



PROPIEDADES TECNOLÓGICAS DE LA MADERA DE ALGARROBO (*Hymenaea oblongifolia* Huber.), DE BAGADÓ-CHOCÓ, COLOMBIA

TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF ALGARROBO WOOD (*Hymenaea oblongifolia* Huber.), FROM BAGADO-CHOCO, COLOMBIA

Yessica B. Serna Mosquera¹; Amparo Borja de la Rosa²;
Mario Fuentes Salinas²; Alejandro Corona Ambríz².

¹Universidad del Chocó, Colombia,

²División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo, km 38.5 Carretera México-Texcoco, Chapingo, Estado de México, C. P. 56230. MÉXICO. Correo-e: aborja@correo.chapingo.mx (¹Autor para correspondencia)

RESUMEN

Este trabajo tuvo como objetivo determinar las propiedades tecnológicas de la madera de *Hymenaea oblongifolia* Huber algarrobo, proveniente del municipio de Bagadó-Chocó, Colombia. Las muestras tomadas de los árboles (cilindros de la madera) fueron estudiadas para determinar las características microscópicas, la densidad básica y la densidad normal; además, se estimaron las propiedades mecánicas utilizando los valores de densidad básica. Los resultados indicaron que la madera presenta vasos escasos -de medianos a grandes-, las fibras son medianas y los radios son finos a moderadamente largos con células cristalíferas, presenta mala calidad para producción de pulpa para papel, la densidad básica de la madera se clasificó como semipesada, y presenta una resistencia mecánica que varía de alta a muy alta. Puede utilizarse en la elaboración de pisos, muebles y mangos decorativos, entre otros usos.

Recibido: 21 de julio 2010
Aprobado: 25 de septiembre 2010
doi:105154/r.rchscfa.2010.07.043

PALABRAS CLAVE: cilindros de madera, características microscópicas, propiedades Físico-mecánicas, *Hymenaea oblongifolia*, Chocó.

ABSTRACT

The aim of the present study was to determine the technological properties of Algarrobo wood (*Hymenaea oblongifolia* Huber), from the municipality of Bagado-Choco. Samples collected from trees (wood cylinders) were studied in order to determine the microscopic characteristics, basis density and normal density. Moreover, the mechanical properties were estimated using the values of basic density. Results showed that Algarrobo wood shows scanty vessel (medium to large), fibers that have medium size and rays containing crystal that are thin to moderately long. This wood has a bad quality for production of pulp for paper. The basic density of wood was classified as light softwood with a mechanical resistance that oscillates from high to very high. Algarrobo wood can be used in manufacture of furniture, floors and decorative handles, among other uses.

KEY WORDS: wood cylinders, microscopic characteristics, physical-mechanical properties, *Hymenaea oblongifolia*, Chocó.

INTRODUCCIÓN

La madera es un recurso natural cuya calidez, belleza y cualidades tecnológicas se suman al hecho de ser totalmente renovable, según los sistemas de gestión que la ciencia forestal viene desarrollando desde el siglo XVIII (Tolosa *et al.*, 2004).

De los bosques se extraen muchos productos, desde madera para la construcción y leña hasta alimentos (frutos, setas, plantas comestibles, caza), forraje y otros productos forestales no maderables (Tapia y Chilpa, 2008).

Debido a que la madera para uso industrial es el producto más relevante, la determinación y el conocimiento de las propiedades tecnológicas de la misma tienen una importancia primordial porque pueden variar según la procedencia y las condiciones de crecimiento. De este conocimien-

INTRODUCTION

Wood is a natural resource which warmth, beauty and technological properties as well as fully renewable, according to the management system that forest science has been developing since the seventeen century (Tolosa *et al.*, 2004).

Many products come from the forest, from timber for construction and firewood to food (fruits, mushrooms, edible plants, game,) foliage and other non-timber forest products (Tapia and Chilpa, 2008).

Because the industrial wood is the most important, the determination and knowledge of the technological properties of wood have a primary importance because they can vary according to the origin and growth conditions. From this knowledge depends to give the proper use

to depende en gran medida darle el uso adecuado y la posibilidad de sugerir nuevos usos de la madera (Borja y Tamarit, 1997).

En la actualidad, el hombre explota aproximadamente 3,400 millones de m³ de madera, de los cuales una mitad se consume en el lugar de corte o extracción, fundamentalmente como combustible (leña o carbón), y la otra mitad se utiliza como madera en rollo industrial dedicada a la construcción y otros usos. Solamente entre 8 y 10 % del total, alrededor de unos 300 millones de m³, se usa como intercambio comercial, madera en rollo o tablero (García et al., 2003).

Resulta paradójico que en este siglo que comienza con una tecnología tan avanzada en primera y segunda transformación y la amplia gama de combustibles alternativos, se siga utilizando la madera para leña o carbón (García et al., 2003). Actualmente, en el Chocó-Colombia, gran parte de la madera producida por los bosques se sigue utilizando para leña o carbón y en extracción como madera rolliza para la industria externa, alrededor de 440 m³ (DANE, 2002). Sin embargo, no se han realizado estudios tecnológicos considerables que conlleven al conocimiento de las propiedades tecnológicas de las maderas que crecen en esta zona. Estos estudios permitirían un mejor desarrollo industrial de uno de los principales recursos con que cuenta la región, considerando las condiciones medioambientales marcadas de la zona. Se han realizado estudios tecnológicos de la madera del género *Hymenaea*, pero de otra procedencia y diferentes condiciones de crecimiento y manejo. (Corothie, 1967; Vignote, 1996; FAO, 1998; CIRAD, 2003; CONFEMADERAS, 2004).

El objetivo de este estudio es determinar la anatomía microscópica y las propiedades físico-mecánicas de la madera de algarrobo *Hymenaea oblongifolia* Huber, con el fin de lograr un mejor y mayor uso de esta especie maderable de la zona del municipio de Bagadó-Chocó, Colombia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de colecta

Las muestras de madera fueron colectadas en la selva tropical del municipio de Bagadó-Chocó, Colombia. El municipio se localiza en la margen izquierdo del río Andagueda, a 05° 24' 32" de LN y 76° 25' 16" de LO, a 200 m. La temperatura media es de 28 °C. La precipitación media anual es de 7,800 mm y dista 80 km de Quibdó, la capital del Departamento (Arango y Saldarriaga, 1997) (Figura 1).

Descripción morfológica del árbol de *Hymenaea oblongifolia* Huber

En Colombia se le conoce como algarrobo, que es sinonimia de *Hymenaea courbaril*, *Hymenaea interme-*

and the possibility of suggesting new uses for wood (Borja and Tamarit, 1997).

Nowadays, 3,400 million m³ of wood are exploited by humans, half of this is consumed in the place where the wood was cut, mainly as fuel (firewood or charcoal), and the other half is used as industrial round wood used for construction, and other uses. Only between 8 and 10 % of the total (around 300 million m³) is used as commercial trade, round wood or boards (García et al., 2003).

It is paradoxical that in this new century with advanced technology in first and second transformation and the wide range of alternative fuels, wood is still used for firewood or charcoal (García et al., 2003). Today, in Choco-Colombia, most of the wood produced by forests is still used for firewood or charcoal and in extraction as round wood for external industry, around 440 m³ (DANE, 2002). However, no significant technological studies have been conducted that lead to the knowledge of technological properties of wood growing in this area. These studies would allow a better industrial development of one of the main resources of this region, regarding the environmental conditions. Technological studies of wood belonging to the genus *Hymenaea* have been conducted, but from other origin and with different management and different growing conditions. (Corothie, 1967; Vignote, 1996; FAO, 1998; CIRAD, 2003; CONFEMADERAS, 2004).

The aim of the present study is to determine the microscopic anatomy and the physico-mechanical properties of Algarrobo wood *Hymenaea oblongifolia* Huber, in order to achieve a better and greater use of this wood species in the area of the municipality of Bagado-Choco, Colombia.

MATERIALS AND METHODS

Collecting area

Samples were collected from the rain forest of the municipality of Bagado-Choco, Colombia. The municipality is located on the left side of the Andagueda River, at 05° 24' 32" N and 76° 25' 16" W, at 200 m. Mean temperature of 28 °C. Average annual precipitation of 7,800 mm; 80 km far from Quibdo, the capital (Arango and Saldarriaga, 1997) (Figure 1).

Morphological description of the tree of *Hymenaea oblongifolia* Huber

In Colombia, Algarrobo tree is synonymy of *Hymenaea courbaril*, *Hymenaea intermedia*, *Hymenaea martiniana* and *Hymenaea pariviflora* (CIRAD, 2003).

This tree belongs to the Fabacea family, Caesalpinioideae subfamily, which grows in the tropical rain forest,

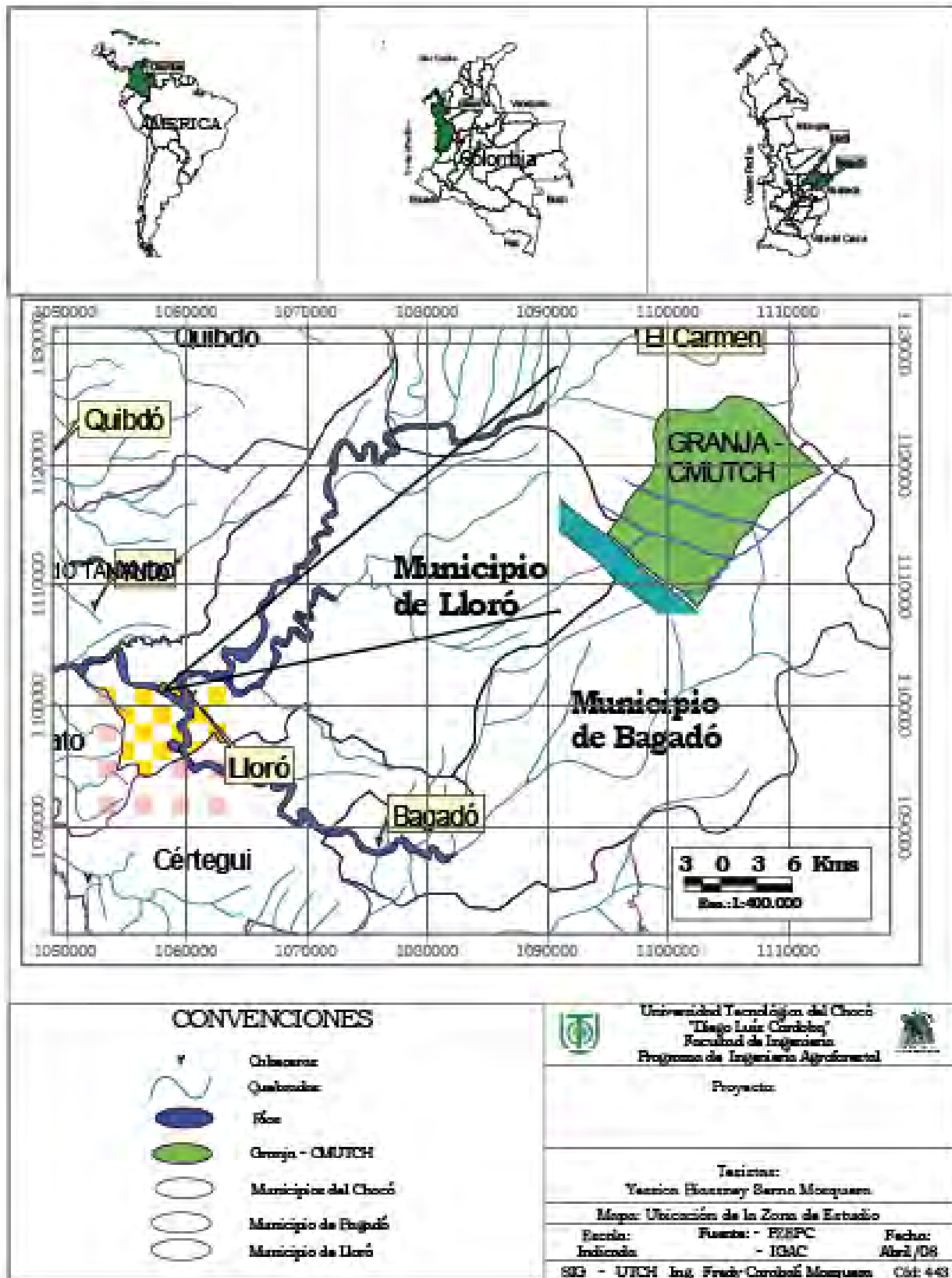


FIGURA 1. Ubicación geográfica del área de colecta (Municipio de Bagadó).

FIGURE 1. Geographic location of the collecting area (Municipality of Bagadó).

dia, *Hymenaea martiniana* e *Hymenaea pariviflora* (CIRAD, 2003).

Es un árbol de la familia Fabacea, subfamilia Caesalpi-noideae, que crece en el bosque húmedo tropical, en paisaje fisiográfico de terrazas, hasta los 1,200 m. Es una especie esciofita, de muy lento crecimiento, crece en suelos arcillosos. Alcanza de 18 a 40 m de altura y hasta 70 cm de diámetro su corteza externa es de color café claro grisáceo de apariencia finamente fisurada con lentécelas abundantes, y corteza interna de color rojizo de 2 cm. De espesor, textura fibrosa laminada, exudado acuoso oscuro que se cristaliza con el tiempo; hojas bifoliadas alternas, con estípulas estrechamente oblongas, ápice agudo, base inequilátera, haz disperso pubescente, envés densamente marrón dorado tomentoso, inflorescencias en panículas largas, densas, con flores pequeñas de color blanco cremoso a ligeramente rosado. 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. Se distribuye en Brasil, Colombia y Perú (Rodríguez, 1988).

Obtención del material de estudio. Se extrajo un cilindro de madera de cada uno de los seis árboles muestreados, al nivel del DAP (diámetro a la altura del pecho), con ayuda de un taladro de Pressler de 12 mm. Los árboles muestreados presentaron características fenotípicas representativas del lugar de colecta. En el Cuadro 1, se pueden observar las características dendrométricas de los árboles muestreados.

Las muestras (cilindros de madera) fueron colocadas en recipientes con agua destilada, y se verificó que quedaran totalmente sumergidas; el agua se renovó diariamente hasta su procesamiento en laboratorio. La muestra de un árbol fue seccionada desde la médula hasta la corteza, cada 2 cm para realizar cortes típicos. Las muestras de cuatro árboles fueron seccionadas cada cm, y a su vez las muestras fueron divididas a la mitad; una se utilizó para determinar la densidad básica y densidad normal; la otra mitad se usó para obtener material disociado. La muestra del sexto árbol se usó para calcular el poder calorífico.

Características anatómicas microscópicas. Una muestra fue seccionada cada 2 cm desde la médula hasta la corteza; las submuestras fueron sometidas a un proceso de ablandamiento en un digestor a presión de 2 kg·cm⁻² durante 1.5 min. Una vez ablandadas las submuestras se realizaron cortes transversales, tangenciales y radiales de 20 µ de espesor, con xilótomo (marca Jung de deslizamiento); éstos fueron teñidos con pardo Bismark y safranina, lavados con agua destilada hasta eliminar el colorante (Navarro *et al.*, 2005), y posteriormente se elaboraron preparaciones fijas; para fijarlas se empleó resina sintética (Entellan, medio rápido de monta-

in physiographic landscape up to 1,200 m. It belongs to the Sciophilous species and it has a slow growing. This tree grows in clay soils, reaching a height of 18 to 40 m and a diameter of 70 cm, its outer bark has a grey-light-brown color, fissured with abundant lenticels with a reddish inner bark of 2 cm thick, laminated fibrous texture, dark watery exudate that is crystallized with time, alternate bifoliate leaves, with stipules narrowly oblong, acute apex, base inequilateral, pubescent dispersed bundle, limb densely golden-brown, inflorescences in long, dense panicles with small white to slightly pink flowers. The fruit is an indehiscent, ovoid, sub-compressed, smooth legume with 1-3 oblong seeds that are covered by a yellow dust. This fruit is edible, highly nutritious and medicinal. It is distributed in Brazil, Colombia and Peru (Rodríguez, 1988).

Collect study materials. A round wood sample was taken from each one of the six sampling trees, at the level of DBH (Diameter at Breast Height) using a Pressler drill of 12 mm, samples showed phenotypic characteristics representative of the study area. Dendrometric characteristics of sampling trees are shown in Table 1.

CUADRO 1. Características dendrométricas de los árboles de algarrobo (*Hymenaea oblongifolia* Huber).

TABLE 1. Dendrometric characteristics of Algarrobo wood (*Hymenaea oblongifolia* Huber).

Núm. de árbol	D.A.P. (cm)	Longitud de la muestra (cm)	Altura del fuste (m)	Altura total (m)
1	55	25.5	29	40
2	40	20	27	40
3	60	30	32	43
4	29	15	20	38
5	50	25	30	40
6	40	20	29	46

DAP: Diámetro a la altura del pecho.

DAP: Diameter at Breast Height (DBH)

Samples (round wood) were placed in containers with distilled water, making sure that the samples were completely immersed; water was daily changed until the samples were taken to the laboratory. A tree sample was sectioned every 2 cm from the pith to the bark for typical cuts. Samples of four trees were sectioned every cm, and in turn samples were divided in half; one half was used to determine the basic density and normal density; the other half was used to obtain dissociated material. Sample from the sixth tree was used to calculate the calorific value.

Microscopic anatomical characteristics. A tree sample was sectioned every 2 cm from the pith to the bark; subsamples were subjected to a softening process using a pressure digester of 2 kg·cm⁻² during 1.5 min. Once the samples were softened transverse, tangential

je para microscopia; país de origen, Alemania).

El material disociado se elaboró a partir de astillas de las probetas correspondientes a las submuestras de los cortes típicos. Para ello, las astillas fueron colocadas en frascos de vidrio conteniendo partes iguales de ácido acético y peróxido de hidrógeno a 60 ± 2 °C durante 46 h. Una vez disociado el material fue enjuagado con agua destilada hasta eliminar la sustancia disociadora. Posteriormente se colorearon con pardo de Bismarck. Se calculó el tamaño de muestra para la longitud y dimensiones transversales de los elementos de vaso y fibras, la cual resultó de 20 células (Navarro *et al.*, 2005). Los valores obtenidos de las fibras fueron utilizados para determinar los índices de calidad de pulpa para papel: (coeficientes de rigidez (CR), flexibilidad (CF), Peteri (IE) y la relación Runkel (RR)). La observación y medición de los diferentes tipos de células se realizaron en un microscopio óptico (marca Nikon, Labophat-2) con sistema de fotografía.

Densidad de la madera. Para determinar la densidad básica y la densidad de referencia, en cada probeta se registraron el peso y el volumen en estado saturado y al equilibrarse con el ambiente (14 °C). A continuación, las muestras se colocaron en un horno de secado digital (marca Riossa) a 103 ± 2 °C hasta lograr el peso al estado anhidro. Para obtener el peso y el volumen se usó una balanza analítica marca OHAUS con precisión a diezmilésima; se utilizaron las siguientes fórmulas:

Densidad básica

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

donde:

D_b : densidad básica

P_o : peso anhidro

P_h : Peso húmedo

0.346: Constante

Densidad de referencia

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

donde:

D_h : densidad de referencia

P_h : peso de referencia (h)

V_h : volumen de referencia (h)

Las propiedades mecánicas se calcularon a partir de la densidad normal, debido a que en el laboratorio se registra un contenido de humedad al 14 %. Se hicieron los ajustes para obtener la densidad normal (contenido de humedad al 12 %), para lo cual se calcularon las diferencias de peso y volumen. Para obtener estas diferencias de peso, se obtuvo el peso anhidro de las muestras; anteriormente se había calculado el peso de referencia al 14 %; a continuación, se obtuvo el incremento de 1 % de peso desde el P_o hasta P_{14} , con la siguiente fórmula:

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

and radial cuts were made with a thickness of 20 μ , using a sliding microtome (Jung); samples were stained with Bismarck brown and safranin, washed with distilled water until removing the dye (Navarro *et al.*, 2005) and then fixed preparations were produced; synthetic resin was used to fix them (Entellan, quick way to assembly for microscopy; country of origin, Germany).

The dissociated material was derived from wood chips of the samples corresponding to the subsamples of typical cuts. Wood chips were placed in glass vials containing equal parts of acetic acid and hydrogen peroxide at 60 ± 2 °C during 46 h. Once the material was dissociated, it was rinsed with distilled water to remove the substance disruptive and then, stained with Bismarck brown. Size of sample for length and transverse dimensions of the vessel elements and fibers was estimated, which resulted in 20 cells (Navarro *et al.*, 2005). The values of the fibers were used to determine the indices of quality of pulp for paper: stiffness coefficients (CR, due to its Spanish acronym), flexibility (CF, due to its Spanish acronym), Peteri (IE) and the Runkel relationship (RR)). Observation and measurement of the different types of cells were conducted using an optical microscope (Nikon, Labophat-2) with a photograph system.

Wood density. To determine basic density and reference density, each specimen were recorded in weight and volume in saturated state and when balancing with the environment (14 °C). Samples were placed in a drying oven (Riossa) at 103 ± 2 °C until reaching anhydrous weight. An OHAUS analytical balance with precision to one ten thousandth was used to obtain weight and volume; the following equations were used:

Basic density

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

Where:

D_b : basic density

P_o : anhydrous weight

P_h : wet weight

0.346: constant

Reference density

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

Where:

D_h : reference density

P_h : reference weight (h)

V_h : reference volume (h)

Mechanical properties were calculated based on the normal density, because in laboratory moisture content at 14% was recorded. Adjustments were made to obtain the normal density (moisture content at 12 %), for which volume and weight differences were determined. In order to obtain weight differences, anhydrous weight of samples had to be estimated; previously, reference weight at 14 % was obtained; and an increment of 1 % of weight was shown, from P_o to P_{14} , using the following equation:

Posteriormente, se calculó 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 fórmulas utilizadas fueron las siguientes:

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

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 fórmula:

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

D_{12} = densidad al 12 % de CH
 P_{12} = Peso al 12 % de CH
 V_{12} = Volumen al 12 % de CH

Poder calorífico. La muestra destinada para esta propiedad se dividió en nueve submuestras: tres cerca de la médula, otras tres en la parte media de la longitud total de la muestra y las últimas tres cerca de la corteza; cada una de un centímetro, fueron secadas y pesadas, y cada muestra debió tener un peso menor de 1.0 g (especificaciones de la bomba calorimétrica para poder realizar la combustión). Se utilizó una bomba calorimétrica de oxígeno T-Parr-1341 con la técnica dada por Allen *et al.* (1974). Posteriormente, se procedió a calcular el calor de combustión bruto con la expresión siguiente:

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

peso:

H_g = calor bruto de combustión

t = diferencia de temperaturas

w = equivalente energético del calorímetro (2481.25 Calorías.)

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

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).

Propiedades mecánicas. Se utilizaron modelos matemáticos, basados en la densidad básica y la densidad normal, según Brown y Panshin (1980).

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

Thereafter, weight gain up to 12% (P_{12}) of moisture was calculated. With the same procedure volume up to 12 % moisture content was calculated. The following equations were used:

Weight: $\Delta P_{12} = \Delta P_o + 12(\Delta P1\%)$

volume: $\Delta V_{12} = V_o + 12(\Delta V1\%)$

Once P_{12} and V_{12} were obtained, the density at 12 % moisture content was determined using the following equation:

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

D_{12} : density at 12 % of moisture content
 P_{12} : weight at 12 % of moisture content
 V_{12} : volume at 12 % of moisture content

Calorific value. The sample intended for this property was divided into nine sub-samples: three close to the pith, three at the top of the total length of the sample and the last tree close to the bark; each one of a centimeter. They were dried and weighed; each sample had a weight lower than 1.0 g (calorimetric pump specifications to perform the combustion). A T-Parr-1341 oxygen bomb calorimeter was used with the technique given by Allen *et al.* (1974). Subsequently, gross calorific value was estimated using the following equation:

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

Weight:

H_g = gross calorific value

t = temperature difference

w = energy equivalent of the calorimeter (2481.25 Calories.)

m = sample mass in grams (g).

e_1 = correction in calories for nitric acid formation (HNO_3) equal to the millimeters of sodium carbonate that were used in the titration, if normality is 0.0709.

e_2 = correction in calories for the calorific value of fuse wire, if PARR 45C10 is made of nickel or chromium, the constant is used (2.3* cm of burnt wire).

Mechanical properties. Mathematical models, based on basic density and normal density, were used, according to Brown and Panshin (1980).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características anatómicas

En el Cuadro 2 se observan las características microscópicas de la madera, por el valor de las dimensiones. Los elementos de vasos se clasificaron como poco numerosos, con diámetros tangenciales grandes y radiales medianos, de longitud media según Jane (1970) y Tortorelli, (1956), respectivamente. Las fibras son de tipo libriforme, el diámetro total se clasificó como medio y de longitud moderadamente larga con un grosor de pared celular grueso; los radios se consideran moderadamente largos y finos, de acuerdo a Tortorelli (1956).

El parénquima axial es paratraqueal en bandas concéntricas, aliforme de ala corta y ancha y vasicéntrico (Figura 2), coincidiendo con la descripción de la especie (FAO 1998). Y con la especie *H. courbaril* (Moya *et al.*, 2007) presenta gomas en todas las células, además, de aceites en los elementos de vasos, el parénquima radial y axial. El parénquima axial presenta cristales, lo cual coincide con lo reportado por Corothie (1967). La madera presenta canales gomíferos traumáticos (se producen por algún daño mecánico que sufrió el árbol).

La longitud, el diámetro total y el del lumen se clasificaron según Tortorelli (1956), con una pared gruesa. La longitud de fibras y grosor de pared celular se clasificaron como las de *Inga spuria*, que es de la familia de las fabaceae (Aguilar y Castro, 2006).

Índices de calidad de pulpa para papel

La madera de *Hymenaea oblongifolia* presenta mala calidad de pulpa para papel, según la relación de Runkel (Cuadro 3). Si se relaciona la calidad para pulpa con la densidad básica, esta especie presenta mala calidad debido a su alta densidad ($0.64 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$), y las fibras con paredes celulares gruesas y moderadamente largas (Amidon, 1981; Casey, 1990; Tamarit, 1996) indican que la densidad básica de la madera está relacionada en forma inversamente proporcional con la calidad de la pulpa para papel. Por lo tanto, a menor densidad, la calidad de pulpa es mayor.

Propiedades físicas

La densidad básica es una de las propiedades tecnológicas más importantes de la madera y constituye un excelente criterio de evaluación, dada la estrecha relación que existe entre ésta y otras características de este material (Díaz-Vaz y Ojeda, 1980). En el Cuadro 4 se muestra la densidad básica de la madera de *Hymenaea oblongifolia*; los resultados indican que la madera de este estudio se clasifica como madera semipesada (Vignote, 1996) y reportan una densidad de 0.7 a $0.9 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$.

El poder calorífico promedio de la madera de *Hymenaea*

RESULTS AND DISCUSSION

Anatomical characteristics

Microscopic characteristics of wood by the value of the dimensions are shown in Table 2. Vessel elements were classified as few in number, with large tangential diameters and medium radials, of medium length according to Jane (1970) and Tortorelli, (1956), respectively. Fibers are libriform, the total diameter was classified as medium and with a moderately long length and with a thick cell wall; rays were considered as moderately long and thin, according to Tortorelli (1956).

Axial parenchyma is paratracheal in concentric, aliform with short and wide wing and vasicentric bands (Figure 2), agreeing with the description of the species (FAO 1998). And in the case of the *H. courbaril* species (Moya *et al.*, 2007) gums in all cells as well as oil in vessel elements, radial and axial parenchyma are observed. Axial parenchyma shows crystals, which agrees with that reported by Corothie (1967). Wood shows traumatic gum channels (produced by mechanical damage suffered by the tree).

Length, total diameter and lumen diameter were classified with a thick wall according to Tortorelli (1956). Fiber length and cell wall thickness were classified as *Inga spuria*, belonging to the Fabaceae family (Aguilar and Castro, 2006).

Quality indices of pulp for paper

Hymenaea oblongifolia wood presents bad quality of pulp for paper, according to the relationship of Runkel (Table 3). If quality for pulp is related with basic density, this species shows bad quality due to its high density ($0.64 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$). Fibers with thick and moderately long cell walls (Amidon, 1981; Casey, 1990; Tamarit, 1996) indicate that the basic density of wood is related inversely with the quality of pulp for paper. Thus, when there is a lower density, the quality of pulp is higher.

Physical properties

Basic density is one of the most important technological properties of wood and it constitutes excellent evaluation criteria, given the close relationship among this and other characteristics of this material (Díaz-Vaz and Ojeda, 1980). Basic density of *Hymenaea oblongifolia* wood is shown in Table 4. Results show that the wood of this study is classified as light heavyweight wood (Vignote, 1996) reporting a density of 0.7 to $0.9 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$.

Average calorific value of *Hymenaea oblongifolia* wood was $4,693.60 \text{ cal}\cdot\text{g}^{-1}$ (Table 4), a lower value than that reported by Quirino *et al.* (2005) for *Hymenaea courbaril* ($4,792 \text{ cal/g}$). Cunha *et al.* (1989) state that the calorific value is high when ligning content is high as well, be-

oblongifolia fue de 4,693.60 cal·g⁻¹ (Cuadro 4), valor más bajo que el reportado por Quirino *et al.* (2005) para *Hymenaea courbaril* (4,792 cal/g). Cunha *et al.* (1989) afirman que el poder calorífico es más alto cuanto mayor es el contenido de lignina y extractivos, porque contienen menos oxígeno que los polisacáridos presentes en la holocelulosa (celulosa y hemicelulosa). La madera de *Hymenaea oblongifolia* presentó abundantes contenidos de gomas y aceites (éstos se identificaron sólo físicamente) y algunos cristales, lo que podría evidenciar el poder calorífico alto de esta especie.

Propiedades mecánicas

Cabe precisar que los datos obtenidos en este estudio son el resultado de la utilización de coeficientes establecidos matemáticamente y sólo sirven como un referente de las propiedades mecánicas, ya que no fueron valores observados en laboratorio con probetas normalizadas para este tipo de ensayos. En el Cuadro 5 se pueden observar las ecuaciones que se calcularon con la densidad normal.

cause they contain less oxygen than the polysaccharides has in the holocellulose (cellulose and hemicellulose). *Hymenaea oblongifolia* wood showed abundant gum and oil content (they were only physically identified) and some crystals, what might show the high calorific power of this species.

Mechanical properties

It should be noted that the data obtained in this study are the result of the use of coefficients established mathematically and only serve as a reference for the mechanical properties, because they were not observed in laboratory using standard test pieces for this type of experiments. Equations calculated with normal density are shown in Table 5.

Mechanical resistance of *H. oblongifolia* wood at 12 % moisture content was similar than that reported for *H. courbaril* by FAO (1998). However, values in side hardness and ends hardness for *H. oblongifolia* were higher with respect to 1,351 and 886 kg for *H. courbaril*. If we

CUADRO 2. Características microscópicas de la madera de *Hymenaea oblongifolia* Huber.

TABLE 2. Microscopic characteristics of *Hymenaea oblongifolia* Huber wood.

POROS (ELEMENTOS DE VASO)						
Distribución	Agrupación	Núm. ·mm ⁻²	Longitud (μ)	Puntuación	Placa perforada	
Difusa	Solitarios, ocasional- mente múltiples	3 (10X)	Máximo= 586.01 Media= 476.83 Mínimo=351.55 D.E.=42.81	Alternas	Simple	
PARÉNQUIMA						
Axial			Radial			
Tipo		Clase	Tipo	Diámetro tangencial (μ)	Diámetro radial (μ)	
Bandas concéntricas, aliforme de ala corta y ancha, paratraqueal vasicéntrico.			Biseriado	Heterogéneo	Máximo= 751.49 Media=576.21 Mínimo=457.36 D.E.=89.55	Máximo= 54.59 Media= 38.75 Mínimo=28.12 D.E.=9.10
FIBRAS						
Longitud de fibra (μ)	Diámetro de lumen (μ)		Diámetro de fibra (μ)	Grosor de la pared celular (μ)		
Máximo= 1986.2 Media=1592.16 Mínimo=133.72 D.E.=136.55	Máximo=20.42 Media=13.77 Mínimo=8.37 D.E.=2.01		Máximo= 37.46 Media=30.37 Mínimo=21.20 D.E.=3.17	Máximo= 19.74 Media=16.60 Mínimo=10.43 D.E.=1.82		
CONTENIDOS CELULARES						
VASO	PARENQUIMA AXIAL		PARENQUIMA RADIAL		FIBRAS	
Gomas y aceites	Gomas y cristales		Gomas y aceites		Gomas	

DE: Desviación estándar.

DE: Standard deviation

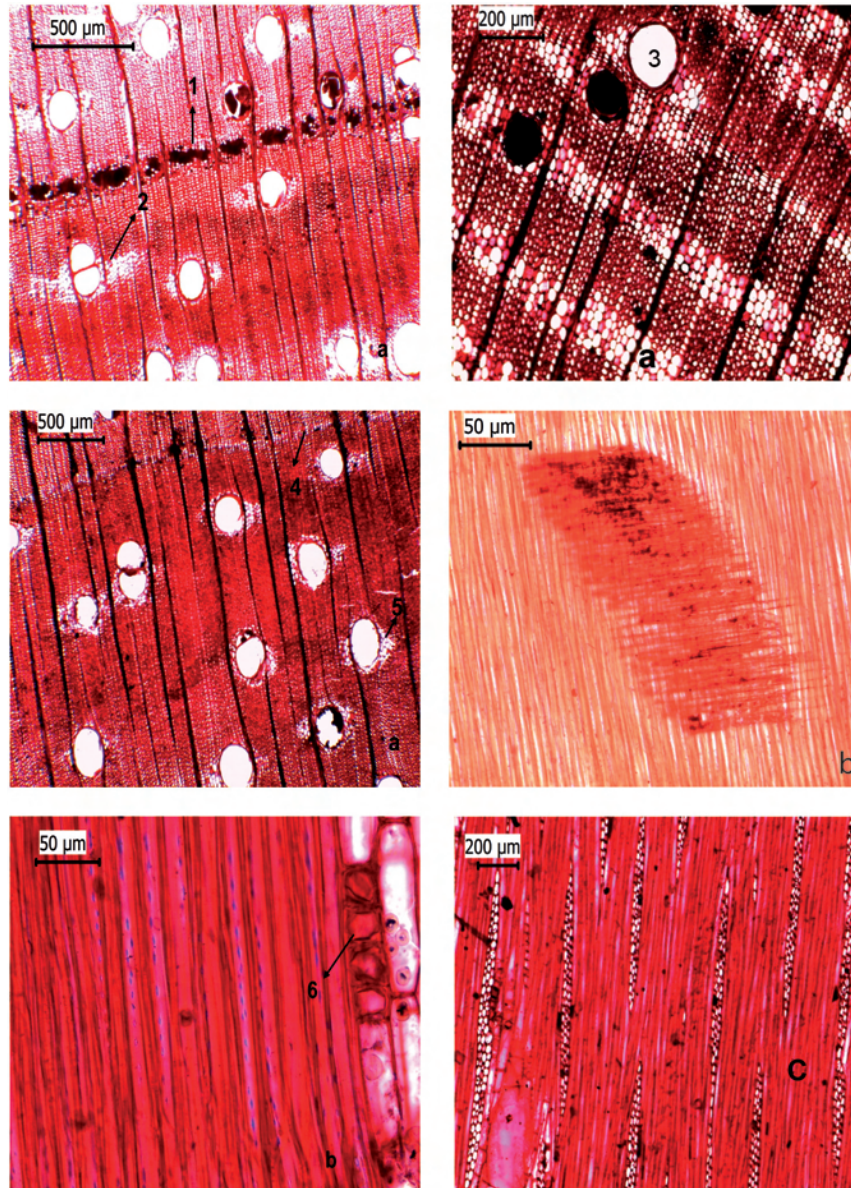


FIGURA 2. Características anatómicas de la madera de *Hymenaea oblongifolia* (Algarrobo): a) corte transversal (porosidad difusa), b) corte radial, c) corte tangencial; 1) canales gomíferos traumáticos, 2) poros múltiples, 3) poros solitarios, 4) parénquima concéntrico, 5) parénquima aliforme, 6) cristales en parénquima axial.

FIGURE 2. Anatomical characteristics of *Hymenaea oblongifolia* (Algarrobo) wood: a) cross-section (diffuse-porous), b) radial cut, c) tangential cut; 1)traumatic gum channels, 2) multiple pores, 3) lonely pores, 4) concentric parenchyma, 5) parenchyma aliform, 6) crystals in axial parenchyma.

CUADRO 3. Índices de calidad de pulpa para papel
TABLE 3. Quality indices of pulp for paper

	Coefficiente de rigidez (CR)	Coefficiente de Péteri o índice de esbeltez (IE)	Coefficiente de flexibilidad (CF)	Relación de Runkel (RR)
Máxima	1.25	78.60	0.55	3.34
Media	1.09	53.08	0.45	2.44
Mínima	0.90	41.45	0.37	1.66
Desviación estándar	0.07	8.16	0.03	0.33

Tamarit (1996)*

CUADRO 4. Propiedades físicas de la madera de algarrobo (*Hymenaea oblongifolia* Huber).**TABLE 4. Physical properties of algarrobo (*Hymenaea oblongifolia* Huber) wood.**

Densidad básica g·cm ⁻³		Poder calorífico(cal·g ⁻¹)	
Estadísticos	Valores	Estadísticos	Valores
Máxima	0.78	Máxima	4815.90
Media	0.64	Media	4693.60
Mínima	0.41	Mínima	4552.94
Desviación estándar	0.0537	Desviación estándar	97.00

La resistencia mecánica de la madera de *H. oblongifolia* al 12 % de contenido de humedad fue similar a la reportada para *H. courbaril* por FAO (1998). Sin embargo, los valores en la dureza lateral y de extremos para *H. oblongifolia* fueron superiores con respecto a 1,351 y 886 kg para *H. courbaril*. Si comparamos la resistencia mecánica de la madera de *H. oblongifolia* con la de *H. palustris*, resulta superior, pues *H. palustris* presenta un MOR de 1,300 kg·cm⁻², y MOE de 150 x 1000 kg·cm⁻² (USAID, 2002) (Cuadro 6). Otras especies de *Hymenaea* presentan un MOR aún más alto (180.000 kg·cm⁻²) (CONFEMADERA, 2004).

El valor encontrado de compresión paralela a la fibra en las especies de *Hymenaea* por CONFEMADERA (2004) y FAO (1998) fue superior (750 y 886 kg·cm⁻², respectivamente) al encontrado para *H. oblongifolia* (508 kg·cm⁻²).

CONCLUSIONES

Las características anatómicas estudiadas permiten clasificar a la madera de *H. oblongifolia* como de buena calidad y como de alta aceptación para la elaboración de piezas finas de diversos elementos como muebles y pisos, entre otros. Sin embargo, no es útil para la fabricación de papel.

Las propiedades físicas de la madera de *H. oblongifolia* (densidad y poder calorífico) la definen como una madera semipesada de uso para construcción y para tráfico pesado. Por otra parte, es de alto poder de combustión, resultando una buena alternativa para generación de energía, especialmente en la zona objeto de estudio. En la actualidad es muy común que en zonas periféricas del municipio de Bagadó-Chocó (Colombia) se use la leña como combustible.

Las características mecánicas de la madera de *H. oblongifolia*, en términos generales, son altas, califican-

compare the mechanical resistance of *H. oblongifolia* with *H. palustris* wood, the mechanical resistance of *H. oblongifolia* is higher, because *H. palustris* shows a MOR of 1,300 kg·cm⁻², and MOE of 150 x 1000 kg·cm⁻² (USAID, 2002) (Table 6). Other *Hymenaea* species show a higher MOR (180.000 kg·cm⁻²) (CONFEMADERA, 2004).

The value found for parallel compression to the fiber in the *Hymenaea* species (2004) and FAO (1998) was higher (750 and 886 kg·cm⁻², respectively) than that found for *H. oblongifolia* (508 kg·cm⁻²)

CONCLUSIONS

The anatomical characteristics in this study classify *H. oblongifolia* wood as wood with good quality and with

CUADRO 5. Modelos matemáticos utilizados para el cálculo de las propiedades mecánicas tomados como referencia por Brown y Panshin (1980).**TABLE 5. Mathematical models used for calculating the mechanical properties taken as reference by Brown and Panshin (1980).**

Ensayo	Madera verde	Madera al 12 % de CH
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
Impacto (cm)	289.56Db^{1.75}	240.284Dn^{1.75}
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
Compresión perpendicular a la fibra.		
Esfuerzo al límite de proporcionalidad (kg·cm ⁻²)	210.92Db^{2.25}	325.52Dn^{2.25}
Dureza		
Lateral (kg)	1696.43Db^{2.25}	2177.24Dn^{2.25}
Extrema (kg)	1551.28Db^{2.25}	1710.04Dn^{2.25}

CUADRO 6. Índices de las propiedades mecánicas de la madera de algarrobo (*Hymenaea oblongifolia* Huber).**TABLE 6. Mechanical properties indices of Algarrobo wood (*Hymenaea oblongifolia* Huber)**

Ensayo	Madera verde	Clasificación	Madera al 12 % C.H.	Clasificación
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*
Módulo de elasticidad 1000(kg·cm ⁻²)	106.1888	Medio	162.470	Alto*
Impacto (cm)	132.60	Muy alto	171.71	Muy alto*
Compresion paralela a la fibra				
Esfuerzo al límite de proporcionalidad (kg·cm ⁻²)	236.23	Muy bajo	507.71	Muy alta**
Esfuerzo máximo (kg·cm ⁻²)	302.82	----	707.89	Muy alto***
Modulo de elasticidad 1000(kg·cm ⁻²)	130.9376	Media	196.120	Muy alto
Compresion paralela a la fibra				
Esfuerzo al límite de proporcionalidad (kg·cm ⁻²)	77.27	Medio	211.33	Muy alto*
Dureza				
Lateral (kg)	621.50	Media	1413.46	Muy alta***
Extremas (kg)	568.32	Media	1110.15	Muy alta***

(Echenique 1994)*, (Fuentes 1998)**, (Dávalos *et al.*, 1999)***

do como una madera de alta a muy alta resistencia. Por ello, esta madera es un recurso importante para usarse en construcciones de edificios y plataformas pesadas, construcciones marinas y postes.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece de manera especial a la Universidad Tecnológica del Chocó y al personal de la División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo.

LITERATURA CITADA

- Aguilar-Rodríguez, S., & B.J. Castro-Plata. (2006). *Anatomía de la madera de doce especies del bosque mesófilo de montaña del Estado de México. Madera y Bosques* 12(1), 95-115.
- Allen S., Grimshaw M., H., Parkinson A., J., & Quarby C. (1974) *Chemical analysis of ecological material*. 2ªEd. Oxford, Reino Unido. Blackwell Scientific Publication.
- Amidon T., E. (1981). Effect of Wood properties of hardwoods on kraft paper properties. *Tappi California* 64(3), 123-125.
- Arango S., & Saldarriaga M. T. (1997). *Monografía del Chocó*. Quibdó, Colombia. Editorial de autores Chocoanos.

high acceptance for the manufacture of high quality pieces such as furniture and floors, among others. However, this wood is not useful for making paper.

Physical properties of *H. oblongifolia* wood (density and calorific power) define it as a light heavyweight timber for construction. On the other hand, this wood has a high combustion power, being a good alternative to produce energy, especially in the study area. Today is very common that in peripheral areas of the municipality of Bagadó-Choco (Colombia) firewood is used as combustible.

Mechanical properties of *H. oblongifolia* wood, in general terms, are high, qualifying as a wood with high to very high resistance. Therefore, this kind of wood is an important resource to use in building construction, heavy platforms, marine structures and posts.

ACKNOWLEDGEMENTS

To Universidad Tecnológica del Choco and to the Department of Forestry Sciences of Universidad Autonoma Chapingo.

End of English Version

- Borja de la R., A., & Tamarit U., J. C. (1997). Propiedades tecnológicas de la madera de *Pinus Arizona* Engelm del estado de Durango, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales, & Ambiente* 3 (1),103-107.
- Brown H., P., & Panshin A., J. (1980). *Textbook of wood technology: The physical, mechanical and chemical properties of the commercial woods of the United States Vol. II* (3a. Ed). New York, Toronto, London: Mcgraw-Hill Book Company.
- Casey P. (1990). *Pulpa y papel Química y tecnología química*. México, D. F. LIMUSA.
- 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).
- CONFEMADERAS, & 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.
- Corothie H. (1967). *Estructura anatómica de 47 maderas de la Guayana venezolana y Clave para su identificación*. Mérida, Venezuela: Ministerio de Agricultura y Cría. Universidad de los Andes. Laboratorio Nacional de Productos Forestales. Los Choros de Milla. Talleres Gráficos Universitarios.
- Cunha M. P., C., Pontes C. L., F., Cruz I., A., Cabral M. F., D., Cunha Neto. Z., B., & Barbosa A.P., R. (1989). Estudio Químico de 55 especies lenhosas para geracao de energia em caldeiras. In, 3º. *Encontro Brasileiro em madeiras e em estruturas de madeira. Anais*, v.2. Sao Carlos, Brasil.
- DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO DE ESTADISTICA NACIONAL. (2002). *Informe de Coyuntura Económica Regional del Chocó*. Bogotá, Colombia.
- Dávalos S., R., Bárcenas & P., G. (1999). *Clasificación de las Propiedades Mecánicas de las Maderas mexicanas*. *Revista Madera y Bosques*, 5(1), 61-69.
- Echenique M., R., Plumptre R., A. (1994). *Guía para el uso de maderas de México y Belice*. Guadalajara, México: Universidad de Guadalajara. Laboratorio de Ciencia y Tecnología de la Madera, A.C.
- FAO (1998). *Serie Técnica XII. Información técnica para el procesamiento industrial de 134 especies maderables de Bolivia*. Santa Cruz, Bolivia: Proyecto FAO-GCP/BOL/028/NET.
- 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), 221-229.
- García E. L., Guindeo C. A., Peraza O. C., & Palacios de Palacios P. (2003). *La madera y su anatomía*. Madrid, España: Mundi-Prensa.
- Jane, F.W. (1970). *The structure of wood*. New York : Mc. Millan.
- Moya R.R., M. Gómez. C, & J. Rivero M. (2007) .Clave de Identificación Macroscópica Para 22 Especies Maderables de Bolivia *Revista Forestal Venezolana*, 51(2),:179-193
- Navarro, M. J., A. Borja de la R., & R. Machuca V. (2005). Características tecnológicas de la madera de Palo Morado (*Peltogyne mexicana* Martínez) de Tierra Colorada, Guerrero, México. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 11(1):73-82
- Qurino W., F., Ailton T., V., Andrade A., P., Silva A. V. L., & Santos A. A., C. (2005). Poder calorífico de madeira e de materiais ligno-celulósicos. *Revista da Madeira* 89: 100-110
- Rodríguez M., L. (1988) *Caracterización anatómica de las maderas latifoliadas y claves macro y microscópica para la identificación de 120 especies*. Volumen I. Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- 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.
- Tapia-Tapia, E. C., & R. Reyes Chilpa. (2008). Productos forestales no maderables en México: aspectos económicos para el desarrollo sustentable. *Madera y Bosques*, 14(3),95-112.
- Tolosa E., González V. M., & Vignote S. (2004). *El Aprovechamiento Maderero*. 2ª Ed. Madrid, España: Mundi-Prensa.
- Tortorelli, A. (1956). *Maderas y Bosques de Argentina*. Buenos Aires, Argentina: ACME. S.A.
- USAID. (2002). *Promoting Lesser Known Species Harvesting, Industrialization and Marketing to Support Sustainable Forest Management in the Peruvian Amazon*. Lima, Peru: Project No. 527-A-00-02-0013-00 Amendment.
- Vignote P., S., F. & Jiménez. (1996). *Tecnología de la madera*. Madrid, España: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.