hymenaea oblongifolia</i> Huber) en el desarrollo de la industria maderera en la región, requisitos y propiedades deseables, (tomadas de usos dados en bibliografía revisada, sobre regiones parecidas).	74
Tabla 20. Ficha técnica de la madera de cedro (<i>Cedrela odorata</i> L).....	77
Tabla 21. Ficha técnica de la madera de algarrobo (<i>Hymenaea oblongifolia</i> Huber).....	79

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ubicación del municipio de Bagadó, en el Depto. del Chocó y el depto. Chocó en Colombia.....	18
Figura 2. Árbol de algarrobo, colecta de cilindros.....	19
Figura 3. Esquema de seccionado de los cilindros obtenido al DAP, para los diferentes procedimientos en el estudio.....	22
Figura 4. Preparación para cortes y obtención muestras para disociado y densidad.....	24
Figura 5. Proceso de disociación de muestras.....	26
Figura 6. Secado de muestras para peso anhidro.....	27
Figura 7. Proceso de combustión.....	31
Figura 8. Titulación por ácido nítrico.....	35
Figura 9. Características microscópicas de la madera de cedro (<i>Cedrela odorata</i> L).....	36
Figura 10. Características anatómicas de la madera de algarrobo (<i>Hymenaea oblongifolia</i> Huber).....	45
Figura 11. Densidad básica promedio de siete árboles de cedro (<i>Cedrela odorata</i> L).....	50
Figura 12. Comportamiento de la densidad básica de cedro (<i>Cedrela odorata</i> L).....	54
Figura 13. Comportamiento de la densidad básica de la Madera de algarrobo (<i>Hymenaea oblongifolia</i> Huber).....	55
Figura 14. Variación del Poder calorífico de la zona médula, intermedio y corteza de cedro (<i>Cedrela odorata</i> L).....	56
Figura 15. Variación del Poder calorífico de la zona médula, intermedio y corteza de algarrobo (<i>Hymenaea oblongifolia</i> Huber).....	57

Figura 16. Sección de transición de la madera juvenil a madura Considerando la densidad básica de cedro (<i>Cedrela odorata</i> L).....	58
Figura 17. Cuadrados medios de error de la madera de cedro (<i>Cedrela odorata</i> L).....	59
Figura 18. Sección de transición de la madera juvenil a madura considerando la densidad básica de algarrobo (<i>Hymenaea oblongifolia</i> Huber).....	60
Figura 19. Cuadrados medios de error de la madera de algarrobo (<i>Hymenaea oblongifolia</i> Huber), colectada en el municipio de Bagadó, Chocó.....	61
Figura 20. Variación del poder calorífico de la zona médula, intermedio y corteza de cedro (<i>Cedrela odorata</i> L).....	63
Figura 21. Variación del poder calorífico de la zona médula, intermedio y corteza de algarrobo (<i>Hymenaea oblongifolia</i> Huber).....	66

ÍNDICE DEL APENDICE

	Pág.
Anexo 1. Medida de la densidad básica.....	94
Anexo 2. Clasificación de la longitud de las fibras.....	94
Anexo 3. Clasificación del diámetro de las fibras.....	94
Anexo 4. Clasificación del Espesor de la pared celular.....	95
Anexo 5. Clasificación de distribución de la porosidad.....	95
Anexo 6. Clasificación de la agrupación de la porosidad.....	96
Anexo 7. Clasificación de la longitud de vasos.....	96
Anexo 8. Clasificación del diámetro de los vasos.....	97
Anexo 9. Clasificación del espesor de los radios.....	97
Anexo 10. Clasificación de la altura de los radios.....	97
Anexo 11. Clasificación de la relación de Runkel ($2w / l$).....	98
Anexo 12. Clasificación de las propiedades mecánicas de las maderas.....	98
Anexo 13. Clasificación de las características mecánicas de maderas Mexicanas (CH 12%).....	99
Anexo 14. Clasificación de la compresión perpendicular al 12% de CH.....	99
Anexo 15. Clasificación de la compresión paralela al 12% de CH.....	99
Anexo 16. Ecuación de densidad básica y relación de esfuerzos para maderas latifoliadas.....	100

PROPIEDADES TECNOLÓGICAS DE LAS MADERAS DE *Cedrela odorata* L e *Hymenaea oblongifolia* Huber DEL CHOCÓ-COLOMBIA, MEDIANTE MÉTODO NO DESTRUCTIVO.

TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF THE WOODS OF *Cedrela odorata* L AND *Hymenaea oblongifolia* Huber OF CHOCO-COLOMBIA, THROUGH NON-DESTRUCTIVE MEANS

Yessika Biasney Serna Mosquera¹; Amparo Borja de la Rosa²; Mario Fuentes Salina³; Alejandro Corona Ambriz⁴

RESUMEN

Este trabajo tuvo como objetivo determinar mediante método no destructivo, las propiedades tecnológicas de la madera de nueve y seis árboles de cedro y algarrobo respectivamente, provenientes del departamento del Chocó, Colombia. El estudio se realizó en el laboratorio de anatomía de la madera de la Universidad Autónoma Chapingo, México. Éste consistió en obtener cilindros de madera del diámetro a la altura del pecho, en los cuales se estudiaron las características microscópicas, las propiedades físicas como la densidad básica, la densidad normal y el poder calorífico e igualmente se estimaron las propiedades mecánicas utilizando la densidad básica y la densidad normal. Así mismo, se determinó la zona de transición de la madera juvenil a madura utilizando la densidad básica como patrón. Como resultado se obtuvo que en cedro, los vasos son escasos y medianos; las fibras medianas, paredes gruesas y los rayos de finos-medianos; la madera es ligera con densidad básica media de 0.39 g/cm³ y con un poder calorífico de 4,542 cal/g; la resistencia mecánica es media. Así mismo, en algarrobo los vasos son escasos, de medianos a grandes; las fibras son medianas, los rayos finos-moderadamente largos; la madera es semipesada con una densidad básica media de 0.64 g/cm³ y con un poder calorífico de 4,694 cal/g; la resistencia mecánica es de alta a muy alta. Con los datos obtenidos sobre las propiedades tecnológicas de la madera se realizaron fichas técnicas de las dos especies que se espera sirvan para mejorar o encaminar el desarrollo de la industria de la madera en la zona y permita al consultar éstas, localizar con mayor facilidad la información sobre las dos maderas estudiadas.

Palabras claves: cilindros de madera, madera juvenil, madera madura, *Cedrela odorata*, *Hymenaea oblongifolia*, Chocó

ABSTRACT

The objective of this work was to determine through non-destructive means the technological properties of the wood of nine cedar trees and six carob trees respectively, originating from the state of Chocó, Colombia. The study was carried out in the wood anatomy laboratory at the Universidad Autónoma Chapingo, Mexico. It consisted of obtaining wood cylinders of chest-high diameter, in which were studied their microscopic characteristics, their physical properties such as basic density, normal density and calorific power. Likewise, their mechanical properties were estimated using basic density and normal density. In addition, the transition zone from young to mature wood was determined using basic density as the pattern. As a result, it was determined that in cedar the vessel are scarce and medium in length; the fibers are medium, the walls thick and the fine rays medium in length; the wood is light with average basic density of 0.39 g/cm³ and with a calorific power of 4,542 cal/g; the mechanical resistance is medium. In addition, in carob trees, the veins are scarce and medium to large; the fibers are medium, the fine rays moderate in length; the wood is semi-heavy with average basic density of 0.64 g/cm³ and with a calorific power of 4,694 cal/g; the mechanical resistance is from high to very high. With the data obtained regarding the technological properties of the wood, technical specifications were established for the two species that will hopefully serve to improve or encourage the development of the wood industry in the zone and permit, upon being consulted, locating with greater ease the information about the woods studied.

Key words: wood cylinders, young wood, mature wood, *Cedrela odorata*, *Hymenaea oblongifolia*, Chocó.

¹Aspirante a M.C. en Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. yebisemo@hotmail.com

²Dra en Ciencias. Anatomía de la madera. Profesora Universidad Autónoma Chapingo. aborja@correo.chapingo.com.mx

³M.C. Tecnólogo de la madera. Profesor Universidad Autónoma Chapingo.

⁴M.C. Profesor Universidad Autónoma Chapingo.

1. INTRODUCCIÓN

La aptitud de la madera como materia prima está asociada con el grado de variabilidad de los caracteres anatómicos estructurales. La estructura de la madera varía entre especies, dentro de cada especie, entre árboles, y aun dentro de cada ejemplar, además de las fuentes geográficas (Zobel y Van Buijtenen, 1989).

Las propiedades y características de uso de una madera pueden definirse de manera satisfactoria mediante pruebas directas, pero debido a que son costosas y en muchos casos generalmente destructivas, sólo pueden aplicarse en escala reducida. Sin embargo, hoy se buscan ciertos rasgos de la madera que son buenos indicadores de sus propiedades y usos, y que permiten ser utilizados como índices de calidad (Burley y Wood, 1979), citado por Moglia *et al.* (2001).

La mayoría de las investigaciones sobre tecnología de la madera y en general de los productos forestales, se enfocan al conocimiento de las propiedades físico-mecánicas y las características anatómicas de la madera y a detectar la variación de las mismas (Zobel y Talbert, 1994).

Aunque esta situación ha sido así, existe también la necesidad de seguir investigando en la madera estas características en zonas donde ha sido difícil realizarlo. En la actualidad deben hacerse estas investigaciones con métodos no destructivos de las maderas para los sitios en los cuales no se tiene información sobre los usos y las características de éstas. En este sentido, existe la preocupación en conocer las variaciones de las propiedades tecnológicas de las maderas que crecen en un ambiente natural como la selva pluvial central del Chocó, ya que son especies que se están aprovechando en la región e interesa conocerlas por la demanda de mercado que poseen y por los usos estratégicos

que implican para esta región donde se desarrollan y son consideradas como una alternativa comercial viable de esta zona.

Por lo anterior, en este trabajo se estudiaron las propiedades tecnológicas de las maderas de cedro (*Cedrela odorata* L) y algarrobo (*Hymenaea oblongifolia* Huber), con el propósito de establecer las características de la madera juvenil y madura, la densidad básica y poder calorífico y propiedades mecánicas y también conocer las variaciones de estos árboles que crecen en estas áreas de forma natural y que igualmente son destinados a múltiples usos en la industria maderera en zonas ajenas a ésta, ya que en la zona de estudio no se ha hecho un uso apropiado, no se han estudiado sus propiedades tecnológicas, por lo cual existe desconocimiento de ellas; además de la falta de infraestructura para realizarlo. Los datos que proporciona este trabajo podrán ser una herramienta, para tomar decisiones en cuanto a formas de aprovechamiento y conservación de estos recursos, la cual debido a su fragilidad es necesario mejorar su aprovechamiento para su sustentabilidad.

2. OBJETIVOS

2.1 General

Determinar mediante un método no destructivo, las propiedades tecnológicas de la madera juvenil y madura de cedro (*Cedrela odorata* L) y algarrobo (*Hymenaea oblongifolia* Huber), provenientes de la selva pluvial central del departamento del Chocó, Colombia.

2.2 Específicos

-  Describir las características anatómicas microscópicas de las dos maderas, desde la médula hasta la corteza.
-  Conocer la densidad básica y poder calorífico de las dos maderas.
-  Determinar la zona de transición de la madera juvenil a madera madura en la madera de ambas especies.
-  Estimar, por medio de coeficientes matemáticos, las propiedades mecánicas de la madera juvenil y madura de las dos maderas, a partir de la densidad básica y la densidad normal.
-  Aportar las fichas tecnológicas de las maderas y establecer los usos que podrían ser aplicados en la industria de la zona para las mismas.

3. DESCRIPCIÓN DE LAS ESPECIES

3.1 Cedro (*Cedrela odorata* L)

Nombres comunes: cedro rojo (México); también llamado cedro amargo, cedro blanco, culche (Maya), cedro colorado (El Salvador), cedro real (Nicaragua), cedro cóbano (Costa Rica), cedro rosado o rojo (Colombia).

Nombre científico: *Cedrela odorata* L.

Sinonimia: *Cedrela angustifolia* Mocino & Sesse ex DC.; *C. brounii* Loef. ex D. Kize; *C. fissilis* Vellozo; *C. guianensis* A. Juss, *C. longipes* Blake; *C. mexicana* Roem; *C. mexicana* var. *puberula* DC; *C. occidentalis* DC. & Rose; *C. sintheisii* C. DC; *C. velloziana* Roem; *C. yucatana* Blake. (AGRAR-UND HYDROTECHNIK y APESA, 1992).

3.1.1 Clasificación sistemática

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Sapindales

Familia: Meliaceae.

Tribu: Cedreleae

Género: *Cedrela*

Especie: *odorata* Linnaeus

3.1.2 Descripción botánica

Árbol de hasta 60 m de altura, copa ancha y redonda, ramificaciones gruesas con lenticelas redondas en ramas jóvenes. Posee corteza interna color rosada, cambiando a pardo amarillenta, olor a ajo y sabor amargo. Fuste recto, bien formado, cilíndrico; hojas compuestas, alternas paripinnadas y grandes, flores masculinas y femeninas en la misma inflorescencia, colocadas en panículas terminales o axilares de 25 a 35 cm, tiene de 20 a 25 semillas pequeñas y alargadas (Salas, 1993).

Frutos en cápsulas con dehiscencia longitudinal septicida (se abre en cinco carpelos), 4 a 7 cm de largo; es leñoso, color café oscuro, de superficie externa lenticelada y lisa; el fruto se desprende una vez liberadas las semillas; en estado inmaduro, poseen un color verde y al madurar se tornan café oscuro. Las semillas presentan una delgada capa de endospermo, triploide, firme, carnoso, amargo, blanco y opaco (PROSEFOR, 1997).

3.1.3 Distribución

Se distribuye desde México hasta las tierras bajas de Centro y Suramérica: Bélize, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua, Panamá, Bolivia, Colombia, Ecuador, Paraguay, Perú y Venezuela (INIA, 1996).

En Venezuela se desarrolla por debajo de los 1,500 msnm, en tierras cálidas donde predomina una temperatura media anual de 24°C y una precipitación inferior a 2,000 mm/año. Además forma parte de los bosques secos de los Llanos Occidentales y Zulia (Mora, 1974).

3.1.4 Ecología

Se desarrolla en las zonas de vida del Bosque seco subtropical, Bosque húmedo subtropical (cálido), Bosque muy húmedo subtropical (cálido) (Aguilar, 1992). Se le encuentra desde el nivel del mar hasta 1,200 msnm, con temperaturas promedio entre 20 a 32°C (PROSEFOR, 1997). Precipitación entre 1,200 a 3,000 mm por año, con una estación seca de tres a cuatro meses (PROSEFOR, 1997). Se adapta a una gran variedad de suelos, principalmente bien drenados, de textura arenosa, franco arenosa y arcillosa (CATIE, 1997).

Esta especie no debe establecerse en plantaciones puras, sino en combinación con otras especies de crecimiento más rápido como *Leucaena leucocephala*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Tectona grandis* o *Samanea saman*, para reducir el ataque del barrenador de los brotes (*Hypsipyla grandella*) y dar sombra a las plantillas jóvenes, ya que la necesitan en la primera etapa de su crecimiento. Se debe evitar la combinación con eucalipto, especie de crecimiento rápido, para no propiciar que las plantillas queden oprimidas (AGRAR-UND HYDROTECHNIK y APESA, 1992).

3.1.5 Usos e importancia

Los primeros colonizadores y los mayas, la utilizaron por sus características principalmente para canoas y construcción de casas, pues es una madera que no es atacada por la polilla, también se usó desde los tiempos de la colonia intensamente en muebles, gabinetes, etc., teniéndola como una madera muy fina y preciosa (Aguilar *et al.* 1992).

Fue motivo de gran explotación para madera de cajas para puros y cigarrillos desde el año 1800, hasta la fecha todavía se usa para cajas de perfumes y

lociones de calidad; estos usos se le dieron por su fácil trabajo (Aguilar *et al.* 1992).

Puede usarse en acabados y divisiones interiores, muebles de lujo, chapa plana decorativa, artículos torneados, gabinetes de primera clase, ebanistería, puertas y ventanas, puertas talladas, contrachapados, botes (partes internas), molduras y paneles (Herrera *et al.* 1996).

Según Carpio (1992), se usa en palillos y cajas de fósforos, regular para la producción de pulpa para papel y carpintería.

3.2 Algarrobo (*Hymenaea oblongifolia* Huber)

Nombres comunes: algarrobo, paquio, courbaril. En Perú se le conoce como asucarhuain, azúcar huayo, courbaril, laurel, pampa estoraque; en Brasil se le conoce como Jatoba, Jutai. En Colombia, se le conoce como algarrobo.

Nombre científico: *Hymenaea oblongifolia* Huber

Sinonimia: *Hymenaea courbaril*, *Hymenaea intermedia*, *Hymenaea martiana*, *Hymenaea parviflora* (CIRAD 2003).

3.2.1 Clasificación sistemática

Reino: Plantae

División: Angiospermas

Orden: Fabales

Familia: Fabaceae

Subfamilia: Caesalpinioideae

Tribu: Detarieae

Género: *Hymenaea*

Especie: *oblongifolia* Huber

3.2.2 Descripción botánica

Su corteza externa es de color café claro-grisáceo, apariencia finamente fisurada, aristada, con lenticelas abundantes, grandes, distribución irregular. Corteza interna de color rojizo, de 2 cm de espesor, textura fibrosa laminada, de tiras cortas, inclusiones fibrosas, blancuzcas, exudado acuoso, oscuro, se cristaliza con el tiempo. Hojas bifolioladas alternas, con estípulas, estrechamente oblongas, ápice agudo, base inequilatera, haz disperso pubescente, envés densamente marrón dorado tomentoso. Inflorescencias en panículas largas, densas, con flores pequeñas de color blanco cremoso a ligeramente rosados. El fruto es una legumbre indehiscente, ovoide, subcomprimida, lisa, con 1-3 semillas oblongas que se encuentran cubiertas por un polvillo amarillo que es comestible y altamente nutritivo y medicinal (Rodríguez, 1988).

3.2.3 Distribución

La especie se distribuye en Brasil, Colombia y Perú (Rodríguez, 1988). *Hymenaea oblongifolia* se encuentra en el bosque húmedo tropical, hasta los 1,200 m de altitud.

3.2.4 Ecología

Es una especie esciófita total, de muy lento crecimiento, escasa, que crece en tierra firme sobre suelos arcillosos. El algarrobo crece en paisaje fisiográfico de terrazas.

3.2.5 Usos e importancia

Es muy usada en construcción (pisos, escaleras, estructuras), muebles (gabinetes), artículos torneados, chapas decorativas, uso exterior (traviesas), carretería, artículos deportivos y herramientas, entre otros. Exuda una resina que se emplea en medicina casera para curar el dolor de estomago y para la fabricación de incienso; los pobladores de la Amazonía colombiana la emplean para fabricar un barniz vidriado en el interior de sus cerámicas. Los frutos son comestibles (Rodríguez, 1988).

4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

4.1 Antecedentes descriptivos de las propiedades tecnológicas de la madera de cedro (*Cedrela odorata* L)

Morales et al. (1987), en Nicaragua, en una clave de identificación de maderas, describe que la madera de cedro, tiene anillos de crecimiento delimitados por anillos porosos y parénquima marginal, poros medianos y grandes, duramen con sabor amargo y olor agradable, de color castaño claro a rosado. Parénquima axial en fajas con anchura $\geq 200 \mu$.

Carpio (1992), en Costa Rica, señala que el cedro presenta zonas de crecimiento distintos, e indicados por fajas concéntricas angostas de parénquima leñoso, de color más claro que el fondo, a veces por el arreglo de los poros en anillos. Los poros no numerosos, uniformemente distribuidos con excepción de los anillos mencionados, usualmente en grupos de 2 a 3, abiertos o cerrados; las líneas vasculares producen rasgaduras finas, más oscuras que la masa fundamental y a menudo llenas de goma oscura. Parénquima paratraqueal escaso y visible con facilidad; además, se localiza el apotraqueal

escaso y bandas paralelas de parénquima terminal. Los radios son de tamaño mediano, multiseriados en su mayoría y uniseriados, de tipo homogéneo y heterogéneo. Fibras de tamaño mediano, ventriformes y algunas septadas con 2 a 3 septos por fibra.

CATIE (1997), en Costa Rica, señala que el cedro posee duramen moderadamente durable a durable, posee cierta resistencia al ataque de hongos e insectos como la polilla, es fácil de tratar con productos preservantes en albura y difícil de tratar en duramen. Es fácil de trabajar, cepillar, tallar, tornear, pulir y lijar. Se obtienen buenos acabados.

FAO (1998), en un informe técnico para el procesamiento de 94 especies alternativas sobre maderas de Bolivia, señala que la madera es de color amarillo rojizo, con una superficie brillante, vetada pronunciada, la extura media a gruesa e hilo recto, de sabor ligeramente amargo, pero sin olor característico. La densidad básica es de 0.32 g/cm^3 . Es una madera que por el tamaño medio de sus poros, tiende a absorber más sellador que las maderas con poro fino. Con la madera que no presenta la textura vellosa se obtienen excelentes acabados y por su belleza natural es recomendable utilizar acabados transparentes, a pesar de que acepta todo tipo de tintes.

Richter et al. (2000), describe que el duramen es de color rojizo a café (de color claro en estado verde, oscureciendo bastante con el tiempo). Color de la albura distinto del color del duramen. Olor específico (aromático). Peso específico básico de 0.46 g/cm^3 .

Menciona también que la madera es de porosidad anular o porosidad semianular. Los anillos de los vasos de la madera temprana son uniseriados. Los vasos agrupados, generalmente en grupos radiales cortos (de 2–3 vasos). Promedio del diámetro tangencial de los vasos es de 240μ . Promedio del

número de vasos/mm² mínimo es 3 y máximo es de 8 vasos. Otros depósitos en vasos de duramen presentes (marrón rojizo oscuro).

Fibras de paredes finas, promedio del largo de las fibras mínimo es de 770 μ , media de 1,050 μ y máximo de 1,750 μ . Las punteaduras de las fibras en su mayoría estas restringidas a las paredes radiales, simples o con aréolas minúsculas.

Parénquima axial en bandas. Bandas de parénquima axial marginales (o aparentemente marginales), gruesas, con más de tres células de ancho. Parénquima axial apotraqueal y paratraqueal. Apotraqueal difuso y difuso en agregados. Paratraqueal vasicéntrico o aliforme (raramente aliforme). Parénquima axial en serie. Promedio del número de células por serie de parénquima axial mínimo de 4 y máximo de 8 células.

El número de radios por mm es de 4–7 radios multiseriados, radios con 1–4 células de ancho. Altura de los radios grandes hasta 500 μ . Radios compuestos por un solo tipo de células (homocelulares) o compuestos por dos o más tipos de células (heterocelulares), en su mayoría débilmente heterogéneos; células de los radios homocelulares procumbentes. Radios heterocelulares con células cuadradas y erectas restringidas a hileras marginales, generalmente con una hilera de células cuadradas y erectas.

Cristales presentes, prismáticos, localizados en las células de los radios y las células del parénquima axial. Células cristalíferas de los radios: erectas, cuadradas y procumbentes. Células cristalíferas del parénquima axial septadas y no septadas. Células cristalíferas de tamaño normal.

En relación a su composición química el mismo autor describe que el duramen es no fluorescente. El extracto acuoso también es no fluorescente; básicamente sin color a café o tonalidades de café. Los extractos son no lavables en

contacto con agua. Extracto en etanol fluorescente. Color del extracto en etanol sin color, o color café o tonalidades de café o naranja pálido.

Vignote et al. (2000), en una descripción de la tecnología y aplicaciones de especies, señala que la albura de cedro es visible, beige rosada a pardo rosa claro. Vasos bien visibles, relativamente grandes, de distribución difusa aunque a veces se aglomeran en franjas claras. Anillos de crecimiento visibles suavemente. Parénquima en la sección transversal. Radios difícilmente visibles a simple vista. Hilo recto con ligero entrecruzado, textura media brillante, olor muy característico y su sabor amargo.

Continúa describiendo el autor y señala que en sus propiedades físico-mecánicas la madera presenta un peso húmedo de 800 kg/m^3 , peso seco al aire de $450 \text{ a } 550 \text{ kg/m}^3$. Contracción volumétrica total de 9,4%. Modulo de elasticidad a la flexión de $79\,300 \text{ kg/cm}^2$. Es una madera medianamente resistente a los hongos y muy resistente a los insectos de ciclo larvario. Su secado se produce de manera muy rápida, sin riesgos de deformaciones, ni de fendas.

León (2003), en un estudio sobre maderas de Venezuela, describe que la madera de cedro presenta albura de color amarillo pálido (7.5Y 8/4) a amarillo (10 YR 7/6) y duramen castaño rojizo claro (5YR 6/4) a rojo amarillento (5 YR 5/6); presenta transición abrupta entre albura y duramen. Olor penetrante, aromático, sabor amargo, lustre alto a mediano, textura mediana e hilo recto a entrecruzado. Moderadamente dura y pesada.

Señala también el autor, que los anillos de crecimiento están definidos por porosidad semicircular y bandas de parénquima marginal. Poros sin patrón definido de disposición, solitarios y múltiples radiales, con 3-4 poros por mm^2 , diámetro tangencial promedio mínimo de 164μ y máximo de 249μ . Longitud de elementos vasculares promedio mínimo de 317μ y máximo de 362μ . Depósitos

de gomas presentes, algunas veces depósitos de calcio. Fibras septadas y no septadas, predominantemente las no septadas, paredes delgadas a medianas, con longitud promedio mínimo de 1,258 μ y promedio máximo de 1,381 μ , punteaduras indistintamente areoladas. El parénquima es apotraqueal difuso, difuso en agregados, paratraqueal vasicéntrico delgado, aliforme de ala corta y en bandas marginales; en series de 4-10 células. Los radios homocelulares de células procumbentes y predominantemente heterocelulares, con una ruta de células marginales. De 3-6 radios por mm lineal, 1-4 células de ancho, predominantemente 3 células; la altura mínima promedio es de 272 μ y máxima de 419 μ . Sin células envolventes. Cristales prismáticos en células parenquimáticas radiales y ocasionalmente en las axiales, algunas veces formando series parenquimáticas cristalíferas; un cristal por célula. Sin presencia de sílice. Conductos gomíferos traumáticos presentes.

CONFEMADERAS & UNIÓN EUROPEA (2004), En una guía práctica de especies de maderas revisada de varios autores describe que la albura de cedro es blanca a blanco-rosado; duramen marrón rosado a rojo claro, el cual se oscurece con la luz, tiene hilo recto, con frecuencia ligeramente entrelazado. La textura es media, la madera medianamente durable. La albura es medianamente permeable y el duramen es medio a no permeable.

4.2 Antecedentes descriptivos de las propiedades tecnológicas de la madera de algarrobo (*Hymenaea oblongifolia* Huber)

Corothie (1967), en Venezuela, describe para algarrobo, que esta madera presenta el duramen castaño rojizo; frecuentemente con bandas longitudinales lustrosas y a veces opacas en la sección radial; la albura es blanca amarillenta. Transición abrupta de albura a duramen; líneas vasculares indistintas; poco lustrosas; sin olor ni sabor; la madera es muy dura y pesada; con una densidad básica de 0.81 g/cm³; el hilo es generalmente entrecruzado, la textura mediana,

difícil de elaborar con herramientas manuales, de moderadamente a muy durable.

Describe también que tiene porosidad difusa; anillos claramente visibles a simple vista, indicados por bandas concéntricas de parénquima terminal (de 2 a 12 células de ancho); poros claramente visibles a simple vista, solitarios y en múltiplos radiales de 2 a 3 poros, de distribución y tamaño uniforme, algunos completamente cerrados por una goma de color rojizo; diámetro tangencial de 75 μ a 215 μ (pequeños). Elementos vasculares son muy cortos; de tabiques horizontales ligeramente oblicuos y perforaciones simples, punteaduras intervasculares alternas, pequeñas, ornadas, con aperturas pequeñas incluidas, y diámetros de 5 μ -7 μ . El parénquima es terminal, aliforme corto y obtuso; confluyente corto, con depósitos de gomas y cristales. Radios medianos a muy finos, son visibles a simple vista. Las fibras son libriformes con punteaduras simples o indistintamente areoladas, de paredes gruesas.

Morales et al. (1987), en Nicaragua, describe que la madera presenta un parénquima visible a simple vista, abundante, en fajas o líneas marginales, separadas intercaladas por zonas de parénquima aliforme romboidal; sus poros son medianos, solitarios y múltiples, con algunos obstáculos por goma y sustancia blanca; tiene anillos de crecimiento distinguibles, delimitados por fajas y líneas marginales; el duramen es castaño a castaño rojizo oscuro con bandas mas oscuras.

Rodríguez (1988), en Colombia, en una caracterización anatómica de las maderas latifoliadas y claves macro y microscópica para la identificación de 120 especies, en donde se describen a *Hymenaea courbaril* e *Hymenaea oblongifolia*, reportó para esta última, que los anillos de crecimiento están definidos por zonas tangenciales más oscuras y parénquima en bandas marginales. Los vasos se presentan de forma difusa. Poros visibles a simple vista, grandes (diámetro tangencial mayor de 200 μ), escasos (menos de 6 por

mm²), solitarios y múltiples en cadenas radiales cortas, con contenidos de gomas rojizos. Placas de perforación simples. Las punteaduras radiovasculares similares a las intervasculares en tamaño y forma, las intervasculares grandes de 10 μ o mas; areoladas alternas, circulares y con apertura incluida. El parénquima axial es visible a simple vista, el paratraqueal es aliforme romboidal, confluyente y en bandas marginales. Con cristales prismáticos en células de parénquima axial dividido. Parénquima septado con 3 a 4 divisiones. La densidad anhidra es d 0.76 g/cm³, densidad seca al aire es de 0.8 g/cm³ y la densidad básica de 0.7 g/cm³.

Vignote et al. (2000), en España, en una descripción de la tecnología y aplicaciones de especies, señala que la albura es gris rosácea. El color del duramen puede variar de pardo claro al pardo violáceo o anaranjado o rojo marrón según la procedencia y según las clases, con bandas oscuras. Los anillos de crecimiento son a menudo visibles y proporcionan sobre costero, un aspecto decorativo. La textura es entre fina y mediana. El hilo es generalmente recto. Los vasos poco visibles a simple vista en distribución difusa. Parénquima visible en bandas apotraqueales. Los radios poco visibles. Con lupa se puede observar vasos grandes (de 60 a 300 μ), poco numerosos (de 0 a 7 por mm²); el parénquima es vasicéntrico o en finas líneas terminales formadas por 3-7 células. Radios relativamente anchos de 3 a 9 células por mm², subhomogéneos. Las fibras varían de estrechas a medias, de paredes delgadas a espesas, de cortas a largas.

También describe, que la densidad normal es de 0.78 a 1.1 g/cm³, la densidad en verde es 1.1 a 1.2 g/cm³ y la densidad básica es de 0.69 a 0.91 g/cm³. La contracción volumétrica total es de 10.5 a 12.6%. Punto de saturación de la fibra es de 21%. El modulo de elasticidad a la flexión es de 183,000 a 228,000 kg/cm². Dado el escaso porcentaje de sílice, el único problema de aserrado es su dureza, que aconseja la utilización de sierras potentes con herramientas estilizadas, de escasa altura y paso del diente.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Materiales

5.1.1 Descripción del área de colecta

Las muestras fueron obtenidas en la selva tropical del departamento del Chocó, Colombia, en dos sitios diferentes: el municipio de Lloró y el municipio de Bagadó. La selva pluvial central del Chocó, se encuentra ubicada en la región natural del Andén del Pacífico Colombiano, a 47 msnm, a los 5°41' latitud Norte, y 76°40' longitud Oeste; zona caracterizada por condiciones ambientales de humedad relativa promedio de 86%, temperatura promedio anual de 27°C, precipitación superior a 8000 mm anuales, correspondiente a zonas de vida de bosque húmedo tropical (bh- T) y bosque muy húmedo tropical (bmh-T) (Espinal, 1997).

El municipio de Bagadó en el Chocó, se localiza al margen izquierdo del río Andágueda, a 05°24'32" de latitud Norte y 76°25'16" de longitud Oeste. A 200 msnm. La temperatura media es de 28°C. La precipitación media anual es de 7,800 mm y dista de Quibdó la capital del departamento en 80 km (Arango y Saldarriaga, 1997).

Así mismo, Arango y Saldarriaga (1997), reportan que el área municipal es de 777 km² y limita por el Norte con el municipio de Lloró y El Carmen, por el Este con el Departamento de Antioquia, por el Sur con el municipio de Tadó y el Departamento de Risaralda y por el Oeste con el municipio de Tadó, (Ver figura 1).

Las instalaciones de la granja: Centro Multipropósito de la Universidad Tecnológica del Chocó "Diego Luís Córdoba" (CMUTCH) en el municipio de Lloró, (Ver figura 2); se encuentra ubicado sobre la margen derecha del río

Atrato aguas abajo, a unos 10 minutos de la cabecera municipal de Lloró, geográficamente esta a 5°30'37" de latitud Norte y a los 76°33'15" de longitud Oeste, temperatura promedio anual de 28°C y una precipitación promedio que alcanza hasta los 13,300 mm por año, es la zona mas lluviosa del planeta. (Neita *et al.* 2004).

1. Quibdó
2. Acandí
3. Alto Baudó (Pié de Pato)
4. Bagadó
5. Bahía Solano (Puerto)
6. Bajo Baudó (Pizarro)
7. Bojayá (Buenavista)
8. Condoto
9. El Carmen
10. Istmina
11. Juradó
12. Lloró
13. Novita
14. Nuquí
15. Riosucio
16. San José del Palmar
17. Sipi
18. Tadó
19. Unguía
20. El Cantón de San Pablo
21. El Litoral de San Juan

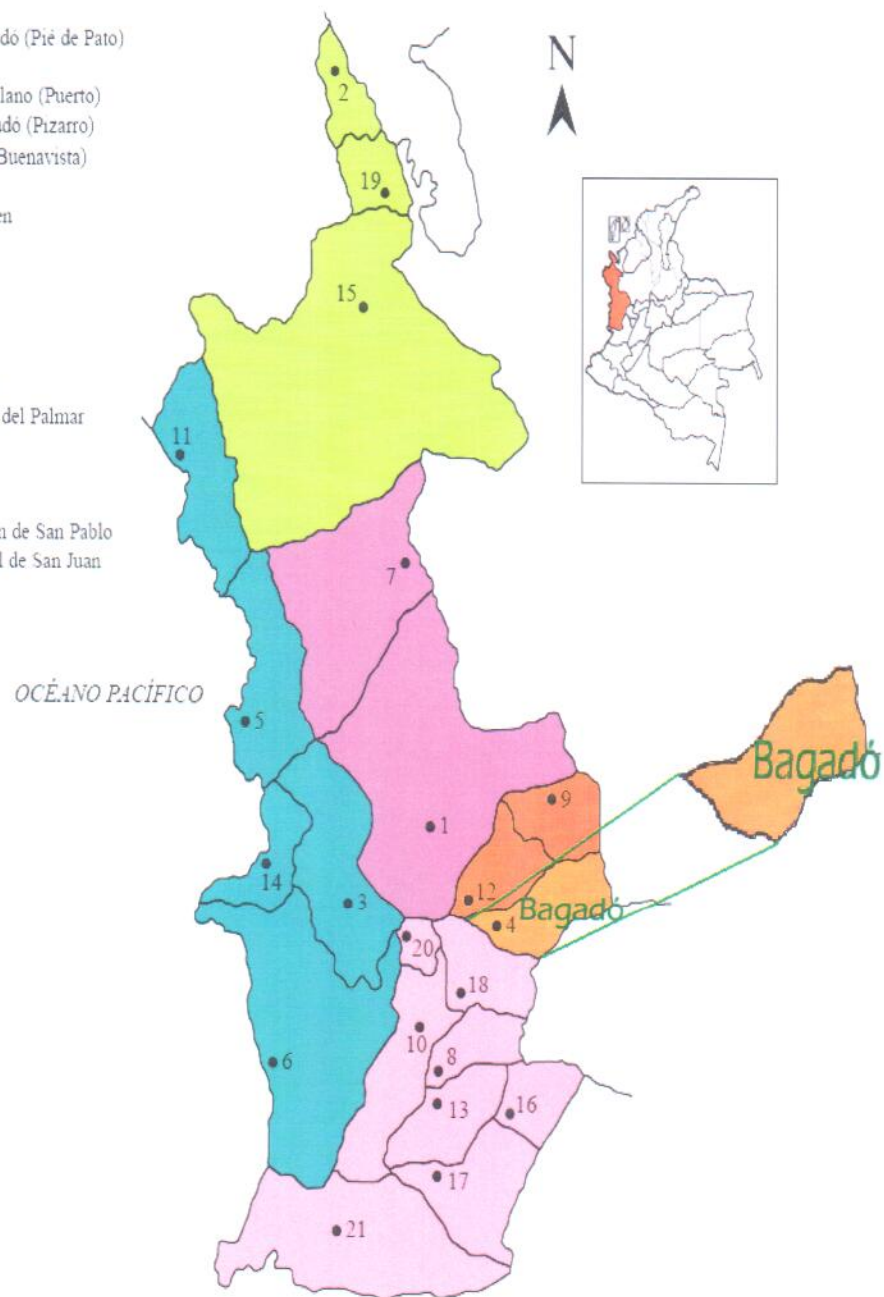


Figura 1. Ubicación del Depto. Chocó en Colombia y el municipio de Bagadó en el Depto. del Chocó.

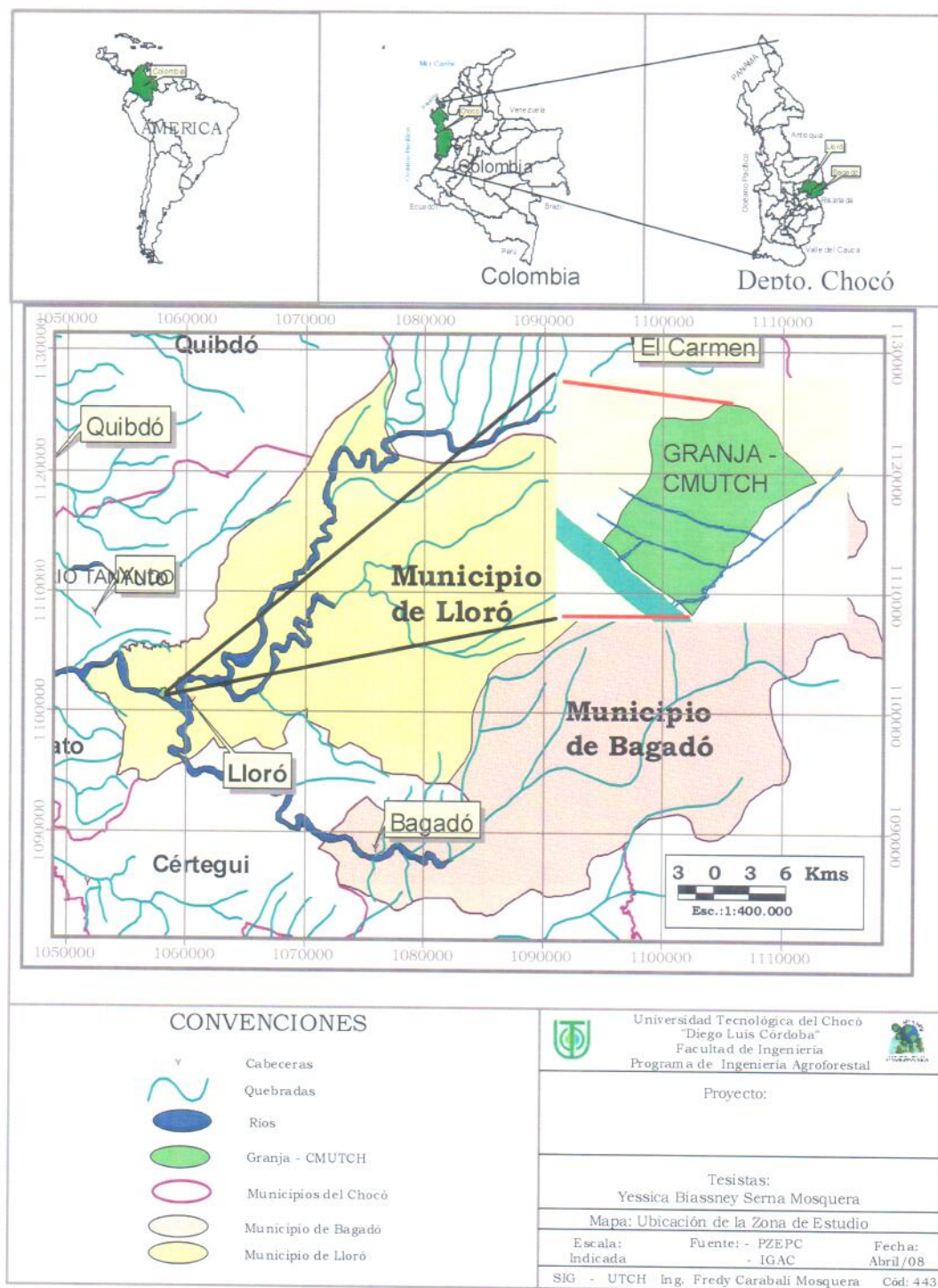


Figura 2. Ubicación del Centro Experimental o granja CMUTCH de la Universidad Tecnológica del Chocó, en el municipio de Lloró.

Clima: La región del Chocó posee clima tropical húmedo. Su temperatura oscila entre los 26 y 28°C. Los vientos del Pacífico cargados de humedad, soplan hacia el continente, chocan contra la cordillera occidental y producen precipitaciones fluviales, que ha situado a la región del Chocó como una de las más lluviosas del planeta (promedio 8,000 mm/anuales). En el Chocó llueve las dos terceras partes del año. Estas precipitaciones aumentan el caudal de los ríos y crean una vegetación de selva ecuatorial (DANE, 1993).

Hidrografía: La región esta recorrida por caudalosos y profundos ríos, tales como el Río Atrato, Río San Juan y Río Baudó. Algunos de ellos constituyen las principales vías de comunicación en esta región mayoritariamente selvática (DANE, 1993).

Relieve: Al norte dominan el territorio de las serranías de mediana altura, como la del Baudó, la del Darién y la de la Costa y los valles de los ríos Atrato, Baudó y San Juan. Al sur hay terrenos planos, selváticos y anegadizos y cruzados por numerosos ríos (DANE, 1993).

Vegetación: A nivel florístico, se reportan más de 8,000 especies de plantas (Forero y Gentry 1989). Se caracteriza por su megadiversidad y complejidad ecosistémica, manifiesta en una heterogeneidad ecológica de formaciones que van desde las selvas pluviales más húmedas del planeta hasta los bosques pre-montanos tropicales (Jiménez *et al.* 2005).

5.1.2 Colecta del material

Del 6 al 10 de Enero de 2008, en el departamento del Chocó, Colombia en los municipios descritos anteriormente, se colectaron muestras de nueve árboles de cedro (*Cedrela odorata* L) y seis de algarrobo (*Hymenaea oblongifolia*

Huber), elegidos completamente al azar, los cuales presentaron las siguientes características dendrométricas (Ver tabla 1 y 2).

Tabla 1. Características dendrométricas de los árboles de cedro (*Cedrela odorata* L), colectados para la investigación.

Árbol No.	D.A.P. (cm)	Altura del fuste (m)	Altura total (m)
1	28	10	20
2	32	10	15
3	23	11	16
4	24	8	15
5	30	7	13
6	31	9	16
7	40	9	15
8	47	7	15
9	19	6	14

Tabla 2. Características dendrométricas de los árboles de algarrobo (*Hymenaea oblongifolia* Huber), colectados para la investigación.

Árbol No.	D.A.P. (cm)	Altura del fuste (m)	Altura total (m)
1	55	29	40
2	40	27	40
3	60	32	43
4	29	20	38
5	50	30	40
6	40	29	46

5.2 Métodos

5.2.1 Colecta del material (Método no destructivo)

Se extrajo material de nueve árboles de cedro y seis árboles de algarrobo como se fueron presentando en el bosque (en un área pequeña, por la situación de orden público y las difíciles condiciones climáticas presentes en esos días), del cual se obtuvieron cilindros (gusanitos); los árboles seleccionados presentaban buen estado sanitario. Las muestras se tomaron con un taladro de Pressler de 12 milímetros, a la altura del diámetro del pecho (Ver figura 3). La herida causada con el taladro se protegió con taquetes tratados previamente con formol, y se sellaron con resanador de madera. Las muestras se identificaron con un lápiz tinta indeleble y se mantuvieron en agua, cambiando ésta diariamente hasta su procesamiento en laboratorio.



Figura 3. Árbol de algarrobo y colecta de cilindros¹.

¹ Acompañante de campo: Señor Orlando Rentería. Enero de 2008.

5.2.2 Trabajo de laboratorio

El trabajo se llevó a cabo en el laboratorio de anatomía y tecnología de la madera en la División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo, en el municipio de Texcoco, en el Estado de México. Para realizar este estudio, de cada una de las especies se seleccionó un árbol del que se extrajo un cilindro; éstos fueron seccionados desde la médula a la corteza a cada dos centímetros para la elaboración de los cortes típicos; igualmente, se extrajo cilindros de siete árboles de cedro y cuatro de algarrobo y a cada un centímetro éstos fueron seccionaron desde la médula a la corteza para evaluar el poder calorífico, la densidad básica y la densidad normal de las dos maderas; los valores de estas dos últimas características sirvieron para calcular las propiedades mecánicas (Ver figura 4 y figura 5).



Figura 4. Cilindro obtenido de los árboles y esquema de seccionado para los diferentes procedimientos en el estudio.

5.2.3 Caracterización anatómica microscópica de las maderas

Obtención de los cortes típicos: como se mencionó antes, de cada madera se tomó un árbol para elaborar los cortes típicos de 20 μ de cada sección determinada para este caso a cada 2 cm de longitud de los cilindros desde la médula hasta la corteza. Las secciones se sometieron a un proceso de ablandamiento en un digestor a una presión de 2 kg/cm² durante 1.5 minutos para la madera de algarrobo y 0.5 kg/cm² durante 30 segundos para la madera de cedro; una vez ablandados éstos, se realizaron los cortes con un xilotómo. Se elaboraron cortes transversales, longitudinales tangenciales y longitudinales radiales.

Los cortes fueron teñidos con colorante safranina y dejados en reposo durante 24 horas. Una vez teñidos, se lavaron con agua destilada hasta eliminar el exceso de colorante; posteriormente se deshidrataron con alcohol al 96% y alcohol absoluto; después se pasaron por xilól y posteriormente se procedió al montaje en portaobjetos utilizando una resina sintética (Entellan), como sellador (Ver figura 5). Finalmente, se procedió a realizar las observaciones microscópicas de las maderas. En estas, se observó la porosidad, elementos de vaso, tipo de parénquima, contenidos celulares, puntuaciones y placa de los vasos, número de vasos y longitud y diámetro de los radios.

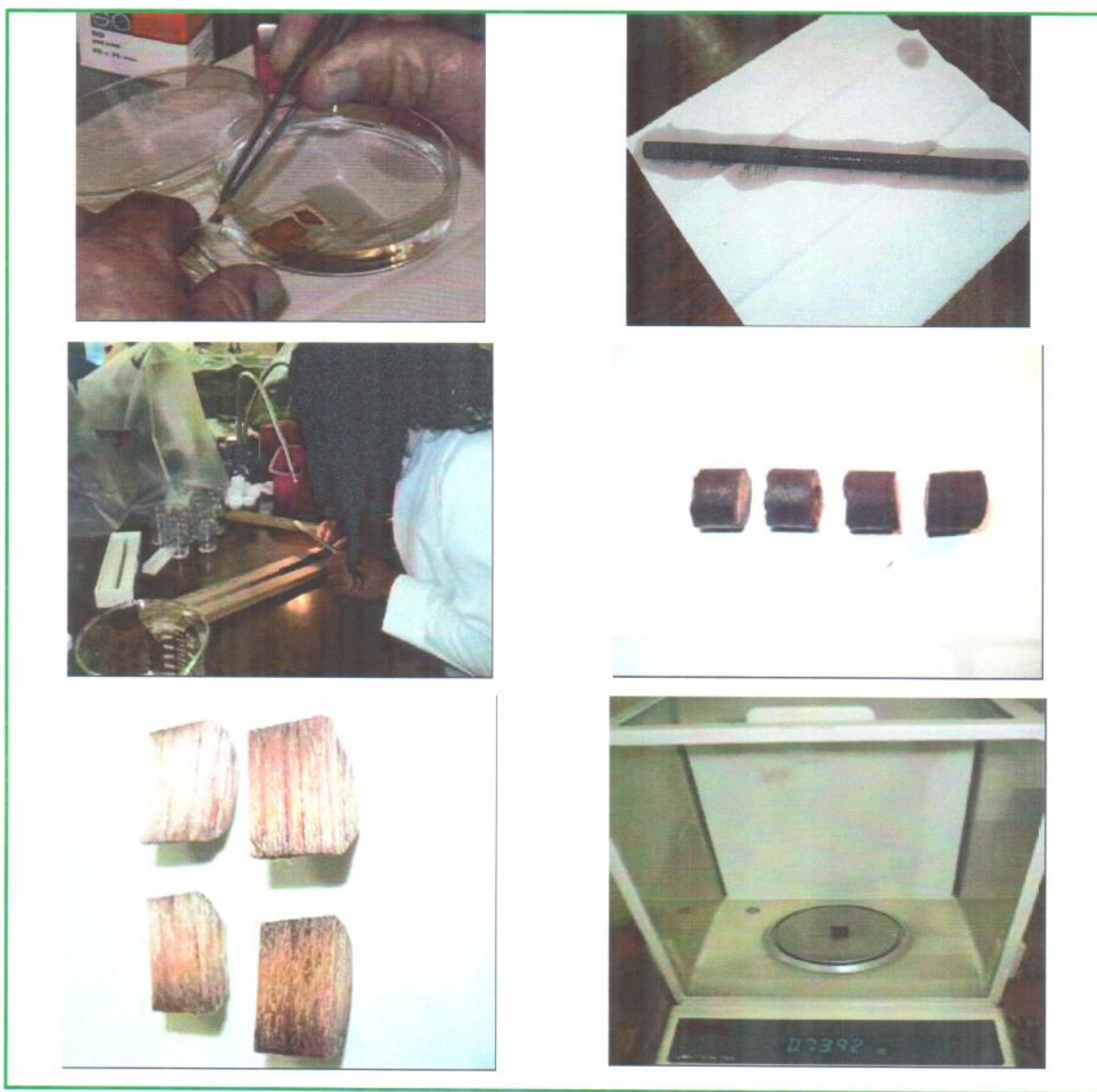


Figura 5. Montaje de cortes para caracterización y obtención de muestras para determinar densidad y realizar disociado.

Elaboración del material disociado: una vez obtenidas las muestras para disociar a lo largo del cilindro desde la médula hasta la corteza de las maderas, se elaboró el material disociado. Esto se hizo para determinar las dimensiones longitudinales y transversales de las fibras, diámetro del lumen, diámetro total de las fibras y grosor de la pared celular.

Para elaborar este disociado, se cortaron pequeñas astillas de la madera, se colocaron en frascos de vidrio y se les agregó una mezcla de ácido acético y peróxido de hidrógeno en partes iguales hasta cubrir las astillas. Los frascos sellados, se colocaron en una estufa a $60 \pm 5^\circ \text{C}$ durante 24 horas, con la finalidad de lograr la separación de las células eliminando la lámina media. Al material disociado se le eliminó los residuos de la solución, enjuagando con agua destilada; posteriormente, el material se tiñó con Pardo Bismark dejando reposar 24 horas, se enjuagó con agua destilada hasta eliminar el exceso de colorante y se elaboraron preparaciones temporales para la posterior medición (Ver figura 6).



Figura 6. Proceso de disociación de muestras

5.2.4 Índices de calidad de pulpa para papel

Con los datos obtenidos de las fibras como longitud, diámetro de lumen, diámetro total y grosor de la pared se calcularon los siguientes coeficientes: coeficiente de rigidez (CR), coeficiente de flexibilidad (CF), coeficiente de Péteri o índice de esbeltez (I E) y la relación de Runkel (RR), parámetros que se pueden tomar como indicadores de la calidad de pulpa para papel que puede ofrecer una madera y que corresponden a las siguientes relaciones:

Coeficiente de rigidez:

$$CR = \frac{2w}{D}$$

Coeficiente de flexibilidad:

$$CF = \frac{I}{D}$$

Coeficiente de Péteri o índice de esbeltez:

$$IE = \frac{L}{D}$$

Relación de Runkel:

$$RR = \frac{2w}{I}$$

donde:

2w: Dos veces el grosor de la pared celular

D: diámetro de la fibra

I: Diámetro del lumen

L: Longitud de la fibra

5.2.5 Densidad de las maderas estudiadas

5.2.5.1 Densidad básica

La densidad básica es una de las propiedades físicas más importantes para conocer las otras propiedades de la madera. Para la determinación de la densidad básica se tomó la mitad de cada cilindro; se obtuvieron probetas a lo largo del mismo de un cm y cada espécimen se marcó con lápiz tinta enumerándolos desde la médula a la corteza y se colocaron en un recipiente con agua para evitar la pérdida de humedad, en los que se determinó la densidad básica de cada probeta obteniendo el peso húmedo en una balanza analítica (OHAUS, con precisión a diezmilésimas), y después el peso en estado anhidro. Para obtener el peso en estado anhidro las muestras se colocaron en un horno a $103^{\circ} \pm 2$, durante un tiempo de 24 horas, (Ver figura 7); después se pesaron y se volvieron a poner en el horno, luego se pesaron nuevamente y se repitió esta operación hasta que se estabilizó o marcó peso constante. Con los valores registrados finalmente, se obtuvo la densidad básica de las maderas con la siguiente fórmula para muestras pequeñas dada por Smith (1954):

$$D_b = \frac{1}{\frac{P_h}{P_o} - 0.346}$$

donde:

D_b : densidad básica

P_o : peso anhidro

P_h : Peso húmedo

0.346: Constante

5.2.5.2 Densidad normal

Para registrar la densidad normal de las maderas, las muestras se dejaron secar en el laboratorio de anatomía de la madera hasta lograr un peso constante; logrado este peso, se evaluaron el peso de referencia al contenido de humedad de equilibrio en este sitio (P_h) y el volumen a ese contenido de humedad de equilibrio (V_h) registrando la densidad de referencia con la siguiente expresión:

$$D_h = \frac{P_h}{V_h}$$

donde:

D_h = densidad de referencia

P_h = peso de referencia (h)

V_h = volumen de referencia (h)

Dado que para obtener las propiedades mecánicas a partir de la densidad normal es necesario que ésta corresponda al 12% de contenido de humedad, se realizaron los ajustes ya que en el laboratorio se registra un contenido de humedad al 14%, entonces se calcularon las diferencias de peso y de volumen.

Para obtener estas diferencias de peso, se obtuvo el peso anhidro de las muestras y ya que anteriormente se había calculado el peso de referencia al 14%, este fue utilizado para este proceso; dado esto, se obtuvo el incremento de 1% de peso desde el P_0 hasta P_{14} , con la siguiente expresión:

$$\Delta P1\% = \frac{P_{14} - P_0}{14}$$

Posteriormente, se calculó entonces el incremento de peso hasta el 12% (P_{12}) de humedad. Con el mismo procedimiento se obtuvo el volumen al 12% de contenido de humedad. Las expresiones utilizadas fueron las siguientes:

Para el peso: $\Delta P_{12} = \Delta P_o + 12(\Delta P1\%)$ y,

Para el volumen: $\Delta V_{12} = V_o + 12(\Delta V1\%)$

Una vez obtenidos el P_{12} y el V_{12} , se obtuvo la densidad al 12% de contenido de humedad con la siguiente expresión:

$$D_{12} = \frac{P_{12}}{V_{12}}$$

donde:

D_{12} = densidad al 12% de CH

P_{12} = Peso al 12% de CH

V_{12} = Volumen al 12% de CH



Figura 7. Secado de muestras para peso anhidro

5.2.5.3 Determinación de la zona de transición de madera juvenil a madura.

Utilizando los valores de la densidad básica, se determinó la zona de transición de la madera juvenil a madura.

La densidad tiene una etapa de crecimiento rápido durante la formación de la madera juvenil, así entonces, estudiando el comportamiento de los datos a través del tiempo, se puede determinar la sección de transición a la que termina de presentarse el estadio de la madera juvenil.

Este método consiste en conocer la zona de transición donde comienza un comportamiento diferente en la pendiente de los datos (densidad básica); posteriormente, se llevan a cabo varias regresiones simples y considerando el valor mínimo del cuadrado medio del error de todas las regresiones se obtiene el punto de la zona de transición. Una vez obtenido el punto se procede nuevamente a aplicar una regresión considerando dos conjuntos de datos definidos por el punto encontrado y graficando dichas regresiones, el intercepto de ellas determina el punto de transición de la madera juvenil a madura (Meza *et al.* 2005).

Para determinar la zona de transición de la madera juvenil a madura usando la densidad básica, se realizó una regresión segmentada en el paquete estadístico SAS. La justificación de utilizar la regresión segmentada, es porque permite identificar el punto en donde cambia la pendiente, lo que equivale a determinar el punto de interés en función de la característica de estudio. El modelo que define la regresión segmentada en esta investigación está definido por:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \beta_2 (X_i - T)X_2 + \varepsilon_i \quad (1)$$

donde:

β_0 = intercepto con Y. ordenada al origen

β_1 = pendiente; coeficiente de regresión

β_2 = pendiente

Y_i : característica de estudio de la i-ésima observación

X_i : sección de crecimiento

T : sección de transición

X_2 : variable indicadora

$$X_2 = \begin{cases} 0, & \text{si } X_i \leq T \\ 1, & \text{si } X_i > T \end{cases}$$

ε_i : error aleatorio

El modelo reducido:

Si $X_2 = 0$, el modelo (1) se reduce:

$$E[Y_i] = \beta_0 + \beta_1 X_i \quad (2)$$

Por otra parte,

Si $X_2 = 1$, del modelo (1) se obtiene:

$$E[Y_i] = (\beta_0 + \beta_2 T) + (\beta_1 + \beta_2) X_i \quad (3)$$

Cabe mencionar que para ajustar el primer modelo (1), es necesario conocer el valor de T; sin embargo, tal valor es el que se desea conocer. Por lo tanto, para lograrlo se hizo variar el valor de T de acuerdo al número de secciones

que se tenían. Para determinar tal valor se eligió el modelo con la menor suma de cuadrados del error (2 y 3).

5.2.6 Determinación del poder calorífico de las maderas

5.2.6.1 Obtención de muestras

Para esta prueba se utilizó una bomba calorimétrica de oxígeno T-Parr-1341 con la técnica dada por Allen *et al.* (1974) y orientada por la metodología del laboratorio de Ecología del Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo.

En un cilindro de las dos maderas, se cortaron tres muestras en la parte de la médula, tres en la parte intermedia y tres muestras hacia la parte de la corteza; cada una de éstas con un centímetro de espesor. Después de esto, las muestras fueron secadas y pesadas, y cada muestra debió tener un peso menor de 1.0 g (especificaciones del manual de la bomba calorimétrica para poder realizar la combustión). Posterior a esto, se procedió a realizar la combustión.

5.2.6.2 Proceso de combustión

Considerando que en el proceso de combustión de la madera interrelacionan otros factores o elementos diferentes a la sustancia madera y que la combustión en la bomba toma lugar en una atmósfera casi de oxígeno puro a presiones y temperaturas altas, se dan varias reacciones, las cuales no se darían en condiciones atmosféricas normales. Estas reacciones incidentales son importantes debido a la generación de una cantidad significativa de calor

que no puede ser acreditada a la muestra y por lo tanto debe hacerse una corrección para obtener resultados más confiables (Ver figura 8).



Figura 8. Proceso de combustión de muestras para poder calorífico

5.2.6.3 Corrección ácida (Por formación de ácido nítrico)

Del agua residual colectada en el lavado del proceso de combustión de cada muestra, se transfirió una alícuota de 50 ml en un vaso de precipitado, se agregaron cuatro gotas de colorante de rojo de metilo al 0.1%; al resultar positiva esta prueba, se tituló con Carbonato de Sodio (Na CO_2) al 0.0709 N, el resultado de la corrección fue el número de milímetros de la solución empleada; método empleado en el laboratorio de Ecología del Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo (Ver figura 9).



Figura 9. Titulación por ácido nítrico de lavado después de cada combustión

5.2.6.4 Calculo del poder de combustión

Es importante señalar que no fue necesaria la corrección por ácido sulfúrico, puesto que no hubo concentración de éste en las muestras utilizadas en la combustión, lo cual fue mostrado por el equipo Espectronic 20 utilizado para la titulación por ácido sulfúrico. Dado esto, se procedió a calcular el calor de combustión bruto con la expresión siguiente:

$$H_g = \frac{(t * w) - e_1 - e_2}{m}$$

donde:

H_g = calor bruto de combustión

t = diferencia de temperaturas

w = equivalente energético del calorímetro (2481.25 Calorías.)

e_1 = corrección en calorías por formación de Ácido nítrico (HNO_3). Igual a los milímetros de Carbonato de Sodio que se usaron en la titulación, si la normalidad es de 0.0709.

e_2 = corrección en calorías por el calor de combustión del alambre fusible quemado, si es PARR 45C10 de Níquel o Cromo se utiliza la constante (2.3* cm de alambre quemado).

m = masa de la muestra en gramos (g).

5.2.7 Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas se estimaron utilizando los resultados obtenidos de la densidad básica y la densidad normal de los cilindros de madera, utilizando las formulas matemáticas citadas por Brown y Panshin (1980). En el que se mencionan los esfuerzos mecánicos y los coeficientes para determinar estos con la densidad básica (Db) y la densidad normal (Dn) y se toman como base para las latifoliadas (Ver tabla 3).

Tabla 3. Propiedades mecánicas realizadas a las dos maderas, con coeficientes matemáticos citados por Brown y Panshin (1980) para maderas latifoliadas

Ensayo	Madera verde	Madera al 12% de CH
1. Flexión estática:		
▪ Esfuerzo al límite de proporcionalidad (kg/cm ²)	717.13Db ^{1.25}	1174.13Dn ^{1.25}
▪ Modulo de ruptura (kg/cm ²)	1237.40Db ^{1.25}	1806.89Dn ^{1.25}
▪ Modulo de elasticidad x 1000 (kg/cm ²)	165.92Db	196.86Dn
2. Impacto (cm)	289.56Db ^{1.75}	240.284Dn ^{1.75}
3. Compresión paralela a la fibra:		
▪ Esfuerzo al límite de proporcionalidad (kg/cm ²)	369.11Db	615.18Dn
▪ Esfuerzo máximo (kg/cm ²)	473.16Db	857.74Dn
▪ Modulo de elasticidad x 1000 (kg/cm ²)	204.59Db	237.64Dn
4. Compresión perpendicular a la fibra.		
▪ Esfuerzo al límite de proporcionalidad (kg/cm ²)	210.92Db ^{2.25}	325.52Dn ^{2.25}
5. Dureza		
▪ Lateral (kg)	1696.43Db ^{2.25}	2177.24Dn ^{2.25}
▪ Extrema (kg)	1551.28Db ^{2.25}	1710.04Dn ^{2.25}

5.2.8 Elaboración de fichas tecnológicas

Se elaboraron fichas tecnológicas, las cuales servirán para la comunidad en general, con el ánimo que se conozca mejor las características y propiedades de estas dos especies de madera y pueda hacerse un uso más adecuado de las mismas. Igualmente se espera que sea de utilidad para la industria. Dichas fichas contienen información sobre los caracteres anatómicos, propiedades físicas, propiedades mecánicas analizadas y usos.

5.2.9 Medición de elementos constitutivos y determinación del tamaño de la muestra

Para cada una de las especies se describieron y se midieron los elementos constitutivos siguientes:

- a. Elementos de vasos: longitud, diámetro, tipo de puntuaciones y clase de placa perforada.
- b. Fibras: longitud, diámetro total, diámetro del lumen y grosor de la pared celular.
- c. Parénquima: tipo.
- d. Radios: altura y ancho.

Para determinar el tamaño de la muestra para las dimensiones de las fibras y los vasos anteriormente mencionadas, se utilizó el material disociado de un árbol, con las preparaciones temporales hechas se realizó un premuestreo; se midió inicialmente la longitud de 20 fibras y de 20 vasos; luego se determinó el tamaño de la muestra con la siguiente expresión:

$$n = \frac{(t^2 * c^2)}{d^2}$$

donde:

n : tamaño de la muestra

t : valor de la *T-student* al 95% de confianza

c : coeficiente de variación (CV)

d : diferencia entre el valor real y estimado (0,05)

Para éste, primero se determinó la media, la varianza, la desviación estándar, el coeficiente de variación y finalmente el tamaño de la muestra (n) con la expresión anteriormente mencionada. Este mismo tamaño de muestra se utilizó en el total de especímenes utilizados para determinar las características de la madera.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Características anatómicas microscópicas de la madera de cedro (*Cedrela odorata* L)

La tabla 4 y figura 10, presentan las características anatómicas de la madera de cedro. En esta investigación en cuanto a la porosidad, se encontró que su distribución es circular. Los poros son solitarios y múltiples, con punteaduras intervasculares alternas y con placa perforada simple. Elementos vasculares con una longitud promedio de 466 μ ; valor mínimo de 345 μ y máximo de 535 μ (10x). Además, se encontró en este estudio que el número de vasos oscila entre 2-8 por mm^2 . El diámetro medio tangencial de vasos fue de 168 μ y el diámetro medio radial fue de 144 μ (Ver tabla 4).

León *et al.* (2001), reportó para esta madera porosidad circular, coincidiendo los dos estudios en este aspecto. También reportó valores para el diámetro tangencial medio mínimo de 240 μ , media de 292 μ y diámetro medio máximo de 345 μ , siendo este superior a este estudio. También reportó un número de 2-5 poros por mm^2 . Igualmente, Richter *et al.* (2000), reportó de 2-3 vasos por mm^2 y el diámetro tangencial promedio de los vasos 240 μ , siendo menos numerosos estos vasos a los encontrados en este estudio, pero mayor el diámetro de los mismos.

En el caso del parénquima axial, se presenta difuso, marginal en bandas y paratraqueal vasicéntrico. León *et al.* (2001), describió un parénquima apotraqueal difuso, difuso en agregados, paratraqueal vasicéntrico delgado, aliforme de ala corta, y en bandas marginales, coincidiendo en esta clasificación, excepto por el parénquima apotraqueal difuso en agregados y el aliforme de ala corta, que no fue descrito en este estudio. Las coincidencias en algunos caracteres puede estar relacionada con las condiciones geográficas

parecidas de las dos regiones, pues son regiones que están localizados en dos regiones selváticas, además de ser tropicales húmedas, con condiciones climáticas favorables para el desarrollo forestal.

En cuanto a los contenidos celulares, esta especie y en este estudio, presenta gomas en los vasos; gomas en el parénquima axial, gomas y aceites en el parénquima radial e igualmente en las fibras (Ver figura 10).

Los radios presentaron una longitud ascendente en la distancia desde la médula hacia la corteza, en cuanto a la altura se refiere, muestra una tendencia definida ascendente. En dirección tangencial presentó valor promedio de 323 μ (alto) y radial de 42 μ (ancho) (4x). Radios de 1-4 célula, con una media de 3 células de ancho. Radios de tipo homocelular o heterocelular (Ver tabla 4 y figura 10); coincidiendo esta característica microscópica con Richter *et al.* (2000), que reportó radios compuestos por un solo tipo de células (homocelulares) o compuestos por dos o más tipos de células (heterocelulares). Richter *et al.* (2000), reportó para cedro, radios con 1 a 4 células de ancho y altura de los radios grandes, hasta 500 μ .

Tabla 4. Características microscópicas de la madera de cedro (*Cedrela odorata* L)

POROS			ELEMENTOS VASCULARES		
Distribución	Agrupación	N°/mm ²	Longitud (μ)	Puntuación	Placa perforada
Circular	Solitarios, ocasionalmente múltiples	4	Máx.= 534.85 Media= 466.18 Min.= 345.28 D.E.=37.22	Alternas	Simple
PARÉNQUIMA					
Axial		Radial			
Tipo		Clase		Tipo	

Difuso, marginal en bandas y paratraqueal vasicéntrico.	Triseriado		Homo y heterogéneo
CONTENIDOS CELULARES			
En Vaso	En Parénquima axial	En Parénquima radial	En Fibras
Gomas	Gomas, aceites	Gomas	Gomas, aceites
RADIOS			
Valores	Diámetro tangencial (μ)	Diámetro radial (μ)	
Máximo	369.96	46.36	
Media	322.73	41.75	
Mínimo	261.70	31.02	
D.E	35.77	5.61	

Las fibras son de tipo libriforme, con una longitud media de 1,209 μ (4x), un diámetro medio de lumen de 23 μ y diámetro total de 35 μ y grosor de la pared celular de 12 μ . Richter *et al.* (2000), reportó una longitud promedio de las fibras de 1,050 μ , presentando una diferencia en estos dos estudios; en cuanto el promedio de la longitud de las fibras, en este estudio se presentó superior, esto pudo deberse quizá, a que estos árboles crecen en condiciones ambientales favorables, ya que por la abundancia de aguas lluvias, las altas temperatura, la diversidad de especies, el alto o abundante aporte de materia orgánica de la diversidad de la flora del Chocó, favorece el desarrollo de las características de los árboles en este sitio (en este caso las fibras), además de que el suelo no está sometido a situación intensiva de producción, lo que favorece que este se mantenga en condiciones optimas para la producción forestal (Ver tabla 5).

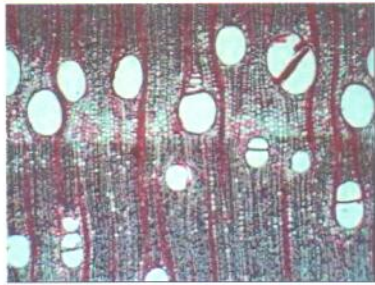
Tabla 5. Valores longitudinales y diametrales de las fibras de la madera de cedro (*Cedrela odorata* L).

Valores	Longitud de las fibras (μ)	Diámetro del lumen (μ)	Diámetro de fibra (μ)	Grosor de pared celular (μ)
Máximo	1,419.51	28.42	40.29	16.24
Medio	1,208.77	22.78	35.28	12.45
Mínimo	631.56	17.07	27.42	9.50
D.E.	136.92	2.77	2.59	1.50

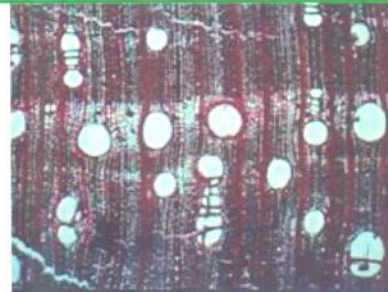
En la tabla 6, se muestra la clasificación de los contenidos celulares de la madera de cedro, obtenidos en este estudio.

Tabla 6. Clasificación de los elementos celulares de la madera de cedro (*Cedrela odorata* L).

Elementos celulares	Promedio característica considerada		Magnitud (μ)	Clasificación
Vasos	No./mm ²		4.00	Poco numerosos
	Diámetro	Tangencial	167.89	Medianos
		Radial	143.88	Medianos
	Longitud		466.18	Medianos
Fibras	Longitud		1,208.77	Medianas
	Diámetro total		35.28	Medianas
	Diámetro de lumen		22.83	Extremadamente ancho
	Grosor de la pared celular		12.45	Gruesa
Radios	Diámetro	Tangencial	322.73	Medianos
		Radial	41.75	Finos



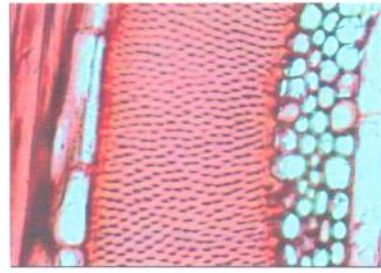
Distribución circular de poros



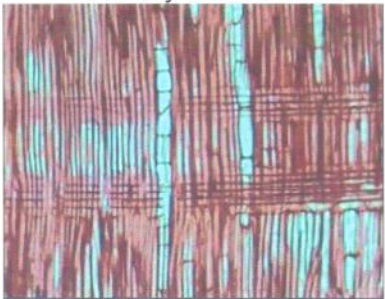
Vasos simples y múltiples



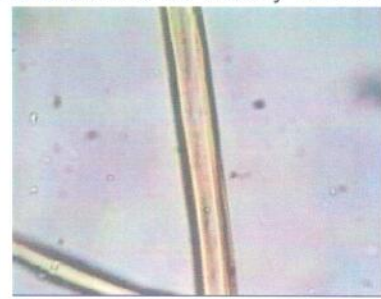
Ancho y alto de radio



Punteadura alterna de vaso y No. célula



Rayo homocelular



Ancho de fibra y lumen

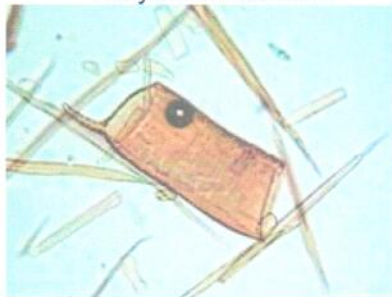


Figura 10. Características microscópicas de la madera de cedro (*Cedrela odorata* L.).

6.2 Características anatómicas microscópicas de la madera de algarrobo (*Hymenaea oblongifolia* Huber).

La tabla 7, 8 y figura 11, presentan las características microscópicas de la madera de algarrobo. En esta investigación, en cuanto a la porosidad, se encontró que su distribución es difusa y los poros se presentan solitarios y ocasionalmente múltiples; presentan punteaduras alternas con placa perforada simple. Además, los elementos vasculares presentan valores de longitud promedio de 477 μ , mínimo de 352 μ y un máximo de 586 μ (10x); el diámetro tangencial promedio fue de 207 μ y el radial fue de 173 μ , también presenta puntuaciones intervasculares alternas.

En el caso del parénquima axial, se presenta en bandas concéntricas, aliforme de ala corta y ancha, paratraqueal vasicéntrico; coincidiendo con la (FAO, 1998) en el parénquima paratraqueal vasicéntrico y aliforme. El parénquima radial fue biseriado y heterogéneo.

Continuando con la descripción, se encontró que en cuanto a los contenidos celulares, esta especie presenta gomas y aceites en los vasos, algunas veces taponados por las gomas abundantes y escasos aceites; el parénquima axial se presenta en series longitudinales cristalíferas con tendencia a la estratificación, la cual coincide con lo reportado por Corothie (1967); además en el parénquima axial presenta contenidos gomosos; el parénquima radial presenta contenidos de gomas y ocasionalmente aceites; asimismo, presenta depósitos de gomas en las fibras.

La madera de algarrobo presenta canales traumáticos con contenidos abundantes de gomas que se depositan de forma perpendicular a los rayos (Ver figura 11).

Los radios son claramente visibles a simple vista, numerosos, con gomas y células de 1 a 5, predominantemente 3 células. Corothie (1967), reportó en

promedio 4 células para *Hymenaea courbaril*. El promedio de los radios es de 576 μ de alto y 39 μ de ancho (10x).

Tabla 7. Características microscópicas de la madera de algarrobo (*Hymenaea oblongifolia* Huber).

POROS			ELEMENTOS VASCULARES		
Distribución	Agrupación	Nº/mm ²	Longitud (µ)	Puntuación	Placa perforada
Difusa	Solitarios, ocasionalmente múltiples	3 (10X)	Máximo= 586.01 Media= 476.83 Mínimo=351.55 D.E.=42.81	Alternas	Simple
PARÉNQUIMA					
Axial		Radial			
Tipo		clase		Tipo	
En bandas concéntricas, aliforme de ala corta y ancha, paratraqueal vasicéntrico.		Biseriado		Heterogéneo	
CONTENIDOS CELULARES					
EN VASO	EN PARENQUIMA AXIAL	EN PARENQUIMA RADIAL	EN FIBRAS		
Gomas y aceites	Gomas y cristales	Gomas y aceites	Gomas		
RADIOS					
Valores	Diámetro tangencial (µ)		Diámetro radial (µ)		
Máximo	751.49		54.59		
Media	576.21		38.75		
Mínimo	457.36		28.12		
D.E.	89.55		9.10		

Las fibras son de tipo libriforme, con una longitud media de 1,592 μ (4x), con diámetro de lumen medio de 14 μ y diámetro total de 30 μ y el grosor de la pared celular es de 17 μ .

La longitud de las fibras no mostró aumento en la distancia desde la médula hacia la corteza. Resultados similares fueron encontrados en otra especie del mismo grupo (latifoliadas), por Koltzemburg (1966) citado por Zobel y Van Buijtenen (1989), la cual no encontró cambios en las fibras de *Quercus* sp a lo largo del radio estudiado.

El diámetro del lumen de fibras fue variable. De acuerdo a Zobel y Van Buijtenen (1989), excepto la longitud de fibras las demás variables pueden no tener patrón definido alguno, lo que justifica este comportamiento en el lumen de las fibras.

El grosor de la pared celular no mostró aumento considerable en los datos en la distancia desde la médula hacia la corteza. León y Espinoza de Pernía (1998), encontraron en *Cordia thaisiana* que el espesor de la pared incrementa en sentido radial, contrastando con este. En este sentido, se menciona que en los primeros años de la vida de un árbol, la cantidad de materia fotosintetizada se utiliza en la creación de nuevas células (multiplicación) y queda muy poco para el engrosamiento de la pared (Moglia *et al.* 2001); lo que quizá podría ser la razón para que no se presentara una variación marcada o un aumento considerable en la distancia de la medula hacia la corteza, no presentando un incremento importante a medida que los árboles fueron alcanzando un crecimiento en diámetro, pudo ser solo multiplicación de las células.

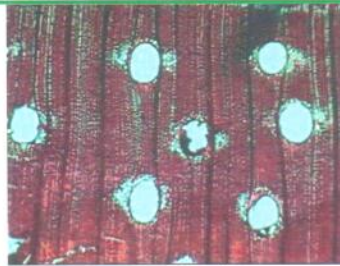
Tabla 8. Dimensiones longitudinales y diametrales de las fibras de la madera de algarrobo (*Hymenaea oblongifolia* Huber).

Valores	Longitud de fibra (μ)	Diámetro de lumen (μ)	Diámetro de fibra (μ)	Grosor de la pared celular (μ)
Máximo	1,986.2	20.42	37.46	19.74
Media	1,592.16	13.77	30.37	16.60
Mínimo	133.72	8.37	21.20	10.43
D.E.	136.55	2.01	3.17	1.82

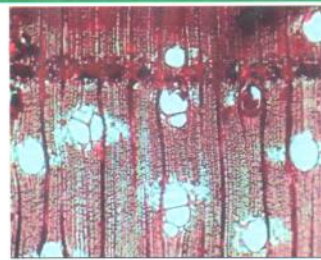
En la tabla 9 se presentan los contenidos celulares y la clasificación de los mismos, de la madera de algarrobo.

Tabla 9. Clasificación de los elementos celulares de la madera de algarrobo (*Hymenaea oblongifolia* Huber).

Elementos celulares	promedio de la característica considerada		Magnitud (μ)	Clasificación
Vasos	No./mm ²		3.0	Poco numerosos
	Diámetro	Tangencial	206.63	Grandes
		Radial	173.07	Medianos
	Longitud		476.83	Medianos
Fibras	Longitud		1592.16	Moderadamente largas
	Diámetro total		30.37	Medias
	Diámetro de lumen		13.77	Moderadamente ancho
	Grosor de la pared celular		16.60	Gruesa
Radios	Diámetro	Tangencial	576.21	Moderadamente largos
		Radial	38.75	Finos



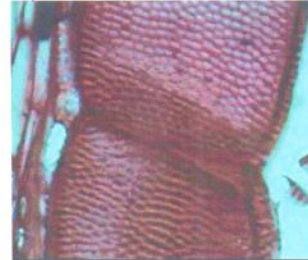
Poros solitarios



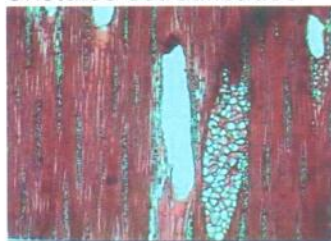
Poros múltiples, canal traumático con gomas



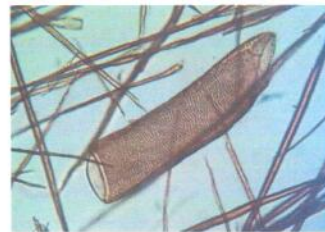
Cristales estratificados



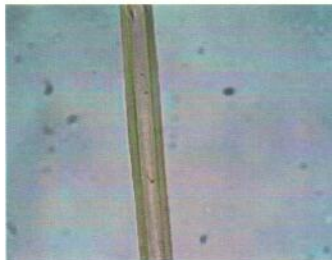
Punteaduras alternas



Radios



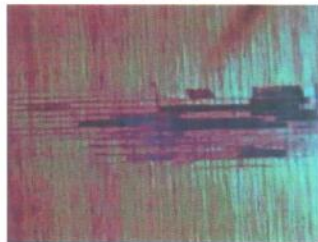
Elemento de vaso



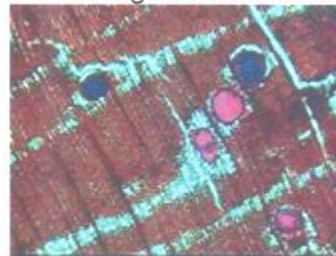
Pared de fibra y lumen



Longitud de fibra



Presencia de gomas en los rayos



Presencia de gomas en los poros

Figura 11. Características anatómicas de la madera de algarrobo (*Hymenaea oblongifolia* Huber).

6.3 Índices de calidad de pulpa para papel de la madera de cedro (*Cedrela odorata* L)

La madera de cedro presentó según la relación de Runkel, una regular calidad de pulpa para papel. Esta relación de Runkel es una de las características importantes, tomada como un referente de la calidad para la producción de pulpa para papel de una madera. Esta relación fue de 1.1 (Ver tabla 10). Carpio (1992), en la caracterización que hizo de esta madera, mencionó que ésta presenta una regular calidad de pulpa para papel, coincidiendo con éste estudio.

Tamarit (1996), reportó para la especie una clasificación de buena calidad de pulpa para papel. El autor registró una relación de Runkel de 0.57 y reportó una densidad básica de la madera de 0.36 g/cm^3 . En la calidad de la pulpa para papel, el autor relacionó la calidad con la densidad básica; en un estudio de varias especies en la que se encuentra el cedro, observó que los valores de densidad básica más bajos y los intermedios resultaron asociados a las mejores calidades (excelente, muy buena y buena). En este estudio, los valores de densidad fueron más altos que los reportados por Tamarit (1996); la densidad básica en este estudio fue de 0.39 g/cm^3 , lo que podría relacionarse con que la especie en este estudio, alcanzara una regular calidad para pulpa para papel.

La especie presentó fibras de paredes gruesas con valores altos en la relación de Runkel, lo que originaría una pulpa de baja calidad para papel, coincidiendo con lo reportado por Amidon (1981), Luna (1983), Casey (1990) y Tamarit (1996), que afirman que la densidad básica de la madera está fuertemente relacionada en forma inversamente proporcional con la calidad de la pulpa, en donde a menor densidad básica, la calidad de pulpa es mayor (Ver tabla 10).

Tabla 10. Índice de calidad de pulpa para papel de la madera de cedro (*Cedrela odorata* L).

Índice	Valor	Clasificación
Coeficiente de rigidez (CR)	0.71	Muy gruesa
Coeficiente de flexibilidad (CF)	0.65	Media
Coeficiente de Peteri o índice de esbeltez (IE)	52.94	No reportada
Relación de Runkel (RR)	1.09	Regular para papel

Clasificación de la relación de Runkel ($2w / l$) (Larios, 1979), citado por Tamarit (1996)

6.4 Índices de calidad de pulpa para papel de la madera de algarrobo (*Hymenaea oblongifolia* Huber)

La madera de algarrobo en este estudio presentaría según la relación de Runkel, una mala calidad de pulpa para papel. Esta relación fue de 2.4 (Ver tabla 11), por lo que se descartaría la madera para su posible uso para la obtención de pulpa para papel.

Al igual que el cedro, la calidad para pulpa de la madera de algarrobo no sería buena; en este caso, la madera presentaría mala calidad de pulpa para papel. Si se relaciona la calidad para pulpa con la densidad básica, esta especie presentaría mala calidad debido a su alta densidad, que en este estudio fue de 0.64 g/cm^3 y presentó paredes celulares gruesas con 17μ y fibras moderadamente largas con $1,592 \mu$.

Relacionando la especie con lo que afirman Amidon (1981), Luna (1983), Casey (1990) y Tamarit (1996), que indican que la densidad básica de la madera está fuertemente relacionada en forma inversamente proporcional con la calidad de la pulpa para papel en donde a menor densidad, la calidad de pulpa es mayor, por consiguiente en este caso se descartaría.

Tabla 11. Índices de calidad de pulpa para papel de la madera de algarrobo (*Hymanaea oblongifolia* Huber).

Índice	Valor	Clasificación
Coeficiente de rigidez (CR)	1.09	Muy gruesa
Coeficiente de flexibilidad (CF)	0.53	Media
Coeficiente de Péteri o índice de esbeltez (IE)	52.43	No reportada
Relación de Runkel (RR)	2.41	Mala calidad para papel

Clasificación de la relación de Runkel ($2w / l$) (Larios, 1979), citado por Tamarit (1996).

6.5 Densidad básica de las maderas estudiadas

La densidad es una de las propiedades tecnológicas más importantes de la madera, dada la estrecha relación que existe entre ésta y otras características de este material, constituyendo por lo tanto, un excelente criterio de evaluación (Díaz-Vaz y Ojeda 1980, Haygreen y Bowyer 1982).

6.5.1 Densidad básica de la madera de cedro (*Cedrela odorata* L)

La figura 12 muestra los valores de la media estimada de la densidad básica de los siete árboles de cedro; la media general fue de 0.39 g/cm^3 , variando entre 0.30 y 0.45 g/cm^3 . Un valor muy parecido de densidad básica de $0,38 \text{ g/cm}^3$ para el cedro fue reportado por CONFEMADERAS (2004). La FAO (1998), reportó un valor promedio de densidad básica de 0.32 g/cm^3 . En otro estudio de maderas comerciales Richter *et al.* (2000), reportó valor alrededor de 0.46

g/cm³ el cual es muy superior al encontrado en este estudio. Esta superioridad de este valor reportado por este autor con relación a el encontrado en este estudio, pudo estar relacionado con la cantidad abundante de madera juvenil presente en este estudio; aun cuando hubo presencia de abundantes gomas y ocasionalmente aceites, la madera presentó una densidad ligera, contrastando con el otro estudio, ya que éste reporta que en su investigación las estructuras secretoras como las células oleíferas y mucilaginosas estuvieron ausentes, mientras que en éste estudio estuvieron presentes; en este estudio, quizá pudo influir además las condiciones ambientales y climáticas (Ver figura 12).

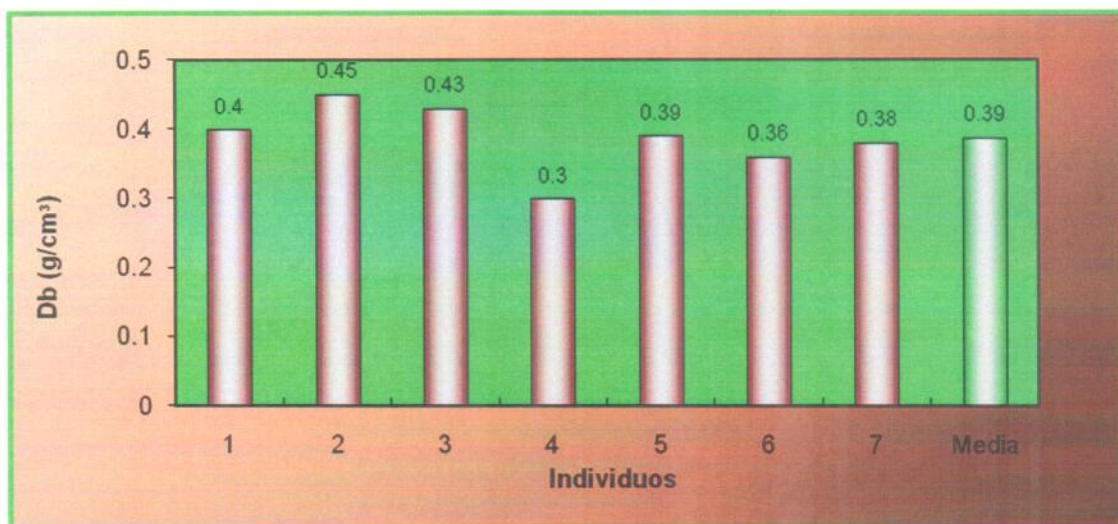


Figura 12. Densidad básica promedio de la madera de cedro (*Cedrela odorata* L).

La figura 13 representa la variación de la densidad básica promedio a lo largo de la sección radial de la madera de cedro; se puede observar que esta se presenta constante a lo largo de la sección, hasta la zona determinada a los 12 cm de longitud de la médula hacia la corteza. A partir de la zona determinada a los 13 cm de la distancia desde la médula hacia la corteza, esta característica varía para experimentar un incremento entre ésta zona de 13 cm y la determinada a los 14 cm, cambiando la pendiente de densidad. Atendiendo el

valor medio y de acuerdo a la clasificación de la densidad básica hecha por Vignote (1996), ésta madera se clasifica en la categoría de madera ligera.

Teniendo en cuenta los promedios de las secciones de la densidad básica, se observa un ligero incremento en las secciones de la zona intermedia para disminuir cerca de la corteza. La curva de regresión ajustada presenta un R^2 de 0.0129, lo que podría indicar que la tasa de crecimiento en diámetro de la especie no ejerce una influencia marcada sobre la densidad básica de la misma, pues su coeficiente de determinación es apenas de 0.0129.

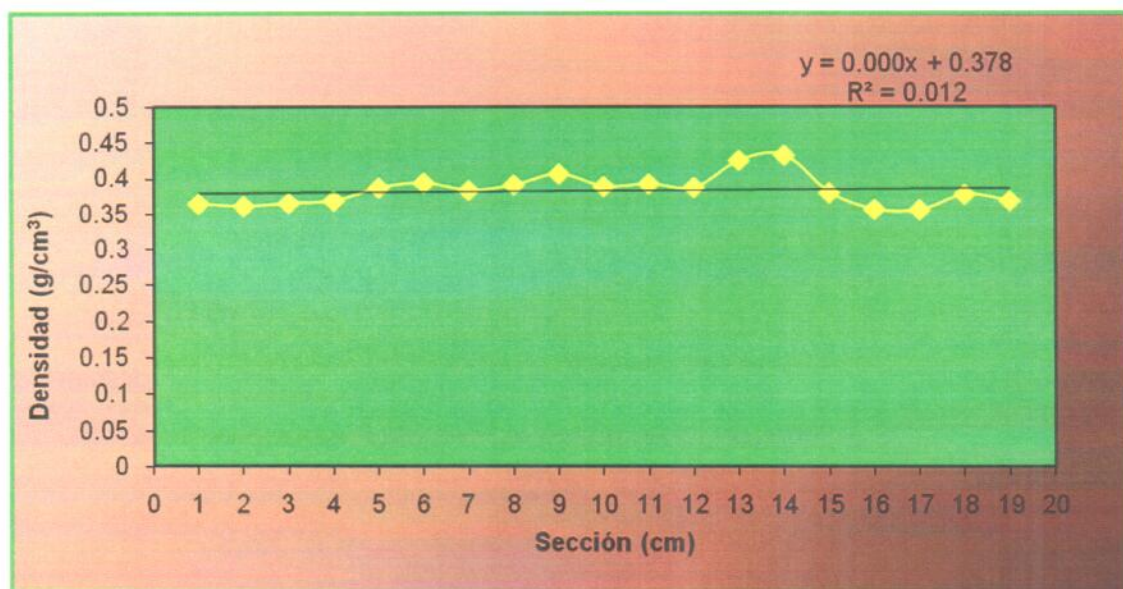


Figura 13. Variación de la densidad básica de la madera de cedro (*Cedrela odorata* L).

6.5.2 Densidad básica de la madera de algarrobo (*Hymenaea oblongifolia* Huber).

La variación de la densidad básica de algarrobo en los cuatro árboles muestreados para esta característica presentó valores de 0.64 g/cm³; 0.62 g/cm³; 0.63 g/cm³; y 0.68 g/cm³, respectivamente; la media fue de 0.64 g/cm³; es una madera que en la clasificación de la densidad básica obtiene la

categoría de madera semipesada según la clasificación para maderas hecha por Vignote (1996); CIRAD (2003), reportó un valor de 0.93 g/cm^3 de densidad básica para *Hymenaea courbaril* renombrada por este como sinonimia. Un valor de densidad básica superior de 0.77 g/cm^3 a este estudio, fue reportado por CONFEMADERAS (2004), para *Hymenaea* spp.

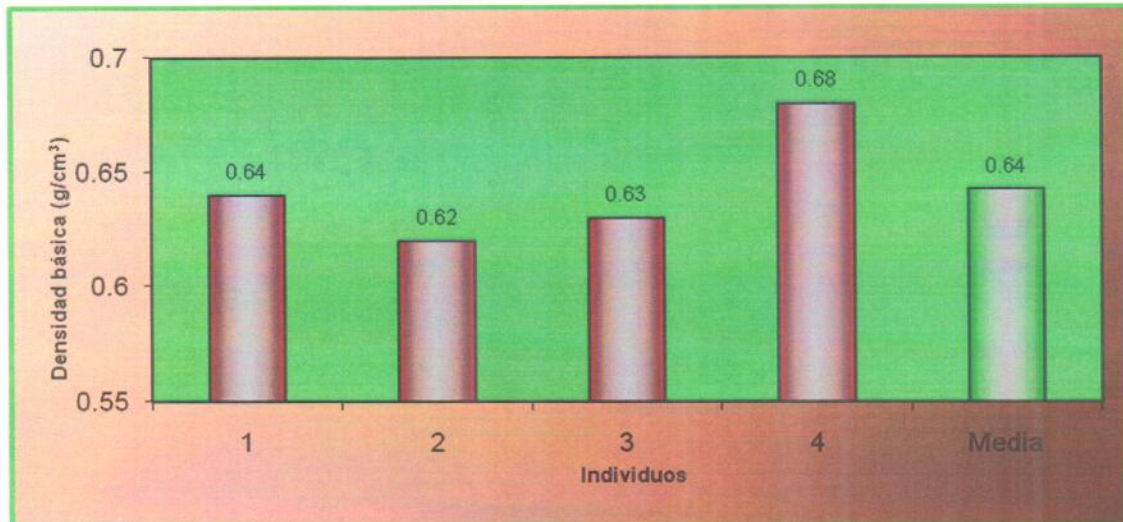


Figura 14. Variación de la densidad básica promedio de la madera de algarrobo (*Hymenaea oblongifolia* Huber).

En la madera cerca de la médula hasta el centro, se presentaron los valores más altos de densidad y cerca de la corteza se presentaron los valores más bajos (Ver figura 15). Este es un comportamiento normal que se puede presentar en la densidad de las maderas tropicales latifoliadas. Valor de densidad básica alrededor de 0.62 g/cm^3 fue reportado por el INIA (1996), para *Hymeneaea courbaril*, categorizando esta especie como madera pesada.

Para otros estudios de especies tropicales latifoliadas como *Tectona grandis* de plantaciones forestales, la densidad se presenta baja cerca de la médula y aumenta cerca de la corteza; Zobel y Van Buijtenen (1989), obtuvieron resultados de ese tipo también; reportando que la madera de teca presenta una

disminución de la densidad básica conforme aumenta la tasa de crecimiento en diámetro.

Aunque la densidad básica no presenta una variación definida correspondiente a los modelos registrados o a los modelos descritos por Brown y Panshin (1980), en los que muestra diferentes modelos que puede presentarse en la densidad básica en los árboles; en este estudio, presentan una variación definida diferente, ajustados de forma lineal.

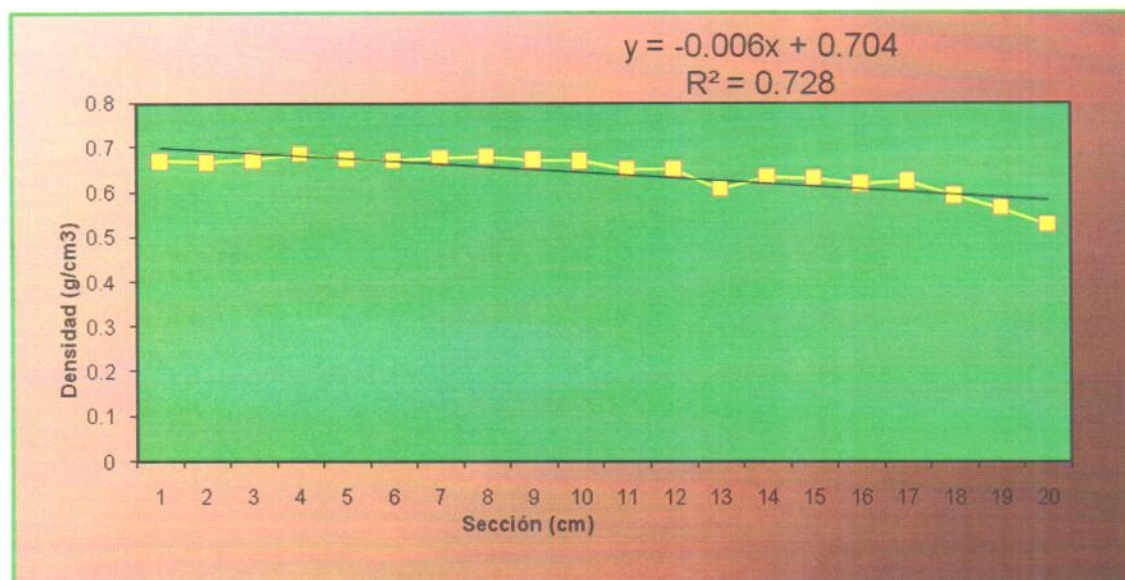


Figura 15. Variación de la densidad básica de la madera de algarrobo (*Hymenaea oblongifolia* Huber).

6.6 Zona de transición de la madera juvenil a madura

Para la demarcación de la zona de transición de la madera juvenil a madura, se utilizaron los valores de la densidad básica. Una vez obtenida la densidad básica, se aplicó una regresión segmentada para ajustar diferentes modelos a los valores observados de la densidad básica.

6.6.1 Zona de transición de la madera juvenil a madura de cedro (*Cedrela odorata* L).

La figura 16, muestra el comportamiento de la densidad básica y los modelos ajustados cuya información expone la zona de transición de la madera juvenil a madura de cedro. Se evidencia el cambio de la pendiente de la densidad en la zona determinada por los 13 cm.

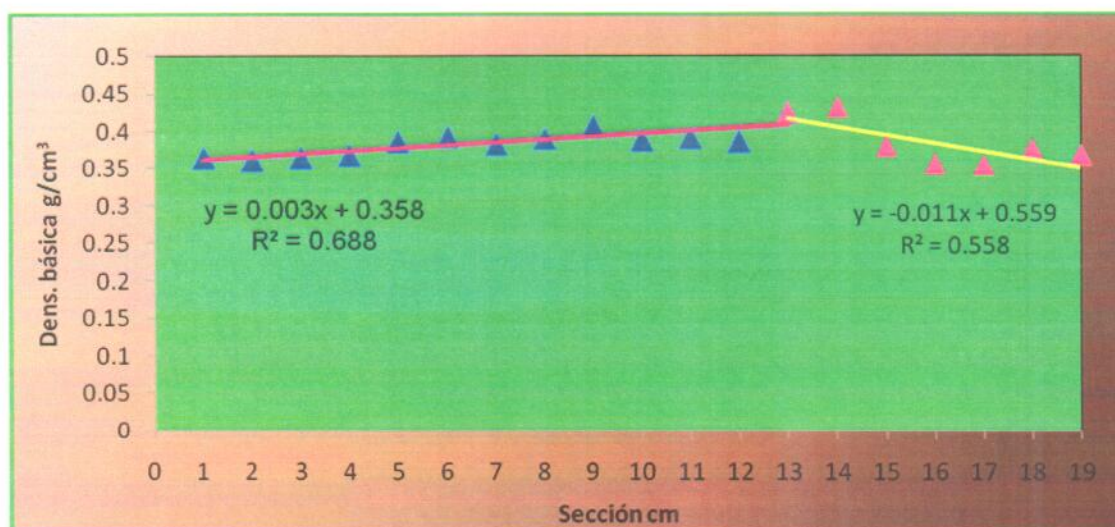


Figura 16. Zona de transición de la madera juvenil a madura considerando la densidad básica de cedro (*Cedrela odorata* L).

Por otra parte, la figura 17 muestra los cuadrados medios del error de los modelos ajustados en la regresión segmentada para determinar la zona de transición. La zona determinada por los 13 cm, indica el valor más bajo de los cuadrados medios del error, con un valor de 0.00023731 que en este caso, se obtiene en esta zona. Esta zona corresponde a un diámetro del árbol de aproximadamente 26 cm. Lo que sugiere que el cedro en este sitio de estudio, podría alcanzar la madurez aproximadamente a los 26 cm de diámetro.

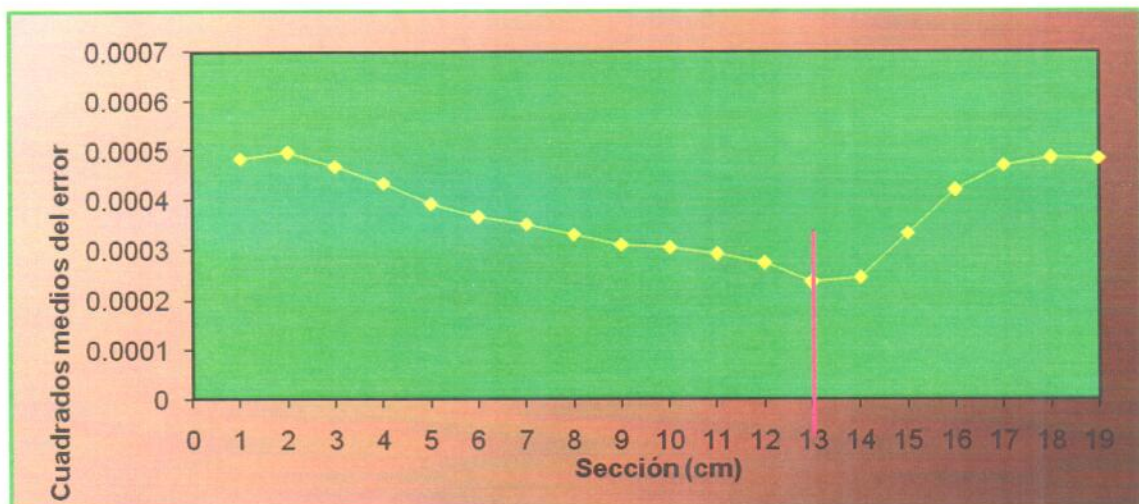


Figura 17. Cuadrados medios del error en la madera de cedro (*Cedrela odorata* L).

6.6.2 Zona de transición de la madera juvenil a madura de algarrobo (*Hymenaea oblongifolia* Huber).

La figura 18, muestra la zona de transición de la madera juvenil a madura de algarrobo utilizando la densidad básica. Esta característica, presentó una pendiente constante desde la médula hasta la zona determinada aproximadamente por los 12 cm de la distancia de la médula a la corteza y posteriormente disminuye notoriamente en la zona determinada aproximadamente por los 17 cm muy cerca de la corteza, donde experimenta un descenso mayor en la pendiente, lo cual indica que en esta zona es donde posiblemente ocurre la zona de transición de la madera juvenil a madura; esto bajo el principio de otros estudios realizados por Meza *et al.* (2005), entre otros estudios, en otras maderas.

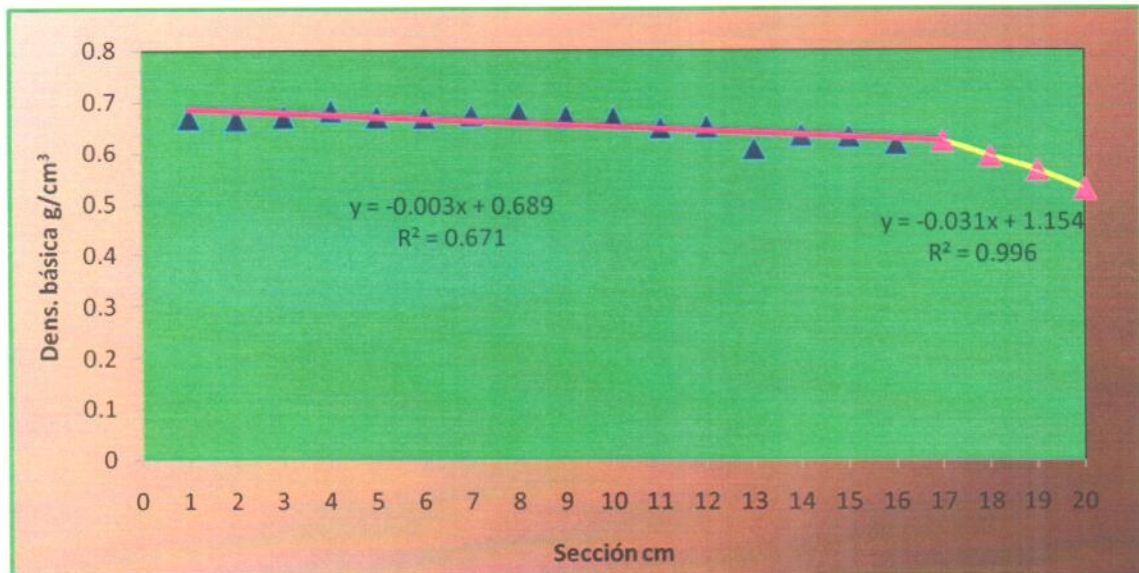


Figura 18. Sección de transición de la madera juvenil a madura considerando la densidad básica de algarrobo (*Hymenaea oblongifolia* Huber).

Como se mencionó anteriormente, se encontró que la densidad básica se mantiene constante en la distancia de la médula hacia la corteza hasta la zona determinada aproximadamente por los 12 cm donde la pendiente de la densidad experimenta un descenso; pero luego aumenta para volver a disminuir en una magnitud mayor (punto T) en la zona determinada aproximadamente por los 17 cm muy cerca de la corteza, según lo muestra el cuadrado medio más bajo (errores estadísticos), con un valor de 0.00017624, que de manera equivalente indica el punto T, donde hubo un cambio de pendiente y define la zona de transición de la madera juvenil a madura; aunque la pendiente disminuye dos veces, tomando como principio lo que sugiere la regresión segmentada, que el punto de la pendiente que muestre el cuadrado medio de error más bajo, indica el cambio o la zona de transición de la madera juvenil a madura, la cual corresponde a la zona determinada más o menos por los 17 cm (Ver figura 19).

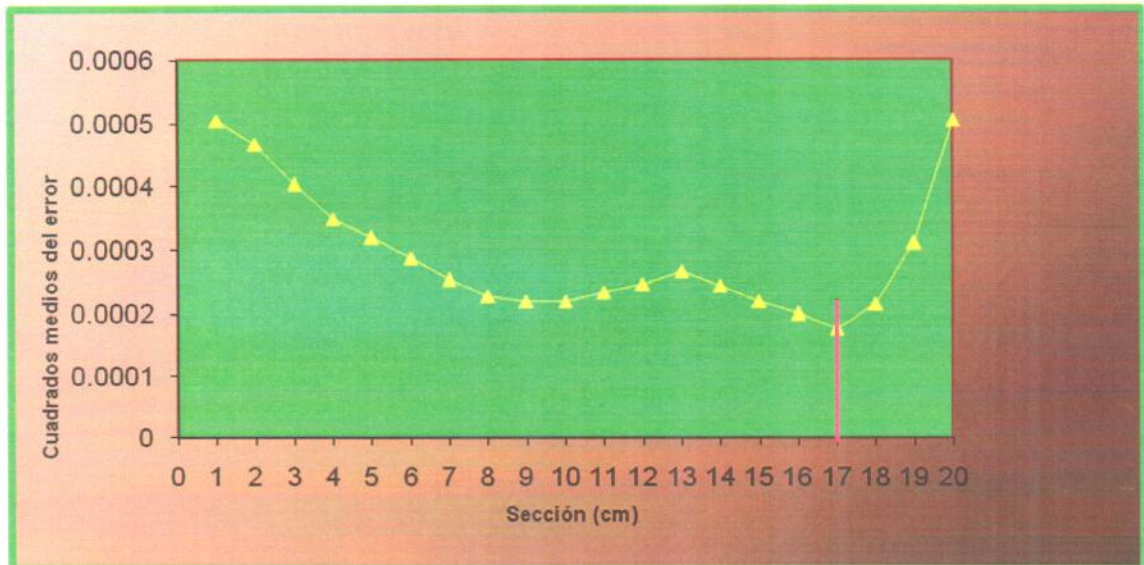


Figura 19. Cuadrados medios de error en la madera de algarrobo (*Hymenaea oblongifolia* Huber).

6.7 Poder calorífico de las maderas estudiadas

El poder calorífico se define como la cantidad de energía en forma de calor liberada por la combustión de una unidad de masa de la madera (JARA, 1989). En el Sistema Internacional el poder calorífico es expresado en joules por gramo o kilojoules por kilogramos, pero puede ser expresado en calorías por gramo o kilocalorías por kilogramos, según Briane & Doat (1985).

6.7.1 Poder calorífico de la madera de cedro (*Cedrela odorata* L)

En la tabla 12 y la figura 20, se presentan los resultados del poder calorífico de la madera de cedro tomados al diámetro a la altura normal. El poder calorífico se presenta ligeramente más bajo en la zona intermedia, con relación a la zona de la médula con 4,494 y 4,515 cal/g, respectivamente; el poder calorífico mayor lo presenta la zona de la corteza con 4,614 cal/g. La madera presentó un poder calorífico promedio de 4,542 cal/g, más bajo que el que reportó Quirino *et al.* (2005); este autor reportó un valor para la especie de 4,707 cal/g,

lo que indica que en este estudio el poder calorífico de la madera, fue ligeramente más bajo.

Aunque el valor encontrado en este estudio es alto, éste fue inferior al reportado por Quirino *et al.* (2005), éste hecho, pudo estar relacionado quizá con la gran cantidad de madera juvenil presente en la madera, lo que pudo afectar el poder de combustión de la zona centro a la médula y hacerlo mayor hacia la madera madura. Igualmente, puede existir una relación con la densidad básica, la cual fue ligeramente mayor hacia la corteza que hacia la médula. También, pudieron influir otras características, como el método o equipo utilizado, las condiciones ambientales de temperatura y presión del sitio del ensayo, entre otros aspectos.

Tabla 12. Poder calorífico de la madera de cedro (*Cedrela odorata* L).

Posición radial del árbol	Poder calorífico (cal/g)
Médula	4,515
Intermedio	4,494
Corteza	4,614
Poder calorífico medio	4,542

Los valores más bajos para el poder calorífico de la madera de esta especie encontrados en este estudio con relación a otros registrados, puede deberse quizá también a las condiciones geográficas y climáticas donde se desarrolla la especie; la zona de estudio registro niveles elevados de humedad relativa, temperatura y precipitación, situación que pudo haber influido en los niveles más bajos de poder calorífico, e inclusive de densidad básica.

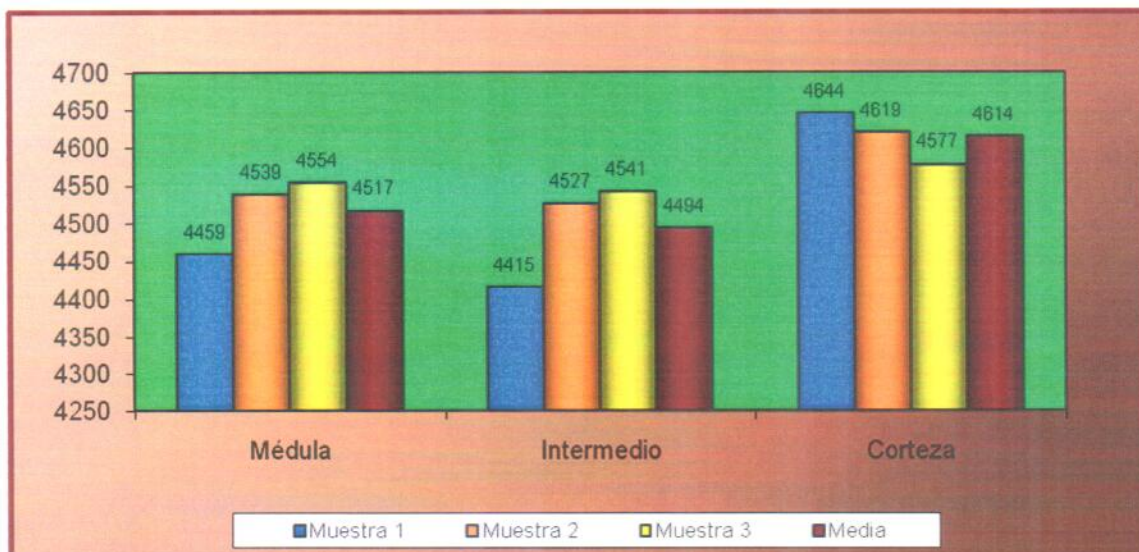


Figura 20. Variación del poder calorífico de la zona médula, intermedio y corteza de cedro (*Cedrela odorata* L)

Camacho (1985), citado por Sánchez (1993), reporta que cuando el calor de combustión se expresa en cal/cm^3 , se habla de la capacidad calórica, que resulta de tomar como un conjunto la densidad básica y el poder de combustión, lo cual se hace para evaluar la calidad de la combustión.

Por lo tanto, la capacidad calórica es la cantidad de energía que es capaz de almacenar un material en su interior cuando genera calor. Como interactúan las características del sitio en el que se realiza la prueba, Baily (1986), citado por Sánchez (1993), recomienda que sería necesario que los productos de la combustión pudieran ser analizados con precisión y las condiciones de temperatura y presión pudieran ser medidas durante el proceso, entonces si se podría hacer una estimación exacta de la cantidad de energía que se libera por volumen de material.

Siguiendo lo anterior, la tabla 13 presenta la relación tomando como un conjunto la densidad básica y el poder calorífico de cedro, la cual da como resultado la capacidad calórica de esta madera, que representaría entonces las calorías liberadas por unidad de volumen de esta madera en este sitio de

estudio; o sea, cuanta energía es capaz de liberar esta madera por unidad de volumen y cuál es la calidad en el proceso de combustión.

Tabla 13. Capacidad calórica de la madera de cedro (*Cedrela odorata* L)

Posición radial en el árbol	Densidad básica (g/cm ³)	Poder calorífico (cal/g)	Capacidad calórica (cal/cm ³)
Médula	0.36	4,515	1,625
Intermedio	0.40	4,494	1,806
Corteza	0.37	4,614	1,707

6.7.2 Poder calorífico de la madera de algarrobo (*Hymenaea oblongifolia* Huber).

En la tabla 14 y la figura 21, se presentan los resultados del poder calorífico de la madera de algarrobo. El poder calorífico fue superior en la zona de la médula con 4,778 cal/g y sucesivamente fue disminuyendo desde el centro hacia la corteza, en la zona intermedia el poder calorífico fue de 4,722 cal/g y la zona de la corteza fue 4,580 cal/g. El poder calorífico medio fue de 4,694 cal/g, mas bajo éste que el reportado por Quirino *et al.* (2005) para *Hymenaea courbaril*; el autor reportó un valor medio de 4,792 cal/g para la madera de cedro.

El valor del poder calorífico menor de la madera de esta especie en este estudio, con relación a otros reportes para la especie o el género puede estar relacionado con una mayor proporción de madera juvenil en los individuos. En este estudio la densidad básica fue más elevada hacia la madera juvenil y hacia la zona centro a la médula igualmente el poder calorífico, la cual muestra una relación directamente proporcional. Pero también puede estar relacionado con otros aspectos como las condiciones ambientales del sitio de desarrollo de la madera, condiciones y precisión del estudio, el método aplicado, el equipo

utilizado, entre otros. De todas formas el poder calorífico de la especie en este estudio es alto.

Tabla 14. Poder calorífico de la madera de algarrobo (*Hymenaea oblongifolia* Huber).

Posición radial en el árbol	Poder de combustión (cal/g)
Médula	4,778
Intermedio	4,722
Corteza	4,580
Poder calorífico medio	4,694

Browning (1963), citado por Cunha *et al.* (1989) afirma que el poder calorífico es más alto cuanto mayor es el contenido de lignina y extractivos, porque los mismos contienen menos oxígeno que los polisacáridos presentes en la holocelulosa (celulosa y hemicelulosa); la madera presentó abundantes contenidos de extractivos como gomas y aceites, lo que podría justificar el poder de combustión de la misma.

El poder calorífico de algarrobo es alto, si se considera que la leña comercial tiene un poder calorífico entre 3,000 – 4,000 cal/g, según la Revista Digital del Mundo del Fuego (s/f). También Almeida (1990) citado por Sánchez (1993), hizo el análisis del poder calorífico de las cinco especies más importantes utilizadas tradicionalmente como combustible en Cheranatzícurin en Michoacán, México y encontró un promedio de 4,520 cal/g entre las que se encuentra *Alnus jorullensis*. Camacho (1985) citado por Sánchez (1993), en su estudio realizado con seis maderas usadas tradicionalmente como combustibles en las que se encuentran las especies *Quercus crassipes* y *Alnus firmifolia* en el Estado de México, reportó valor promedio de 3,730 cal/g, este valor más bajo que el alcanzado en este estudio.

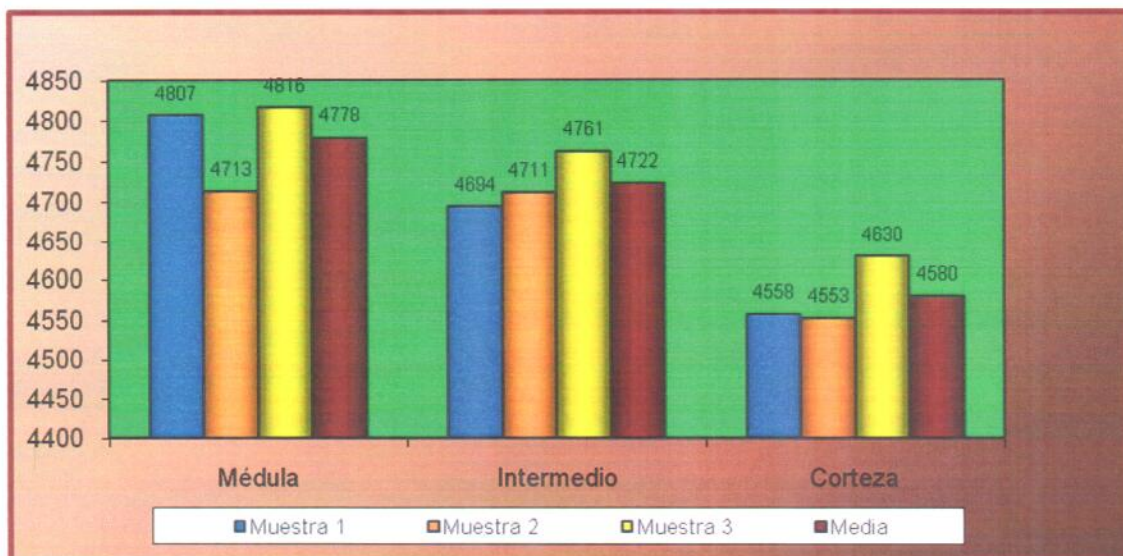


Figura 21. Variación del poder calorífico de la zona médula, intermedio y corteza de algarrobo (*Hymenaea oblongifolia* Huber).

La tabla 15 presenta la capacidad calórica de la madera de algarrobo tomando como un conjunto la relación de la densidad básica y el poder calorífico, la cual da como resultado la capacidad calórica, que representaría entonces las calorías liberadas por unidad de volumen de esta madera en este sitio de estudio y muestra la relación directa que existe entre estas; o sea, cuanta energía es capaz de liberar esta madera por unidad de volumen y cuál es la calidad del proceso de combustión. Esta característica entonces nos daría posiblemente información sobre cuánto podría arder un volumen determinado de madera de algarrobo y después de estudios, precisar cuánto puede servir la especie para energías alternativas y cuanto podría arder la especie en zonas como la región de estudio, en la cual aun es muy usual consumir tradicionalmente la leña de las maderas como combustibles, ya que las clasificaciones hechas por Camacho (1985) y Almeida (1990), citados por Sánchez (1993), fueron hechas siguiendo los parámetros de calidad observados por los campesinos que usan tradicionalmente las maderas como combustibles en aquellas zonas donde realizaron los estudios.

Tabla 15. Capacidad calórica de la madera de algarrobo (*Hymenaea oblongifolia* Huber).

Posición radial del árbol	Densidad básica (g/cm ³)	Poder calorífico (cal/g)	Capacidad calórica (cal/cm ³)
Médula	0.67	4,778	3,201
Intermedio	0.66	4,722	3,117
Corteza	0.56	4,580	2,565

6.8 Propiedades mecánicas de las maderas estudiadas

6.8.1 Propiedades mecánicas de la madera de cedro (*Cedrela odorata* L)

La tabla 16, muestra los valores de las propiedades mecánicas de cedro, se puede observar que la madera de cedro se clasifica en la categoría de propiedades mecánicas como de mediana resistencia.

Los valores de resistencia para las propiedades mecánicas al 12% de contenido de humedad (CH) a la flexión estática como es el esfuerzo al límite de proporcionalidad fue de 569 kg/cm², el módulo de ruptura fue de 875.32 kg/cm², y el modulo de elasticidad fue de 110.24 x 1000 kg/cm²; el esfuerzo máximo en compresión paralela a la fibra fue de 480.33 kg/cm², el esfuerzo al límite de proporcionalidad fue de 344.50 kg/cm², el modulo de elasticidad fue de 133.08 x 1000 kg/cm²; la compresión perpendicular a la fibra en el esfuerzo al límite de proporcionalidad fue de 88.31 kg/cm². La dureza lateral y de los extremos fue de 590.65 y 463.90 kg, respectivamente. Estos resultados ubican a la madera en una categoría de mediana resistencia mecánica. Estos valores son superiores a los que reportó Bárcenas *et al.* (2003), para la especie, alrededor de 672 kg/cm² para el modulo de ruptura en flexión estática; el esfuerzo máximo en compresión paralela a la fibra fue de 274 kg/cm²; El

esfuerzo máximo en compresión perpendicular a la fibra fue de 73 kg/cm²; la dureza janka lateral fue de 254 kg y la dureza extrema de 381 kg.

FAO (s/f), reporta valores para la misma especie, para módulo de elasticidad 74 x 1000 Kg/cm², módulo de ruptura 511 kg/cm², E.R. compresión paralela a la fibra fue de 400 Kg/cm², dureza lateral fue de 69 kg, estos valores mucho más bajos que los reportados en este estudio.

IRENA (1992), reporta que a un CH de 12% el módulo de rotura fue bajo con 511 kg/cm², compresión paralela a la fibra al máximo esfuerzo fue muy baja con 404 kg/cm²; igualmente, en la compresión perpendicular a la fibra, el esfuerzo al límite de proporcionalidad es bajo con 37 kg/cm², la dureza Janka es baja con 220 kg y la de los extremos es baja con 364 kg. Estos ensayos fueron más bajos que los reportados en este estudio, pero hay que precisar que los reportados por el autor anterior fueron hechos en probetas normalizadas de laboratorio en Nicaragua, lo que pudo ser el factor que marcó la diferencia entre los dos estudios, pues en este estudio fueron calculados con coeficientes y hay que estar sujeto a altas variaciones de los resultados por los índices utilizados.

Tabla 16. Propiedades mecánicas la madera de cedro (*Cedrela odorata* L), calculadas con coeficientes matemáticos a partir de la densidad básica y la densidad normal.

Ensayo	Madera verde	Clasificación	Madera al 12% CH	Clasificación
1. Flexión estática				
♦ Esfuerzo al límite de proporcionalidad (kg/cm ²)	221.02	Muy bajo	568.79	Medio
♦ Modulo de ruptura (kg/cm ²).	381.37	Muy bajo	875.32	Medio
♦ Modulo de elasticidad x 1000 (kg/cm ²)	64.709	Muy bajo	110.24	Medio
2. Compresión paralela a la fibra				
♦ Esfuerzo al límite de proporcionalidad (kg/cm ²)	143.95	Muy baja	344.50	Medio
♦ Esfuerzo máximo (kg/cm ²).	184.53	-	480.33	-
♦ Modulo de elasticidad x 1000 (kg/cm ²)	79.790	bajo	133.08	Medio
3. Compresión perpendicular a la fibra.				
♦ Esfuerzo al límite de proporcionalidad (kg/cm ²)	25.35	Muy baja	88.31	Medio
4. Dureza:				
♦ Lateral (kg)	203.91	Baja	590.65	Alta
♦ Extremas (kg)	186.46	Muy baja	463.90	Media

6.8.2 Propiedades mecánicas de la madera de algarrobo (*Hymenaea oblongifolia* Huber)

La tabla 17 muestra los valores de resistencia para las propiedades mecánicas de algarrobo al 12% de contenido de humedad a la flexión estática como es el esfuerzo al límite de proporcionalidad fue de 923.59 kg/cm², el módulo de ruptura en flexión estática fue de 1,421.33 kg/cm² y el modulo de elasticidad fue de 162.47 x 1000 kg/cm²; la compresión paralela a la fibra en el esfuerzo máximo fue de 707.89 kg/cm², el esfuerzo al límite de proporcionalidad fue de 507.71 kg/cm², el modulo de elasticidad fue de 196.12 x 1000 kg/cm²; la compresión perpendicular a la fibra en el esfuerzo al límite de proporcionalidad fue de 211.33 kg/cm². La dureza lateral y de los extremos fue de 1,413.46 y 1,110.15 kg, respectivamente. En general los coeficientes muestran a la madera, o la clasifican en la categoría como madera de alta a muy alta resistencia mecánica.

CONFEMADERA (2004), reportó para *Hymeneae ssp*, valores altos para módulo de elasticidad a flexión estática la cual fue de 180.000 Kg/cm²; el esfuerzo máximo fue de 1.338 Kg/cm², el esfuerzo al límite de proporcionalidad a la compresión paralela a la fibra fue superior con valor de 750 Kg/cm². FAO (s/f), reportó para *Hymenaea courbaril* en el módulo de elasticidad un valor de 163 x 1000 kg/cm², módulo de ruptura de 1,515 kg/cm², E.R. compresión paralela fue de 886 kg/cm², dureza lateral fue de 1,351 kg.

Esfuerzo al límite de proporcionalidad a la flexión estática fue de 550 kg/cm², el modulo de ruptura de 1,300 kg/cm², modulo de elasticidad fue de 150 x 1000 kg/cm², compresión paralela y compresión perpendicular, impacto y dureza lateral, más bajos que los obtenidos en éste estudio, fueron reportados por USAID (2002) para *Hymenaea palustris*.

Cabe destacar que la madera de algarrobo, presentó una densidad básica según la clasificación seguida en este estudio como semipesada y contiene

muchos extractivos y las características anatómicas microscópicas estudiadas fueron medianas a moderadamente altas; estas propiedades la convierten en una madera de alta resistencia mecánica, además de las características de crecimiento natural que presentaron los fustes de los especímenes estudiados (muy rectos y libres de ramificaciones). Pero según lo observado, la madera de estos árboles presenta mayor cantidad de madera juvenil que la madera madura, lo cual podría justificar que algunas propiedades se clasifican más bajas con relación a otros registros acerca del mismo género mencionados en la literatura.

Es importante también mencionar que aunque la madera presenta gran cantidad de madera juvenil, las características mecánicas en términos generales son altas, calificando como madera de alta a muy alta resistencia. Lo que ubica a la madera en una posibilidad importante para usarse en construcciones de edificios y plataformas, la cual está siendo una aplicación bastante frecuente en países como en Suiza, Francia y Japón, entre otros países; también es importante para otros usos en construcciones pesadas, por mencionar solo algunos usos importantes.

Tabla 17. Propiedades mecánicas de la madera de algarrobo (*Hymenaea oblongifolia* Huber), calculadas con coeficientes matemáticos a partir de la densidad básica y la densidad de normal.

Ensayo	Madera verde	Clasificación	Madera al 12% CH	Clasificación
1. Flexión estática				
♦ Esfuerzo al límite de proporcionalidad (kg/cm ²)	410.98	media	923.59	Muy alto
♦ Modulo de ruptura (kg/cm ²)	708.33	Bajo	1421.33	Muy alto
♦ Modulo de elasticidad 1000 (kg/cm ²)	106. 1888	Medio	162.470	Alto
2. Impacto (cm)	132.60	Muy alto	171.71	Muy alto
3. Compresión paralela a la fibra				

Ensayo	Madera verde	Clasificación	Madera al 12% CH	Clasificación
♦ Esfuerzo al límite de proporcionalidad (kg/cm ²)	236.23	Muy bajo	507.71	Medio
♦ Esfuerzo máximo (kg/cm ²)	302.82	-	707.89	-
♦ Modulo de elasticidad 1000 (kg/cm ²)	130.9376	Media	196.120	Muy alto
4. Compresión perpendicular a la fibra				
♦ Esfuerzo al límite de proporcionalidad (kg/cm ²)	77.27	Medio	211.33	Muy alto
5. Dureza				
♦ Lateral (kg)	621.50	Media	1413.46	Muy alta
♦ Extremas (kg)	568.32	Media	1110.15	Muy alta

Cabe precisar, que los datos obtenidos en este estudio, son el resultado de la utilización de coeficientes establecidos matemáticamente y solo sirven como un referente de las propiedades mecánicas ya que no fueron valores observados en laboratorio con probetas normalizadas para este tipo de ensayos.

6.9 Usos potenciales posibles para las maderas de cedro (*Cedrela odorata* L) y algarrobo (*Hymenaea oblongifolia* Huber) para la zona de estudio.

Las dos especies estudiadas pueden representar una importante fuente para el desarrollo de la industria en la región de estudio; habría que pensar en hacer repoblaciones para las mismas y organizar la industria en la zona, ya que es bastante deficiente y el conocimiento que se tiene de las propiedades de las mismas es empírico, por lo que su aprovechamiento para desarrollar la industria de la madera es mínimo y su comercialización beneficia solo a otros sectores que si tienen el equipo humano capacitado y el equipo industrial para desarrollarla. En la zona se aprovecha de manera deficitaria y sin alto valor agregado.

Tabla 18. Usos potenciales a los que puede ser sometida la madera de cedro (*Cedrela odorata* L) en el desarrollo de la industria maderera en la región, requisitos y propiedades deseables. (Tomadas de usos dados en bibliografía revisada, sobre regiones parecidas).

Uso potencial	Requisitos y propiedades deseables que debe tener la madera
Madera para uso en interiores	
♦ Acabados y divisiones interiores	Densidad básica: 0.30-0.56 g/cm ³ Dureza lateral: 150 – 600 kg, secado al aire libre (Echenique-Manrique <i>et al.</i> 1994)
♦ Muebles ♦ Chapas decorativas ♦ Artículos torneados ♦ Artesanías	Densidad básica: 0.38-0.65 g/cm ³ MOE: 71 000-150 000 kg/cm ² Dureza lateral: 150 – 600 kg.
♦ Molduras	Densidad básica: 0.38 -0.65 g/cm ³ Dureza lateral : 200-600 kg (Echenique-Manrique <i>et al.</i> 1994)
♦ Puertas	Densidad básica: 0.38 -0.65 g/cm ³ Modulo de elasticidad: MOE: 71 000-150 000 kg/cm ² (Echenique-Manrique <i>et al.</i> 1994)
♦ Escaleras	Densidad básica: 0.38 -0.65 g/cm ³ Modulo de elasticidad: MOE: 71 000-150 000 kg/cm ²
♦ Tableros contrachapados	Densidad básica: 0.30-0.56 g/cm ³ Dureza lateral: 150 – 600 kg, secado al aire libre.

Fuente; Morales *et al.* (1987); IRENA (1992); Echenique-Manrique *et al.* (1994), FAO (1998); Fuentes (1998); CONFEMADERA (2004).

Tabla 19. Usos potenciales a los que puede ser sometida la madera de algarrobo (*Hymenaea oblongifolia* Huber) en el desarrollo de la industria maderera en la región, requisitos y propiedades deseables, (tomadas de usos dados en bibliografía revisada, sobre regiones parecidas).

Uso potencial	Requisitos y propiedades deseables que debe tener la madera
1. Madera para uso estructural	
♦ Construcciones pesadas	Densidad básica: 0.38 a 0.65 g/cm ³ Modulo de elasticidad (MOE): 71,000-150.000 kg/cm ² Modulo de ruptura: 400-1,300 kg/cm ² (al 12% CH). Dureza: > 400 kg
♦ Construcciones marinas	Densidad básica: 0.38 a 0.65 g/cm ³ Modulo de elasticidad (MOE): 71,000-150.000 kg/cm ² Dureza: > 400 kg (Echenique-Manrique <i>et al.</i> 1994).
♦ Durmientes ♦ Postes ♦ Postes para cercas	Esfuerzo a compresión paralela (MOR): 300-700 kg/cm ² Modulo de ruptura: 400-1,300 kg/cm ² Modulo de elasticidad (MOE): 71,000-150.000 kg/cm ² Dureza: > 400 kg
2. Madera para pisos	
♦ Parquet ♦ Tablón colonial	Densidad básica: > 0.48 g/cm ³ Dureza: > 400 kg (Echenique-Manrique <i>et al.</i> 1994)
3. Madera para construcción de interiores	

Uso potencial	Requisitos y propiedades deseables que debe tener la madera
◆ Contrachapados ◆ Mangos de herramientas ◆ Artículos deportivos	Densidad básica: 0.35-0.65 g/cm ³ Dureza lateral: 150-600 kg Modulo de ruptura: 500-1,350 kg/cm ²
◆ Muebles de interiores de alta calidad	Densidad básica: 0.40-0.65 g/cm ³ Modulo de elasticidad (MOE): 85,000-150.000 kg/cm ² Dureza lateral: 250-800 kg Modulo de ruptura: 500-1350 kg/cm ²
◆ Peldaños de escaleras	Densidad básica: > 0.48 g/cm ³ Dureza lateral: > 400 kg
◆ Ventanas	Densidad básica: 0.35-0.65 g/cm ³ Dureza: > 400 kg
4. Madera para construcción de exteriores	
◆ Muebles exteriores	Densidad básica: 0.38-0.65 g/cm ³ MOE: 71 000-150 000 kg/cm ² Dureza lateral: 200-800 kg (Echenique-Manrique <i>et al.</i> 1994)
5. Otros usos	
◆ Resina	-
◆ Extractos medicinales	Gomas y aceites
◆ Carbón y leña	± 4,694 cal/g

Fuente: Morales *et al.* (1987); IRENA (1992); Echenique-Manrique *et al.* (1994); FAO (1998); Fuentes (1998).

6.10 Fichas tecnológicas de las maderas

Como resultado de este estudio, se elaboraron fichas técnicas de la madera de cedro y algarrobo (Ver tabla 20 y 21), en donde se enmarcan las características anatómicas microscópicas, las propiedades físicas, las propiedades mecánicas y los usos principales de las especies en otras regiones parecidas.

En las fichas realizadas de las maderas, se notan variaciones de las características de éstas con relación a algunos reportes de las características de las maderas, especialmente de cedro, como es el caso de Richter *et al.* (2000) y Leon *et al.* (2001), especialmente las microscópicas. Del mismo modo, cabe mencionar que estas maderas estudiadas, presentaron mayormente madera juvenil según lo concluido en el estudio, de todas formas las características aquí reportadas no descalifica la madera, al contrario presenta características mecánicas medianas a altas dependiendo del uso.

Por lo tanto, estas fichas se espera sean de mucha utilidad para la planeación de un mejor aprovechamiento de estas especies en la región estudiada, al igual que en cualquier otra región donde se requiera.

Tabla 20. Ficha técnica de la madera de cedro (*Cedrela odorata* L)

Ficha Técnica				
CARACTERÍSTICAS ANATÓMICAS (Microscópicas)				
Característica			Descripción	
Porosidad			Circular	
Parénquima			Difuso, marginal en bandas y paratraqueal vasicéntrico.	
Contenidos celulares			Gomas, aceites	
Radios			Triseriados	
Índice de calidad para pulpa			Valor	Clasificación
Relación de Runkel			1.1	Regular para pulpa
Promedio de elementos constitutivos (μ)	Fibras	Longitud	1,209	Medianas
		Diámetro lumen	22.78	Medianas
		Diámetro total	35.28	Medianas
		Paredes	12.45	Gruesas
	Vasos	Diámetro tangencial	167.89	Medianos
		Diámetro radial	144.00	Medianos
		Longitud	466	Medianos
	Radios	Alto	323.00	Medianos
		Ancho	42.00	Finos
PROPIEDADES FÍSICAS				
Densidad (g/cm³)	Básica	0.39	Ligera	
	Normal	0.56	No reporta	
Poder calorífico (cal/g)		4,542		
PROPIEDADES MECÁNICAS (12% CH)				
	Esfuerzo al límite de			

Flexión estática	proporcionalidad (kg/cm ²)	568.79	Medio
	Modulo de ruptura (kg/cm ²).	875.32	Medio
	Modulo de elasticidad x 1000 (kg/cm ²)	110.24	Medio
Compresión paralela a la fibra	Esfuerzo al límite de proporcionalidad (kg/cm ²)	344.50	Medio
	Esfuerzo máximo (kg/cm ²).	480.33	-
	Modulo de elasticidad x 1000 (kg/cm ²)	133.08	Medio
Compresión perpendicular a la fibra	Esfuerzo al límite de proporcionalidad (kg/cm ²)	88.31	Muy bajo
Dureza	Lateral (kg)	590.65	Alta
	Extrema (kg)	463.90	Media
Aplicación	Acabados y divisiones interiores, muebles, chapas decorativas, artículos torneados, artesanías, revestimientos, molduras, rodapiés, puertas, escaleras, tableros contrachapados, cajas de puros.		

Tabla 21. Ficha técnica de la madera de algarrobo (*Hymenaea oblongifolia* Huber).

Ficha Técnica				
CARACTERÍSTICAS ANATÓMICAS (Microscópicas)				
Característica			Descripción	
Porosidad			Difusa	
Parénquima			En bandas concéntricas, aliforme de ala corta y ancha, paratraqueal vasicéntrico.	
Contenidos celulares			Gomas, aceites	
Radios			Biseriado	
Índice de calidad de pulpa			Valor	Clasificación
Relación de Runkel (RR)			2.4	Mala para pulpa
Promedio de elementos constitutivos (μ)	Fibras	Longitud	1,592	Moderadamente largas
		Diámetro lumen	14	Medianas
		Diámetro total	30	Moderadamente anchas
		Paredes	17	Gruesas
	Vasos	Longitud	476.82	Medianos
		Diámetro tangencial	207	Grandes
		Diámetro radial	173	Medianos
	Radios	Alto	576.21	Medianos
		Ancho	38.75	Finos
PROPIEDADES FÍSICAS				
Densidad	Básica	0.64	Semipesada	

(g/cm ³)	Normal	0.82	No reporta
Poder calorífico (cal/g)		4,694	-
PROPIEDADES MECÁNICAS (12% CH)			
Flexión estática	Esfuerzo al límite de proporcionalidad (kg/cm ²)	923.59	Muy alto
	Modulo de ruptura (kg/cm ²).	1,421.33	Muy alto
	Modulo de elasticidad x 1000 (kg/cm ²)	162.470	Muy alto
Impacto (cm)		171.71	Muy alto
Compresión paralela a la fibra	Esfuerzo al límite de proporcionalidad (kg/cm ²)	507.71	Muy alto
	Esfuerzo máximo (kg/cm ²).	707.89	-
	Modulo de elasticidad x 1000 (kg/cm ²)	196.120	Alto
Compresión perpendicular a la fibra	Esfuerzo al límite de proporcionalidad (kg/cm ²)	211.33	Muy alto
Dureza	Lateral (kg)	1,413.46	Muy alta
	Extrema (kg)	1,110.15	Muy alta
Aplicación	Construcciones pesadas, construcciones marinas, durmientes, postes, estacas, postes para cercas, barcos, botes, lanchas, parquet y pisos, muebles de interiores, muebles exteriores, contrachapados, chapas decorativas, mangos de herramientas, instrumentos musicales, juguetes, artículos deportivos, ventanas, artesanías, resinas y extractos etanólicos, carbón y leña.		

7. CONCLUSIONES

La madera de cedro de crecimiento en los bosques de la selva pluvial tropical del departamento del Chocó en el CMUTCH, presenta características anatómicas microscópicas que la hacen apetecible para una variedad de usos teniendo un adecuado manejo para las piezas en servicios, debido a las condiciones ambientales de la zona y aun cuando no se estudiaron las características macroscópicas se pudo observar en la colecta de las muestras que la madera presenta un atractivo color rojizo, habría que estudiar otras características macroscópicas en otro estudio para definir mejores aplicaciones.

La densidad básica de la madera de cedro presenta una variación entre los siete árboles estudiados, su promedio fue de $0,39 \text{ g/cm}^3$, lo que ubica a la madera en la categoría de clasificación según la densidad como de madera ligera y la aceptación para usos principalmente en construcción para interiores.

De acuerdo con la relación de Runkel, la calidad de pulpa para papel de la madera de cedro, resultaría con una regular calidad, por lo que se descarta la especie para tal uso.

El poder calorífico de cedro fue moderadamente alto con valor de $4,542 \text{ cal/g}$, si se compara con el poder calorífico de otras maderas utilizadas tradicionalmente como combustibles que varía entre $3,000\text{-}4,000 \text{ cal/g}$, la cual resulta como una buena opción para generación de energías alternativas, teniendo en cuenta los altos costos de los combustibles actualmente derivados del petróleo, aun cuando esta sea una madera preciosa.

Las propiedades mecánicas de cedro de crecimiento en esta zona, la ubican como una madera de mediana resistencia, lo que sugiere una gama de usos

como acabados y divisiones interiores, muebles, chapas decorativas, artículos torneados, artesanías, revestimientos, molduras, rodapiés, puertas, escaleras, tableros contrachapados, cajas de puros, entre otros.

La densidad básica de la madera de algarrobo presenta una variación entre los cuatro árboles estudiados; su promedio fue de 0.64 g/cm^3 , lo que ubica a la madera en una categoría de clasificación como semipesada y la aceptación para usos principalmente en construcciones pesadas, marinas y postes.

De acuerdo con la relación de Runkel, la calidad de pulpa para papel de la madera de algarrobo resultó como de mala calidad, por lo que se descarta la madera de esta especie para tal uso.

El poder calorífico de algarrobo fue alto con un valor de 4,694 cal/g, si se compara con el poder calorífico de otras maderas utilizadas tradicionalmente como combustibles que varía entre 3,000-4,000 cal/g, la cual resulta como una buena alternativa para generación de energías alternativas, teniendo en cuenta los altos costos de los combustibles derivados del petróleo actualmente.

Según la bibliografía consultada en este estudio, la madera de algarrobo puede utilizarse en construcciones pesadas, construcciones marinas, durmientes, postes, estacas, postes para cercas, barcos, botes, lanchas, parquet, muebles de interiores, muebles exteriores, contrachapados, chapas decorativas, mangos de herramientas, instrumentos musicales, juguetes, artículos deportivos, ventanas, artesanías, resinas, extractos etanólicos, carbón, entre otros usos importantes.

8. RECOMENDACIONES

Se recomiendan realizar otros estudios de estas especies estudiando todas las características tecnológicas de la madera en general para ampliar y comparar estos resultados y tener un referente más completo de estas especies, especialmente de *Hymenaea oblongifolia* que es la menos conocida y la más escasa, y considerada como una opción comercial entre otras especies de importancia, para la zona de estudio.

De igual forma se recomienda seguir haciendo este tipo de estudios ya que no existe mucha bibliografía sobre las propiedades tecnológicas de las maderas de la zona, principalmente, las nativas y endémicas y también las introducidas, ya que este estudio es de los primeros registros.

A todos los que de una u otra forma les pueda servir esta información en la zona de estudio, se recomienda tener en cuenta las propiedades que estas presentan y así optimizar mayormente el recurso, ya que las dos especies se presentan de manera escasa y no se conocen las características tecnológicas y son utilizadas solo con los conocimientos empíricos.

Es importante realizar repoblación de estas especies por la importancia socioeconómicas que tienen en la región para no agotar las existencias y de esta forma contribuir con la industria maderera y el medio ambiente.

9. LITERATURA CITADA

- Allen S.; Grimshaw M.,H.; Parkinson A., J.; Quarby C. 1974. Chemical analysis of ecological material. Blackwell Scientific Publication. 2ª. Ed. Oxford, Reino Unido. 456-463 p.
- AGRAR-UND HYDROTECHNIK (AHT) Y ASESORIA Y PROMOCION ECONOMICA S.A, APESA. 1992. Plan de desarrollo integrado de Petén, Inventario Forestal del Departamento de Petén. Convenio Gobiernos Alemania/Guatemala. Guatemala, Petén, Santa Elena. 95 p.
- Aguilar C. J., M y Aguilar C. M., A. 1992. Árboles de la Biosfera Maya Petén. Guía para las especies del Parque Nacional Tikal. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Escuela de Biología. Centro de Estudios Conservacionistas. Peten, Guatemala. CECON. 272 p.
- Almeida R., S. 1990. Análisis calorimétrico de cinco especies vegetales que se utilizan como leña. Tesis Profesional. Biología. Facultad de Ciencias, UNAM. México, D.F. 66 p.
- Amidon T., E. 1981. Effect of wood properties of hardwoods on kraft paper properties. Tappi, California. 64(3): v.9. 123 - 125 p.
- Arango S. y Saldarriaga M. T. 1997. Monografía del Chocó. Editorial de autores Chocoanos. Quibdó, Colombia. 205 p
- Baily Y., J. 1986. A new approach to fealwood conservation: Guide lines for research. FAO, Roma, Italia. 360 p.
- Barcenas P., G.; Zárate M., R.; Ordóñez C. V., R.; Báez G., A.; Honorato S. J., A. 2003. Correlación de los resultados de impacto o tenacidad de 16

maderas mexicanas utilizando dos métodos de prueba. *Revista Madera y Bosques*. México, Xalapa. 9(1): 55-70 p.

Briane D.; Doa T., J. 1985. *Guide technique de la carbonisation: la fabrication du charbon de bois*. ÉDISUD. Aix-en-Provence, Brasil. 180 p.

Brown H., P y Panshin A., J. 1980. *Textbook of wood technology: The physical, mechanical and chemical properties of the commercial woods of the United States*. Editorial McGraw-Hill Book Company. 3a. Ed. New York, Toronto, London. Vol II. 783 p.

Burley J.Y.; Wood P. J. 1979. *Manual Sobre Investigaciones de Especies y Procedencias con Referencia Especial a los Trópicos*. Tropical Forestry Papers 10 E 10ª. Department of Forestry Commonwealth. Forestry Institute. University of Oxford. 170 p.

Camacho J., R. 1985. *Estudio del uso del bosque para la extracción de leña, madera para construcción de casas y fabricación de herramientas en una comunidad Otomí, San Andrés, Timilpan, Estado de México*. Tesis Profesional Biología. Escuela Nacional de Estudios Profesionales, Iztacalca, UNAM. México, D.F. 230 p.

Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE. 1997. *Cedrela odorata*. Proyecto Semillas Forestales (PROSEFOR). Nota Técnica sobre manejo de semillas forestales. Turrialba, Costa Rica. No 24. 2 p.

Carpio M., M. 1992. *Maderas de Costa Rica, 150 Especies Forestales*. Editorial de la Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 338 p.

- Casey P., J. 1990. Pulpa y papel. Química y tecnología química. LIMUSA, México D.F. Vol. 1. 187-192 p.
- Centre of Cooperation Internationale in Recherche Agronomique, CIRAD. 2003. Jatoba. Guía de las diferentes Maderas y de su Secado. Consultado en línea *En*: Forestry Department. www.marinebox.com.br. (9 de Agosto de 2008).
- Corothie H. 1967. Estructura anatómica de 47 maderas de la Guayana venezolana y Clave para su identificación. Ministerio de Agricultura y Cría. Universidad de los Andes. Laboratorio Nacional de Productos Forestales. Los Chorros de Milla. Talleres Gráficos Universitarios. Mérida, Venezuela. 125 p.
- CONFEMADERAS y Unión Europea 2004. Guía práctica de especies de madera. CONFEMADERA-Confederación Española de Empresarios de la Madera C/ Sagasta, No. 24, 3ª ficha 28004 M. 32 p.
- Cunha M. P., C.; Pontes C. L., F.; Cruz I., A.; Cabral M. F., D.; Cunha Neto. Z., B.; Barbosa A. P., R. 1989. Estudo químico de 55 espécies lenhosas para geração de energia em caldeiras. *In*: 3º encontro Brasileiro em madeiras e em estruturas de madeira: Anais, v.2. São Carlos, Brasil. 93-121 p.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística, DANE. 1993. Etnografía de la Región Pacífica de Colombia. Consultado en línea. *En*: <http://www.wikicolombia.com/index.php?title=Choc%C3%B3>. (20 de Agosto de 2007).

- Daniel P. H.; Baker V. 1982. Principios de Silvicultura. Revista de Geografía Agrícola. 2^a. Ed. McGraw-Hill. Universidad Autónoma Chapingo. Coordinación de Centros Regionales. Texcoco, México. 492 p.
- Dávalos S., R.; Barcenas P., G. 1999. Clasificación de las Propiedades Mecánicas de las Maderas mexicanas. Revista Madera y Bosques. 5(1). Xalapa, México. 61-69 p.
- Díaz-Vaz J., F.; Ojeda F. 1980. "Densidad incremental de *Pseudotsuga menziesii*: Variaciones en un análisis fustal". Revista Bosque, Vol. 3. No. 2. Valdivia, Chile. 86-95 p.
- Echenique M., R.; Plumptre R., A. 1994. Guía para el uso de maderas de México y Belice. Universidad de Guadalajara. Laboratorio de Ciencia y Tecnología de la Madera, A.C. Guadalajara, México. 196 p.
- Espinal S. 1997. Zonas de vida y formaciones vegetales de Colombia. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). Vol. XIII. N° II. Bogotá, Colombia. 337 p.
- FAO-GCP/BOL/028/NET. 1998. Información Técnica para el Procesamiento de 94 Especies Alternativas de Bolivia. La Paz, Bolivia. 372 p.
- FAO s/f. Serie técnica XII. Información técnica para el procesamiento industrial de 134 especies maderables de Bolivia. Proyecto FAO-GCP/BOL/028/NET. Santa Cruz, Bolivia. 53 p.
- Forero E. y A. Gentry 1989. Lista anotada de las plantas del departamento del Chocó, Colombia. Instituto de Ciencias Naturales – Museo de Historia Natural, Universidad Nacional de Colombia. Biblioteca José Jerónimo Triana, No. 10. Bogotá, Colombia. 142 p.

- Fuentes S., M. 1998. Propiedades Tecnológicas de las maderas mexicanas de importancia en la construcción. Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. 4(1): Estado de México, México. 221-229 p.
- Herrera A. Z.; Lanuza B. 1996. Especies para reforestación en Nicaragua. Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales (MARENA), Servicio Forestal. Managua, Nicaragua. 185 p.
- Haygreen J.; Browyer J. 1982. Forest products and wood science. An introduction. The Iowa State University Press / Ames. 495 p.
- INIA. 1996. Manual de identificación de especies forestales de la subregión Andina. Instituto Nacional de Investigación Agraria. Talleres Gráficos de asociación, Editorial Stella. Lima, Peru. 145 p
- INSTITUTO NICARAGÜENSE DE RECURSOS NATURALES Y DEL AMBIENTE (IRENA). 1992. Cedro. Servicio Forestal, Departamento de Investigación, Laboratorio de tecnología de la madera. Ficha Técnica de Maderas Nicaragüenses No. ---. Managua, Nicaragua. 5 p.
- Jara E. R., P. 1989. O poder calorífico de algumas madeiras que ocorrem no Brasil. Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, (Comunicação Técnica, 1797). Sao Paulo, Brasil. 5 p.
- Jiménez O., A. M.; Ramos P, Yan A.; García C, F.; Ríos H, A.; Asprilla P., J. 2005. El Chocó: Una fuente de oportunidades comerciales, a partir del conocimiento, valoración y manejo de su biodiversidad. Rev. Inst. Universidad Tecnológica del Chocó. "Diego Luís Córdoba". Quibdó, Colombia. No. 22. 3-9 p.

- Larios S., P. 1979. Índices de calidad de pulpa de dos coníferas. Tesis Licenciatura. Departamento de Bosque. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México. 68 p.
- León H. y N. Espinoza de Pernía. 2001. Anatomía de la madera. Universidad de los Andes. Consejo de Publicaciones. Mérida, Venezuela. 221-22 pp.
- León H., W. 2003. Maderas de Venezuela: *Cedrela odorata*. Venezuela. Disponible en línea En: <http://www.forest.ula.ve/~wleon/maderas.htm/Cedro.pdf>. (20 de octubre de 2008).
- León H. y N. Espinoza de Pernía. 1998. Variabilidad de *Cordia thaisiana* Agostini (Boraginaceae) en Sentido Transversal. Revista Forestal Venezolana. N.º 42:(1). Mérida, Venezuela. 15-23 pp.
- Luna O., T. 1983. Determinación de los índices de calidad de las pulpas de 29 maderas tropicales de Chiapas. Tesis profesional. Universidad Nacional Autónoma de México. Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala. México, D.F. 54 p.
- Meza-Juárez D., J.; Vargas-Hernández, J.; López-Upton, J.; Vaquera-Huerta, H.; Borja de la Rosa A. 2005. Determinación de la edad de transición de madera juvenil a madura en *Pinus patula* SCHL. et CHAM. Ra Ximhai. Universidad Autónoma Indígena de México. Vol.1, Número 002. Mochicahui, El Fuerte, Sinaloa, México. 305-324 pp.
- Moglia J., G.; López C., R. 2001. Tendencias de Variación radial del leño en *Aspidosperma quebracho blanco*. Instituto de Silvicultura y Manejo de Bosques. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de Santiago del Estero. Invest. Agr. Sist. Recur For. Región del Chaco, Argentina. Vol. 10 (1) 23-29 p.

- Mora J. 1974. Características tecnológicas de 37 maderas venezolanas. Universidad de Los Andes. Facultad de Ciencias Forestales. Escuela de Ingeniería Forestal. Mérida, Venezuela. 98 p.
- Morales V. A.; Castro G. M.; Avendaño M. P. 1987. Manual de identificación macroscópica de cincuenta especies maderables nicaragüenses. Laboratorio de Tecnología de la madera "OLOF PALME". Sección de anatomía e identificación de la madera. Managua, Nicaragua. 22, 27, 31 pp.
- Neita, J. C. y H. Cortés, A. Madrigal. 2004. Los himenópteros asociados a una parcela agroforestal de *Barojoa patinoi* Cuartr, *Cederla odorata* L., *Apeiba aspera* e *Inga spectabilis* Wills en la granja de la Universidad Tecnológica del Chocó, municipio de Lloró, Colombia. Revist. Colom. Entomología. Vol. 30(2): 233-239 pp.
- NEITA, J.; L. RENTERÍA 1999. Entomofauna asociada a una parcela agroforestal "*Borojoa patinoi* Cuartr"; *Cedrela odorata* L.; *Apeiba aspera* Aubl; *Inga spectabilis* Wills; en la granja de la Universidad Tecnológica del Chocó. Tesis de pregrado, Facultad de Ingeniería, Programa Ingeniería Agroforestal. Universidad Tecnológica del Chocó. Quibdó, Colombia. 54 p.
- Proyecto Semillas Forestales, PROSEFOR. 1997. Nota técnica sobre manejo de semillas forestales No. 24. Turrialba, Costa Rica 2 p.
- Quirino W., F.; Ailton T., V.; Andrade A., P.; Silva A. V., L.; Santos A. A., C. 2005. Poder calorífico da madeira e de materiais ligno-celulósicos. Revista da Madeira. nº 89. 100-10 pp.

- Revista Digital del Mundo del Fuego (sf). Consultada en línea En: <http://www.fuegoterapia.com/news/guia-combustibles.html> Guía Rápida de Combustibles Sólidos. (10 de Diciembre de 2008).
- Richter I., G.; Dallwitz M., J. 2000. Commercial timbers: descriptions, illustrations entification, and information retrieval. In English, French, German, Portuguese, y Spanish. Version: 16th April 2006. Consultado en línea En: <http://delta-intkey.com/>. (9 de agosto de 2007).
- Rodríguez M., L. 1988. Caracterización anatómica de las maderas latifoliadas y claves macro y microscópica para la identificación de 120 especies. VOLUMEN I. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia. 300 p.
- Salas E J., B. 1993. Árboles de Nicaragua., Instituto Nicaragüense de Recursos Naturales y del Ambiente, IRENA. Managua, Nicaragua. 390 p.
- Sánchez G. M., C. 1993. Uso y manejo de la leña en X-uilub, Yucatán. Etnoflora yucateca. Universidad Autónoma de Yucatán, Sostenibilidad Maya. Dirección General de Extensión. Fascículo 8. Mérida, México. 54-68 p.
- Smith D., M. 1954. "Maximum moisture content method for determining specific gravity of small wood samples". For USDA Serv. FPL Rep. 2014. 8 p.
- Tamarit U., J. C. 1996. Determinación de los índices de calidad de pulpa para papel de 132 latifoliadas. Madera y bosques. 2(2): 29-41 pp.
- Terrazas S., T. 1984. Proposición para clasificar el tamaño de algunas estructuras de madera de angiospermas mexicanas. Tesis Profesional. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 116 p.

- Tortorelli, A. 1956. Maderas y bosques de Argentina. Editorial ACME. S.A. CI. Marpu 92. Buenos Aires, Argentina. 910 p.
- USAID. 2002. Promoting Lesser Known Species Harvesting, Industrialization and Marketing to Support Sustainable Forest Management in the Peruvian Amazon. Report April 15. Project No. 527-A-00-02-0013-00 Amendment. Perú, Lima. 16 p.
- Vignote P., S.; F. Jiménez. 1996. Tecnología de la madera. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid, España. 606 p.
- Vignote P., S.; Picos M, J.; Zamora P, R. 2000. Características de las principales maderas utilizadas en Bizkaia. Departamento de Agricultura de la Diputación Foral de Bizkaia. España, Bizkaia. 238-239, 246-248 pp.
- Zobel B., y J., Talbert. 1994. Técnicas de Mejoramiento Genético de Árboles Forestales. Editorial Limusa S.A., México. D.F. 545 p.
- Zobel B., y J., P. Van Buijtenen. 1989. Wood variation, its causes and control. Springer-Verlag, Berlin. 363 p.

10. APENDICE

Anexo 1. Medida de la densidad básica

Rango (g/cm ³)		Madera
Resinosas	Frondosas	Clasificación
0.40	0.35	Muy ligera
0.40-0.49	0.35-0.50	Ligera
0.50-0.59	0.51-0.70	Semipesada
0.60-0.70	0.75-0.95	Pesada
0.70	0.95	Muy pesada

Vignote y Jimenez (1996)

Anexo 2. Clasificación de la longitud de las fibras

Longitud (μ)	Clasificación
400 – 900	Cortas
900 – 1600	Media
>1600	Largas

Tortorelli (1956)

Anexo 3. Clasificación del diámetro de las fibras

Diámetro (μ)	Clasificación
< 25	Finas
25 – 40	Medias
> 40	Anchas

Tortorelli (1956)

Anexo 4. Clasificación del espesor de la pared celular

Diámetro	Clasificación
Si el lumen es $\frac{3}{4}$ o más del diámetro total de la fibra	Muy delgada
Si el lumen es $\frac{3}{4}$ a $\frac{1}{3}$ del diámetro total	Delgada
Si el lumen es $\frac{1}{2}$ a $\frac{1}{3}$ del diámetro total	Gruesa
Si el lumen es $<$ a $\frac{1}{3}$ del diámetro total	Muy gruesa

Tortorelli (1956)

Anexo 5. Clasificación de la distribución de la porosidad

Distribución	Descripción
Difusa	Distribución uniformemente en toda la zona de crecimiento
Circular	Poros de cavidad amplia a lo largo del límite extremo de la zona de crecimiento en la madera temprana
Semidifusa	Poros que disminuyen de diámetro gradualmente hacia la madera tardía

Tortorelli (1956)

Anexo 6. Clasificación de la agrupación de la porosidad

Agrupación	Descripción
Solitarios	Cuando cada vaso se presenta solo y separado de los restantes por tejido diferentes
Múltiples	Cuando se encuentran agrupados dos o mas vasos, generalmente en sentido radial
En cadenas	Cuando los poros están separados pero alineados en series
Agrupados	Cuando están agrupados. En esta clasificación cada vaso conserva su individualidad

García *et al.* (2003)

Anexo 7. Clasificación de la longitud de los vasos

Longitud (μ)	Descripción
< 350	Cortos
350 – 800	Medianos
>800	Grandes

Tortorelli (1956)

Anexo 8. Clasificación del diámetro de los vasos

Rango (μ)	Clase	Subclase. Diámetro tangencial
< 25	Pequeño	Extremadamente pequeño
25-50	Mediano	Muy pequeño
50-100		Moderadamente pequeño
100-200		
200-300		Moderadamente grande
300-400		Muy grandes
>400	Grandes	Extremadamente grandes

Jane (1970)

Anexo 9. Clasificación del espesor de los radios.

Espesor (μ)	Clasificación
Menos de 50	Finos
50 a 100	Medianos
100 a 200	Moderadamente anchos
200 a 400	Muy anchos
Mayor de 400	Extremadamente anchos

Morales *et al.* (1987)**Anexo 10. Clasificación de la altura de los radios**

Rango (μ)	Clasificación
<140	Extremadamente corto
140-180	Muy corto
180-200	Moderadamente corto
200-400	mediano
400-600	Moderadamente largo
600-2000	Muy largo
2000-3000	Extremadamente largo

Terrazas (1984)

Anexo 11. Clasificación de la relación de Runkel (2w / l)

GRADO RANGO CLASIFICACION		
GRADO	RANGO	CLASIFICACIÓN
I	< 0.25	Excelente
II	0.25 - 0.50	Muy buena
III	0.50 - 1.00	Buena
IV	1.00 - 2.00	Regular
V	> 2.00	Mala

Larios (1979)

Anexo 12. Clasificación de las propiedades mecánicas de las maderas

Propiedad		Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta
Flexión (kg/cm ²)	Modulo ruptura	< 400	401-900	901-1350	1351-1800	> 1800
	Modulo de elasticidad	< 70	71-100	101-150	151-200	>200
Comprensión paralela a esfuerzo al límite de proporcionalidad (kg/cm ²)		<300	301-450	451-700	701-950	>950
Comprensión perpendicular a esfuerzo al límite de proporcionalidad (kg/cm ²)		<35	35-75	76-120	121-175	>175
Dureza (kg)	Lateral	<200	201-400	401-800	801-1200	>1200
	Trasverso	<250	251-500	501-1000	1001-1500	>1500
Impacto		<2.07	2.07-3.80	3.80-5.53	5.53-7.26	>7.26

Echenique *et al.* (1994)

Anexo 13. Clasificación de las propiedades mecánicas de maderas Mexicanas (CH 12%).

Propiedad	Muy bajo	bajo	Medio	Alto	Muy alto
Flexión					
Módulo de Ruptura (kg/cm ²)	< 550	551-800	801-1000	1001-1300	> 1300
Módulo de Elasticidad (kg/cm ²) (*1000)	<75	76-105	106-125	126-150	>150
Compresión					
PARALELA (E. Máx.) (kg/cm ²)	<325	326-450	451-530	531-650	>650
PERP. (E. Lím. Prop.) (kg/cm ²)	<35	36-65	66-85	86-125	>125
Dureza					
Lateral (kg)	<150	151-350	351-550	551-900	>900
Extremos (kg)	<160	161-400	401-625	626-1050	>1050

Dávalos *et al.* (1999)

Anexo 14. Clasificación de la compresión perpendicular al 12% de CH.

Compresión perpendicular (kg/cm ²)	Nivel
< 300	Muy baja
301-450	Baja
451-700	Mediana
701-950	Alta
> 950	Muy alta

Fuentes (1998)

Anexo 15. Clasificación de la compresión paralela (al 12% de CH).

Compresión perpendicular (kg/cm ²)	Nivel
< 35	Muy baja
35- 75	Baja
76-120	Mediana
121-175	Alta
> 175	Muy alta

Fuentes (1998)

Anexo 16. Ecuación de densidad básica y relación de esfuerzo para maderas latifoliadas.

Propiedad de esfuerzo	Ecuación (Latifoliadas)	
	Madera verde	Madera al 12% de contenido de humedad
1. Flexión estática:		
♦ Esfuerzo al límite de proporcionalidad (lb/pul ²)	10,200G ^{1.25}	16,700G ^{1.25}
♦ Modulo de elasticidad (x 1000 lb/pul ²)	2,360G	2,800G
♦ Modulo de ruptura (lb/pul ²)	17,600G ^{1.25}	25,700G ^{1.25}
♦ Esfuerzo máximo (cm lb/pulg ³)	35.6G ^{1.75}	32.4G ^{1.75}
2. Impacto a flexion :		
♦ Esfuerzo al límite de proporcionalidad (lb/pulg ²)	23,700G ^{1.25}	8,750G ^{1.75}
♦ Modulo de elasticidad (x 1000 lb/pulg ²)	2,940G	3,380G
3. Compresión paralela a la fibra:		
♦ Esfuerzo al límite de proporcionalidad (lb/pulg ²)	23,700G	8750G
♦ Modulo de elasticidad (x 1000 lb/pulg ²)	2910G	12,200G
♦ Esfuerzo máximo (lb/pulg ²)	6730G	3380G
4. Compresión perpendicular a la fibra:		
♦ Esfuerzo al límite de proporcionalidad (lb/pulg ²)	3,000G ^{2.25}	4,630G ^{2.25}
5. Dureza:		
♦ Extrema (lb)	3,740G ^{2.25}	4,800G ^{2.25}
♦ Lateral (lb)	3,420G ^{2.25}	3,770G ^{2.25}

Brown y Panshin (1980).