



Revista Mexicana de Ciencias Forestales

ISSN: 2007-1132

ciencia.forestal2@inifap.gob.mx

Instituto Nacional de Investigaciones

Forestales, Agrícolas y Pecuarias

México

Rodríguez Anda, Raúl; Ramírez Arango, Alejandra María; Palacios Juárez, Hilda; Fuentes Talavera, Francisco Javier; Silva Guzmán, José Antonio; Saucedo Corona, Alma Rosa  
Características anatómicas, físico-mecánicas y de maquinado de la madera de mezquite  
(Prosopis velutina Wooton)

Revista Mexicana de Ciencias Forestales, vol. 6, núm. 28, marzo-abril, 2015, pp. 156-173  
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias  
Distrito Federal, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63442133011>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Artículo / Article



## Características anatómicas, físico-mecánicas y de maquinado de la madera de mezquite (*Prosopis velutina* Wooton)

## Anatomical, physical-mechanical and machining characteristics of the wood of velvet mesquite (*Prosopis velutina* Wooton)

Raúl Rodríguez Anda <sup>1</sup>, Alejandra María Ramírez Arango <sup>2</sup>, Hilda Palacios Juárez <sup>1</sup>,  
Francisco Javier Fuentes Talavera <sup>1</sup>, José Antonio Silva Guzmán <sup>1</sup> y Alma Rosa Saucedo Corona <sup>1</sup>

### Resumen

Las características anatómicas, físico-mecánicas y de maquinado de la madera de mezquite (*Prosopis velutina*) fueron determinadas. Se recolectaron en el estado de Sonora cinco trozas de dos metros a partir del tocón. El estudio anatómico se efectuó conforme a lo estipulado por la IAWA. Las propiedades físico-mecánicas se evaluaron de acuerdo a las normas DIN. El maquinado se efectuó de forma manual y para la evaluación de la superficie se tomó como base la norma ASTM D 1666-87. La madera presentó porosidad difusa a semianular. Duramen con abundantes depósitos de color ámbar en vasos, parénquima axial y radial. Longitud y espesor promedio de fibras de 863  $\mu\text{m}$  y 4.3  $\mu\text{m}$ . Parénquima paratraqueal aliforme, confluyente de alas anchas. Radios medulares homocelulares. Cristales prismáticos abundantes en cámaras de parénquima axial. Densidad básica de la madera muy alta (0.79  $\text{g cm}^{-3}$ ) y con buena estabilidad dimensional. La resistencia a la flexión se clasificó como media (117  $\text{N mm}^{-2}$ ), y bajo módulo de elasticidad (11 232  $\text{N mm}^{-2}$ ). En resistencia a la compresión longitudinal se clasificó como muy alta (87  $\text{N mm}^{-2}$ ), y el módulo de elasticidad bajo (11 915  $\text{N mm}^{-2}$ ). La resistencia al impacto es regular (51  $\text{kJ m}^{-2}$ ). Al cizallamiento se considera como dura (19  $\text{N mm}^{-2}$ ). La dureza Brinell se califica como muy alta (tangencial 72 y radial 73  $\text{N mm}^{-2}$ , longitudinal 96  $\text{N mm}^{-2}$ ). Buena respuesta al encolado (Nivel 5; 7  $\text{N mm}^{-2}$ ). Su maquinado se califica como bueno, por lo que se deben utilizar herramientas de corte provistas con pastillas de carburo de tungsteno.

**Palabras clave:** Anatomía de la madera, estabilidad dimensional, maquinado de la madera, propiedades mecánicas, *Prosopis velutina* Wooton, resistencia de la madera.

### Abstract

The anatomical, physical-mechanical and machining characteristics of the wood of velvet mesquite (*Prosopis velutina*) were determined. Five two-meter logs were collected from stumps in the state of Sonora. The anatomical study was carried out in compliance with IAWA. The physical-mechanical properties were evaluated according to the DIN standards. The machining was done manually, and the surface was evaluated according to the norm ASTM D 1666-87. The wood was found to have a diffuse to semi-annular porosity. Heartwood with abundant amber-colored deposits in the vessels and in the axial and radial parenchyma. Average length and thickness of the fibers of 863  $\mu\text{m}$  and 4.3  $\mu\text{m}$ , respectively. Paratracheal winged-aliform parenchyma. Homocellular core radii. Prismatic crystals abound in the chambered axial parenchyma. The basic density of the timber is very high (0.79  $\text{g cm}^{-3}$ ) and its dimensional stability is good. Resistance to flexion was classified as medium (117  $\text{N mm}^{-2}$ ), and the modulus of elasticity, as low (11 232  $\text{N mm}^{-2}$ ). Resistance to longitudinal compression was classified as very high (87  $\text{N mm}^{-2}$ ), and the modulus of elasticity, as low (11 915  $\text{N mm}^{-2}$ ). Resistance to impact is rated fair (51  $\text{kJ m}^{-2}$ ). In the presence of shearing, it is considered to be hard (19  $\text{N mm}^{-2}$ ). Its Brinell hardness is rated very high (72  $\text{N mm}^{-2}$  tangential; 73  $\text{N mm}^{-2}$  radial and 96  $\text{N mm}^{-2}$  longitudinal). Its response to gluing is considered to be good (Level 5; 7  $\text{N mm}^{-2}$ ). Its machining is classified as good, and therefore cutting tools with tungsten carbide valve seats are required.

**Key words:** Wood anatomy, dimensional stability, machining of the wood, mechanical properties, *Prosopis velutina* Wooton, wood resistance.

Fecha de recepción/date of receipt: 11 de noviembre de 2014; Fecha de aceptación/ date of acceptance: 12 de enero de 2015.

<sup>1</sup> Departamento de Madera, Celulosa y Papel. Universidad de Guadalajara. Correo-e. rrodrigu@dmcp.cucei.udg.mx

<sup>2</sup> Posgrado del Departamento de Madera, Celulosa y Papel. Universidad de Guadalajara

## Introducción

El recurso forestal mexicano de bosques y selvas tiene una cobertura de 675 564 km<sup>2</sup>, que corresponde a 34.48 % de la superficie del país. El matorral xerófito cubre 578 447.3 km<sup>2</sup>, que representa 29.52 % del área total de la república mexicana (Inegi, 2012). Algunas de las especies de la vegetación xerófito son del género *Prosopis*, mejor conocidas como mezquite, que pertenecen a la familia Fabaceae, subfamilia Mimosoideae. En los estados de Sonora, San Luis Potosí, Tamaulipas, Guanajuato, Zacatecas, Durango, Coahuila y Nuevo León destacan por su producción forestal de mezquite; con menor importancia se ubican Aguascalientes, Baja California Sur, Chihuahua, Jalisco, Querétaro y Sinaloa (Cervantes, 2005). *Prosopis* spp. se considera una planta invasiva que puede reducir el hábitat de especies nativas, e incluso causar cambios ecológicos (Mirik y Ansley, 2012). No obstante, en la actualidad se utilizan como plantas para la reforestación por su alta capacidad de adaptación a condiciones de salinidad, sequías y altas temperaturas (Pometti *et al.*, 2009; Bolzón *et al.*, 2010).

El mezquite posee múltiples usos: sus frutos se emplean como forraje y alimento del hombre; la madera como combustible (carbón); con la resina que exuda del tronco se fabrican pegamentos y barnices; mientras que sus flores juegan un papel muy importante en la producción de miel (Rodríguez *et al.*, 2014). En el área de la construcción, la madera se utiliza en la edificación de viviendas rurales, pilotes y un numerosos artículos para el hogar: herramientas y juguetes (Carrillo-Parra *et al.*, 2011; Rodríguez *et al.*, 2014). A pesar de ello, su aprovechamiento es un tanto incipiente y empírico, ya que se efectúa con escasa tecnología, lo que ha limitado su potencialidad.

El uso correcto de la madera demanda del conocimiento de sus características, tanto anatómicas como de sus propiedades físico-mecánicas, mediante la aplicación de estándares internacionales que permitan, con base en sus propiedades, determinar las condiciones para su utilización y procesamiento. Es importante conocer las características anatómicas para así inferir posibles comportamientos de la madera bajo diferentes procesos de manejo y transformación; por ejemplo, la presencia o ausencia de tilosis o sustancias extraíbles en los vasos influyen en los tiempos de secado (Fuentes *et al.*, 1996); en la estabilidad dimensional y en la durabilidad natural de la madera, entre otros (Carrillo-Parra *et al.*, 2011). La formación de cristales prismáticos o sílice incide en el desgaste de las herramientas de trabajo y reducción de su tiempo de uso (Darmawan *et al.*, 2012). El desarrollo de hilo entrecruzado impacta directamente en el maquinado y en las calidades de superficie. Las propiedades mecánicas definen el comportamiento y capacidad que tiene la madera para resistir fuerzas externas. Los valores de resistencia mecánica son de suma importancia para aplicaciones tanto en la construcción como en la elaboración de productos sujetos a esfuerzos

## Introduction

Mexico has a forest and rainforest cover of 675 564 km<sup>2</sup>, corresponding to 34.48 % of the total surface of the country. Xerophytic shrubs cover 578 447.3 km<sup>2</sup>, represent 29.52 % of the total area of the Mexican Republic (Inegi, 2012). Some xerophytic species belong to the *Prosopis* genus, better known as *mezquite*, pertaining to the Fabaceae family and the Mimosoideae subfamily. The states of Sonora, San Luis Potosí, Tamaulipas, Guanajuato, Zacatecas, Durango, Coahuila and Nuevo León stand out for their forest *mezquite* production; it is less abundant in Aguascalientes, Southern Baja California, Chihuahua, Jalisco, Querétaro and Sinaloa (Cervantes, 2005). *Prosopis* spp. are considered to be invasive plants that may reduce the habitat of native species and even cause ecological changes (Mirik and Ansley, 2012). However, they are used today in reforestation due to their high adaptability to conditions of salinity, drought and high temperatures (Pometti *et al.*, 2009; Bolzón *et al.*, 2010).

*Mezquite* has multiple uses: its fruits are utilized as forage and for human consumption; the wood is used as fuel (charcoal), and the resin exuding from its trunk is employed in the manufacture of glues and varnishes, while its flowers play a major role in the production of honey (Rodríguez *et al.*, 2014). In the construction field, wood is used for building rural housing, pilings and a large number of household articles, including tools and toys (Carrillo-Parra *et al.*, 2011; Rodríguez *et al.*, 2014). Despite this, the exploitation of *mezquite* is somewhat incipient and empirical and is carried out with very little technology, which has limited its potentiality.

The correct use of wood demands knowledge of both its anatomical and physical-mechanical characteristics based on international standards which allow to determine the conditions for its use and processing according to its properties. It is important to know the anatomical characteristics of the wood in order to infer its potential behaviors under various handling and transformation processes; for instance, the presence or absence of tylosis or extractable substances in the vessels influence the drying period (Fuentes *et al.*, 1996); on dimensional stability and on the natural durability of the wood, among others (Carrillo-Parra *et al.*, 2011). The formation of prismatic crystals or silica influences the wear of working tools and reduces their lifetime (Darmawan *et al.*, 2012). The development of cross-threading has a direct impact on machining and on the qualities of the surface. The mechanical properties define the behavior and the capacity of wood to resist external forces. Its mechanical resistance values are crucial for its applications in construction and in the manufacture of products subjected to mechanical efforts, as its sizing will be done according to the resistance of wood and deformation.

In Mexico, studies on the physical-mechanical and anatomical properties of the *Prosopis* genus are relatively scarce, among them those by Sotomayor and Villaseñor (2005, 2006)

mecánicos, pues su dimensionamiento estará en función de la resistencia y deformación de la madera.

En México son relativamente escasos los trabajos sobre las propiedades físico-mecánicas y anatómicas del género *Prosopis*, entre ellos están los realizados por Sotomayor y Villaseñor (2005, 2006) referentes al comportamiento a la flexión en probetas modificadas y el comportamiento viscoelástico de la madera. Por su parte, Carrillo *et al.* (2011) determinaron la densidad, resistencia y módulo de elasticidad al ensayo de flexión en *Prosopis laevigata* (Humb. *et* Bonpl. *ex* Willd.) M.C. Johnst; Carrillo-Parra *et al.* (2011) realizaron ensayos de biodeterioro y determinaron la pérdida del módulo de elasticidad dinámico, mediante métodos no destructivos en la misma especie.

Ante lo expuesto, y dado que el género *Prosopis* tiene poca importancia, desde la perspectiva maderera, el objetivo del presente estudio fue generar información relevante de *Prosopis velutina* Wooton sobre sus características anatómicas (estructurales), propiedades físico-mecánicas y de maquinado, que sustente su aprovechamiento tecnológico y una adecuada utilización de la madera.

## Materiales y Métodos

### Material de estudio

Las muestras se recolectaron en el ejido San Miguel situado en el poblado de San Miguel de Horcasitas, en el centro del estado de Sonora, 29°29'N y 110°44'O; a una altitud de 400 m; con temperatura media anual de 23 °C y precipitación media anual de 300 mm (Inegi, 2009). Se derribaron cinco árboles de *Prosopis velutina*, obteniéndose una troza de 2 m de cada árbol a partir del tocón, y rodajas al diámetro altura de pecho (DAP) para los estudios físicos y anatómicos. También se recolectaron muestras de herbario para la identificación taxonómica.

### Aserrío de trozas

Las trozas se aserraron en un equipo Industrias Mecánicas modelo A21 tablones de 100 x 15 a 30 x 5 cm, con orientación radial. Fueron presecadas por 30 días, en un secador solar elaborado por el Departamento de Madera, Celulosa y Papel perteneciente a la Universidad de Guadalajara, donde alcanzaron un nivel de contenido de humedad (CH) de 20 %. Posteriormente, los tablones se predimensionaron a longitudes de 40 x 4 x 4 cm, y se procedió a secarlos hasta 12 % de CH, en una estufa de vacío de laboratorio Squaroid modelo 3608, a temperatura de 50 °C y presión de vacío de 74 kPa.

regarding the behavior to flexion in modified test tubes and the viscoelastic behavior of wood. On their part, Carrillo *et al.* (2011) determined the density, resistance and elasticity module to flexion tests in *Prosopis laevigata* (Humb. *et* Bonpl. *ex* Willd.) M. C. Johnst; they carried out biodeterioration tests and determined the loss of dynamic elasticity modulus through non-destructive methods in this species.

In the face of what has been exposed, and given that the *Prosopis* genus has little importance from the perspective of the timber industry, the objective of the present study was to generate relevant information on the anatomical (structural) characteristics and physical-mechanical and machining properties of *Prosopis velutina* Wooton in order to sustain the technology-based exploitation and adequate use of the wood.

## Materials and Methods

### Study materials

The samples were collected at *Ejido San Miguel*, located in the town of *San Miguel de Horcasitas*, in central Sonora, at 29°29' N and 110°44' W and at an altitude of 400 m, with a mean annual temperature of 23 °C and a mean annual precipitation of 300 mm (Inegi, 2009). Five *Prosopis velutina* trees were felled, and a 2 m log and slices cut from the diameter at breast height (DBH) were obtained from the stump of each tree for physical and anatomical studies. Herbarium samples were also collected for purposes of taxonomic identification.

### Log sawing

Logs were sawed into 100 x 15 to 30 x 5 cm planks with radial orientation, using a model A21 *Industrias Mecánicas* saw. The planks were predried during 30 days in a solar dryer manufactured by the *Universidad de Guadalajara* at the *Departamento de Madera, Celulosa y Papel*, where they reached a moisture content level (HC) of 20 %. Later, they were pre-sized to lengths of 40 x 4 x 4 cm, and were subsequently dried to 12 % of their HC in a 3608 Squaroid model laboratory vacuum oven at 50 °C and a vacuum pressure of 74 kPa.

### Anatomical study

Five 1.5 x 1.5 cm cross-sectional specimens out of every 3 cm thick slice were cut from the DBH core, following the radius from the center to the periphery, with an E-4210 model Rockwell Invicta-Euromex saw. These specimens were softened during 24 hours in a Pyrex glass beaker with boiling hot water in order not to alter their structure. Next, 10 to 20 µ thick cuts were made on each anatomic side using an American Optical 860 model sliding microtome. The observations were made in a M- 12 83632 Wild Heerbrugg model clear field microscope,



## Estudio anatómico

De cada rodaja cortada del DAP (3 cm espesor) se recortaron cinco especímenes de 1.5 x 1.5 cm de sección transversal, siguiendo el radio medular del centro a la periferia, con un *Rockwell Invicta* - Euromex E-4210. Estos se ablandaron durante 24 horas, en un vaso de precipitado *Pyrex* con agua a ebullición para no alterar su estructura. A continuación se realizaron cortes entre 10 y 20 micras de espesor de cada una de las caras anatómicas, en un micrótopo de deslizamiento *American Optical* modelo 860. Las observaciones se hicieron en un microscopio de campo claro *Wild Heerbrugg* modelo M-12 83632, con cámara de video acoplada *Hitachi* KP-D51 color. Para capturar las imágenes de los cortes histológicos se utilizó el programa *Matrox* PC-VCR versión 02.10.10. La medición de los elementos celulares se llevó a cabo mediante *ArcView* GIS 3.2. La descripción de la anatomía de la madera se efectuó conforme a lo estipulado por la IAWA (1989).

## Propiedades físicas

Se evaluaron de acuerdo a las Normas Alemanas DIN (DIN, 2000). El contenido de humedad, densidad y estabilidad dimensional se determinaron en ejemplares de prueba de 25 x 25 x 10 cm de las rodajas cortadas al DAP, con base en las normas DIN 52 183, DIN 52 182 y DIN 52 184, respectivamente.

Para la estabilidad dimensional de la madera, el material se acondicionó secuencialmente a las humedades relativas del aire de 65, 85, 35 y 0 % en una cámara de acondicionamiento ETS (*Electro techsystem*) modelo 506<sup>a</sup>, a una temperatura de 25 °C.

## Propiedades mecánicas

Con excepción de la prueba de dureza *Brinell* se realizaron siguiendo las Normas Alemanas DIN (DIN, 2000). De las piezas predimensionadas (40 x 4 x 4 cm) y secadas en una estufa de vacío de laboratorio *Squaroid* modelo 3608, se elaboraron los especímenes para los ensayos mecánicos. La evaluación de la madera al ensayo de flexión estática se utilizó la norma DIN 52 186, con muestras de 20 x 20 x 360 mm. En la determinación de resistencia a la compresión longitudinal se aplicó la norma DIN 52 185, con especímenes de 20 x 20 x 60 mm. El ensayo del trabajo a la ruptura por impacto se realizó de acuerdo a DIN 52 189, con materiales de 20 x 20 x 250 mm. La determinación de la resistencia al corte longitudinal radial se efectuó conforme a lo estipulado en DIN 52 187, con muestras de 37 x 37 x 37 mm. El ensayo de dureza se hizo con el método *Brinell* estipulado en la norma Europea DIN EN 1534 (DIN, 2000), las dimensiones utilizadas fueron de 37 x 37 x 37 mm.



with a coupled KP-D51 Hitachi color video camera. In order to capture the images of the histological cuts, *Matrox* PC-VCR version 02.10.10 was used. The cellular elements were measured using *ArcView* GIS 3.2. The anatomical description of the wood was carried out according to IAWA (1989).

## Physical properties

These were evaluated according to the German DIN Standards (DIN, 2000). The humidity content, density and dimensional stability were determined in 25 x 25 x 10 cm test specimens of the slices cut from the DBH core, as per standards DIN 52 183, DIN 52 182 and DIN 52 184, respectively.

For the sake of the dimensional stability of the wood, the material was sequentially conditioned to 65, 85, 35 and 0 % relative air humidity in a model 506<sup>a</sup> ETS (*Electro techsystem*) conditioning chamber, at 25 °C.

## Mechanical properties

All tests, with the exception of the Brinell hardness test, were carried out according to the DIN German Standards (DIN, 2000). The specimens for the mechanical tests were developed from the pre-sized pieces (40 x 4 x 4 cm) and dried in a 3608 *Squaroid* model laboratory vacuum oven. The evaluation of the wood through static flexion tests was carried out according to the DIN 52 186 standard, with 20 x 20 x 360 mm samples. The DIN 52 185 standard was applied to 20 x 20 x 60 mm specimens in order to determine their resistance to longitudinal compression. The work to rupture by impact test was carried out according to DIN 52 189, with 20 x 20 x 250 mm materials. The resistance to radial-longitudinal cutting was determined according to standard DIN 52 17, with 37 x 37 x 37 mm samples. The hardness test was performed using the Brinell method stipulated in the European standard DIN EN 1534 (DIN, 2000); the dimensions used were 37 x 37 x 37 mm.

The mechanical tests were carried out in a 81105 model Karl Frank universal machine with a load capacity of 50 000 N and a 53580 model Karl Frank striking pendulum with a capacity of 300 J.

## Gluing tests

Gluing was assessed according to the DIN EN 205 standard (DIN, 2003), with 20 x 10 x 150 mm materials for the tension test; the adhesive used was the commercial glue *Resistol* 850.

## Machining

The machining was done manually, subjecting the wood to longitudinal cuts with an A21 model *Industrias Mecánicas* tape

Los ensayos mecánicos se hicieron en una máquina universal Karl Frank modelo 81105, con una capacidad de carga de 50 000 N, y un péndulo de golpe Karl Frank modelo 53580, con capacidad de 300 J.

## Ensayos de encolado

La evaluación del encolado se llevó a cabo conforme a DIN EN 205 (DIN, 2003), con materiales de 20 x 10 x 150 mm, para el ensayo de tensión, el adhesivo utilizado fue el pegamento blanco comercial Resistol 850.

## Maquinado

El maquinado se efectuó de forma manual, sometiéndose a cortes longitudinales con sierra cinta Industrias Mecánicas A21 y circular Rockwell Invicta - Euromex modelo 2858; cortes transversales con sierra circular Black & Decker 790; cepillado (Rockwell Invicta - Euromex 8430), barrenado (TE 60116), escopleado y moldurado. En el caso de las superficies de corte se tomó como base la norma ASTM D 1666-87 (ASTM, 2007); así como, la clasificación del maquinado propuesta por Frühwald *et al.* (1992), cuya clase 1 es muy buena, sin defectos; clase 2, buena, defectos de intensidad mínima; clase 3, satisfactorio, los defectos pueden desaparecer en el siguiente paso de trabajado; clase 4, suficiente, los defectos pueden desaparecer en el siguiente paso de trabajo, pero con mayor aplicación; clase 5, deficiente, defectos graves. Las pruebas fueron llevadas a cabo al momento de elaborar los especímenes de los diferentes ensayos mecánicos, por lo que el maquinado se evaluó de manera continua.

Los cortes longitudinales con sierra cinta se hicieron en un equipo de Industrias Mecánicas modelo A21, con volantes de 112 mm de diámetro y 60 mm de ancho, a 1 740 rpm, de alimentación manual. Se empleó una cinta con dientes de pastillas de carburo de tungsteno de forma plana, alternada con trapecio Lenox Tri-master Carbide Tipped. Los cortes longitudinales con sierra circular se obtuvieron en un equipo Rockwell Invicta a 3 520 rpm de alimentación manual, para ello se empleó un disco de 300 mm de diámetro con 28 dientes de pastillas de carburo de tungsteno Leitz con nomenclatura WK 150-4-GA 069524.

Los cortes transversales se llevaron a cabo en una sierra Black & Decker a 2 850 rpm de desplazamiento manual, con un disco de 300 mm de diámetro, con 60 dientes de pastillas de carburo de tungsteno Leitz con nomenclatura WK 270-2-87 068601. El cepillado se practicó en una canteadora Rockwell Invicta a 4 390 rpm con rodillos de tres navajas de acero, con ángulos de filo de 40° y de alimentación manual.

En el ensayo de barrenado se usó un taladro de columna TE modelo 60116 de 360 rpm, la broca fue para barrenar metal

saw and a 2858 model Rockwell Invicta-Euromex circular saw; crosscuts with a Black & Decker 790 circular saw; planing (Rockwell Invicta-Euromex 8430), boring (TE 60116), chiseling and molding. The cutting surfaces were based on the norm ASTM D 1666-87 (ASTM, 2007). The classification of the machining as based on the classification proposed by Frühwald *et al.* (1992), according to which class 1 is very good, without defects; class 2 is good, with minimal defects; class 3 is satisfactory, the defects may disappear in the next machining step; class 4, sufficient, the defects may disappear in the next machining step, but more effort is required; class 5 is deficient, with serious defects. The tests were carried out at the time of preparing the specimens for the various mechanical tests, and therefore, the machining was continually assessed.

Longitudinal cuts were made with a model A21 Industrias Mecánicas tape saw, with manually-fed 60 mm wide flywheels with a 112 mm diameter at 1 740 rpm. A tape with teeth of flat tungsten carbide valve seats, alternated with a Lenox Tri-master Carbide Tipped trapezium. The longitudinal cuts with a circular saw were made using manually-fed Rockwell Invicta equipment at 3 520 rpm; a disk with a diameter of 300 mm with 28 Leitz tungsten carbide tipped teeth with the nomenclature 150-4-GA 069524.

Crosscuts were made with a Black & Decker hand saw at 2 850 rpm, with a disk of 300 mm of diameter with 60 Leitz tungsten carbide tipped teeth with the nomenclature WK 270-2-87 068601. The planing was done with a Rockwell Invicta edge banding machine at 4 390 rpm with manually fed rollers with three steel blades, at edge angles of 40°.

In the boring test, a 60116 TE model column drill bit was used at 360 rpm to bore metal with an edge angle of 30°, a diameter of 12 mm and a length of 100 mm, commonly used in carpentry shops.

The chiseling was done in a Rockwell Invicta manually-fed pedal router at 18 3000 rpm, with a straight cutting drill bit, a couple of tungsten carbide tablets, a 40° edge angle, a diameter of 12 mm and a length of 35 mm.

The molding was carried out by using a Black & Decker hand router at 25 000 rpm; the drill bit had two tungsten carbide tips cutting at an angle of 30°, with a height of 13 mm, and a diameter of 29 mm.



de 30° de ángulo de filo, de 12 mm de diámetro y 100 mm de longitud, que comúnmente se emplean en las carpinterías.

El escopleado se realizó en un router de pedal y de alimentación manual *Rockwell Invicta* a 18 300 rpm, la broca fue de corte recto, con un par de pastillas de carburo de tungsteno, con ángulos de filo de 40° de 12 mm de diámetro y 35 mm de longitud.

En la ejecución del moldurado se utilizó un router manual *Black & Decker* a 25 000 rpm, la broca estuvo provista de dos pastillas de carburo de tungsteno a 30° de ángulo de corte de 13 mm de altura y 29 mm de diámetro.

## Resultados y Discusión

### Identificación de la especie

Personal del Herbario del Departamento de Botánica del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad de Guadalajara identificó las muestras botánicas, la especie correspondió a:

*Prosopis velutina* Wooton

Familia: Fabaceae

Nombres comunes: mezquite (Mx.), velvet mesquite (USA), fluweel prosopis (Sudáfrica)

Presenta hojas bipinnadas, pecioladas, folíolos oblongos y pubescentes con márgenes enteros; las superficies de las hojas muestran tricomas glandulares, unicelulares y cristales de cera, lo que produce una textura aterciopelada al tacto. Las flores forman racimos con forma de espiga, de 5 a 15 cm de largo, con florecillas amarillo-verduzco claras.

### Estudio anatómico

En el Cuadro 1 se resumen los resultados de las mediciones de los elementos anatómicos de la madera de *Prosopis velutina*.

### Porosidad

La madera de *Prosopis velutina* tuvo porosidad difusa a semianular (Figura 1A). En promedio 11 vasos mm<sup>-2</sup>, dispuestos en patrón tangencial, en grupos radiales de dos a cinco, con diámetro promedio de 188 µm. Vasos de madera temprana solitarios, ocasionalmente en racimos (Figura 1B.1). Tal parece que estos tipos de porosidades son característicos del género. Bolzon *et al.* (2010) observan la misma tendencia en *Prosopis nigra* Griseb. Por otro lado, León (2008) registra porosidad difusa en *Prosopis juliflora* (Sw.) DC., y Carrillo-Parra (2007) en

## Results and Discussion

### Species identification

Staff members of the *Herbario de Botánica* of the *Departamento de Botánica* of the *Centro de Ciencias Biológicas y Agrícolas de la Universidad de Guadalajara* identified the botanical samples; the species was:

*Prosopis velutina* Wooton.

Family: Fabaceae.

Common names: *mezquite* (Mx.), *velvet mesquite* (USA), *fluweel prosopis* (Southafrica)

It has bipinnate, petiolate leaves; oblong, pubescent folioles with whole margins; the surfaces of the leaves show glandular, unicellular trichomes and wax crystals that produce a velvety texture. The flowers form spike shaped clusters with a length of 5 to 15 cm, with small light yellow-green flowers.

### Anatomical study

Table 1 summarizes the results of the measurements of the anatomical elements in the wood of *Prosopis velutina*.

### Porosity

The wood of *Prosopis velutina* had diffuse to semi-annular porosity (Figure 1A). An average of 11 mm<sup>-2</sup> tangentially arranged vessels, in radial groups of two to five, with an average diameter of 188 µm. Solitary early wood vessels, occasionally clustered (Figure 1B.1). It seems that these types of porosities are characteristic of the genus. Bolzon *et al.* (2010) observe the same tendency in *Prosopis nigra* Griseb. On the other hand, León (2008) registers a diffuse porosity in *Prosopis juliflora* (Sw) DC., and Carrillo-Parra (2007) in *P. laevigata*. Other researchers mention the wood of *Prosopis alba* Griseb. as semi-annular (Bolzón *et al.*, 2010) and *P. laevigata* (Palacios *et al.*, 2013). The type of porosity may be associated to the environment where these species grow. Under conditions of scarce precipitation, they develop a semi-annual porosity, and in environments with more precipitation they form a diffuse porosity (Carrillo-Parra, 2007; Aguilar-Rodríguez *et al.*, 2001).

Because of these types of porosity (diffuse to semi-annular), *Prosopis* spp. affords advantages when an adhesive or a coating is applied to the wood, because the amount of the product is smaller, compared to a timber with annular porosity, in which the vessels are larger or more abundant.

*P. laevigata*. Otros investigadores mencionan como semianular para *Prosopis alba* Griseb. (Bolzón *et al.*, 2010) y *P. laevigata* (Palacios *et al.*, 2013). El tipo de porosidad puede asociarse al ambiente donde crecen estas especies. En condiciones de poca precipitación pluvial desarrollan porosidad semianular y en ambientes con mayor precipitación forman porosidad difusa (Carrillo-Parra, 2007; Aguilar-Rodríguez *et al.*, 2001).

Por los tipos de porosidad (difusa a semianular) *Prosopis* spp. ofrece ventajas cuando se aplica un adhesivo o recubrimiento a la madera, puesto que la cantidad del producto es menor, en comparación con una madera de porosidad anular, en la que los vasos son más grandes o abundantes.



Cuadro 1. Mediciones anatómicas de la madera de *Prosopis velutina* Wooton.

	Vasos			Radios		Fibras		
	Por mm <sup>2</sup>	Diámetro (μm)	Ancho (μm)	Altura (μm)	Por mm	Longitud (μm)	Diámetro (μm)	Espesor de pared (μm)
Promedio	11	188	63	346	4	863	12.8	4.3
Valor máximo	21	260	93	963	7	1 099	17.5	6.0
Valor mínimo	5	141	30	125	2	272	9.6	2.3
Desviación Estándar	4.2	27.0	12.2	162.8	1.1	179	2.0	0.95
Coefficiente de Variación	36.8	14.3	19.4	47.1	26.6	20.8	15.8	22.2

Table 1. Anatomical measurements of *Prosopis velutina* Wooton wood.

	Vessels			Radii		Fibers		
	Per mm <sup>2</sup>	Diameter (μm)	Width (μm)	Height (μm)	Per mm	Length (μm)	Diameter (μm)	Wall thickness (μm)
Average	11	188	63	346	4	863	12.8	4.3
Maximum value	21	260	93	963	7	1 099	17.5	6.0
Minimum value	5	141	30	125	2	272	9.6	2.3
Standard deviation	4.2	27.0	12.2	162.8	1.1	179	2.0	0.95
Variation coefficient	36.8	14.3	19.4	47.1	26.6	20.8	15.8	22.2

Fibras

Fibras con punteaduras simples, muy finas, de longitud, diámetro y espesor de pared celular promedio de 863, 12.8 y 4.3 μm, respectivamente. Clasificadas, conforme a IAWA (1989) como paredes de espesor grueso (Figura 1C.1). Tamarit (1996) señala para *P. juliflora* un espesor de pared celular de 5 μ. Palacios *et al.* (2013) y Tamarit (1996) consignan espesores de pared celular de 4 a 5 μm, respectivamente para *P. laevigata*.

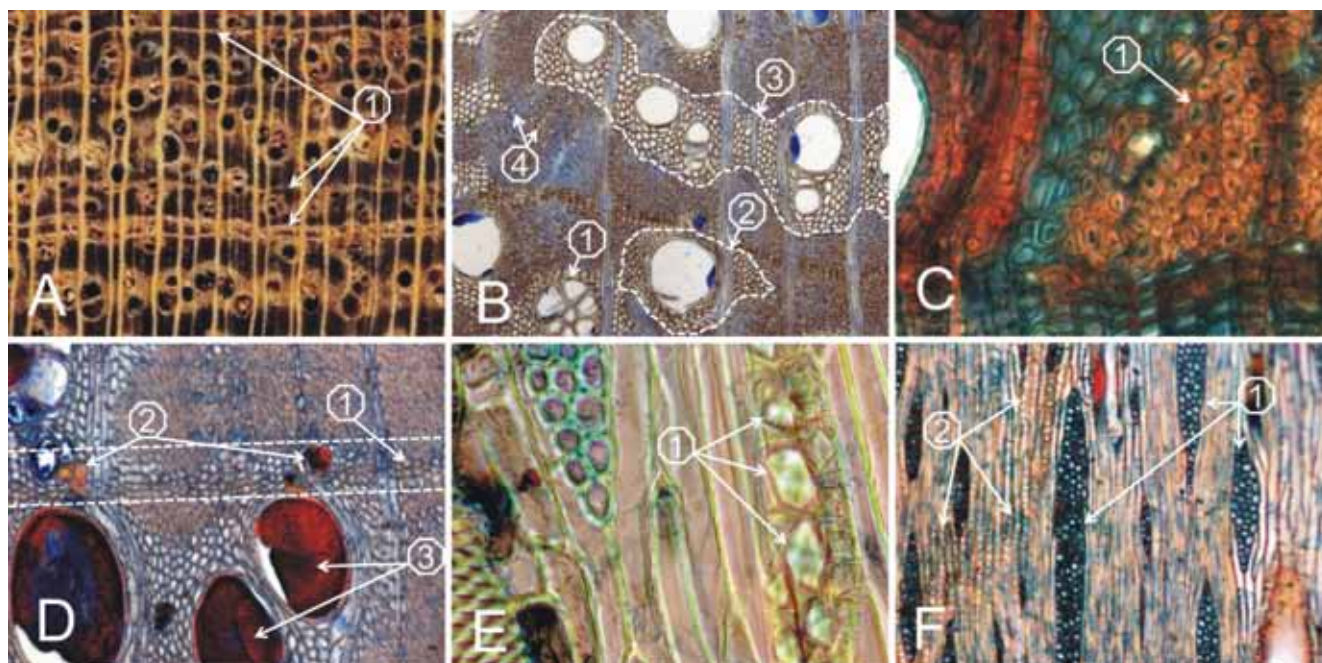
Fibers

Fibers with simple, very fine dots, with an average cell wall length, diameter and thickness of 863, 12.8 and 4.3 μm, respectively, classified as thick walls according to IAWA (1989) (Figure 1C.1). Tamarit (1996) points out a cell wall thickness of 5 μ for *P. juliflora*. Palacios *et al.* (2013) and Tamarit (1996) register cell wall thicknesses of 4 to 5 μm, respectively, for *P. laevigata*.



La cantidad total de las fibras presentes en la madera asociada a la longitud, diámetro y espesor de la pared celular influyen directamente en la densidad de la madera (Aguilar-Rodríguez *et al.*, 2001; Carrillo-Parra, 2007), y en las propiedades mecánicas del papel (Tamarit, 1996).

The total number of fibers present in the wood associated to cell wall length, diameter and thickness directly influence the density of the Wood (Aguilar-Rodríguez *et al.*, 2001; Carrillo-Parra, 2007), and in the mechanical properties of paper (Tamarit, 1996).



A.1) Demarcación de anillos estacionales. B.1) Vasos en racimo. B.2) Parénquima paratraqueal aliforme. B.3) Parénquima paratraqueal aliforme confluyente. B.4) Parénquima apotraqueal difuso. C.1) Engrosamiento de la pared celular. D.1) Parénquima marginal con cristales. D.2) Parénquima marginal con vasos de menor tamaño. D.3) Depósitos en vasos. E.1) Parénquima axial con cristales prismáticos. F.1) Radio medular. F.2) Cristales prismáticos

A.1) Demarcation of seasonal rings. B.1) Clustered vessels. B.2) Aliform paratracheal parenchyma. B.3) Confluent aliform paratracheal parenchyma. B.4) Diffuse apotracheal parenchyma. C.1) Thickening of the cell wall. D.1) Marginal parenchyma with crystals. D.2) Marginal parenchyma with smaller vessels. D.3) Deposits in the vessels. E.1) Axial parenchyma with prismatic crystals. F.1) Core radius. F.2) Prismatic crystals.

Figura 1. Cortes anatómicos de la madera de *Prosopis velutina* Wooton.

Figure 1. Anatomical cuts of *Prosopis velutina* Wooton wood.

## Parénquima

Parénquima marginal en bandas discontinuas más delgadas que los radios medulares (Figura 1D, líneas punteadas), frecuentemente con presencia de cristales prismáticos (Figura 1D.1) y vasos de menor diámetro (Figura 1D.2). La demarcación de anillos de crecimiento para el género, con frecuencia se aprecia por la presencia de finas bandas continuas a discontinuas de parénquima marginal (Figura 1A.1).

Parénquima axial, paratraqueal aliforme (Figura 1B.2) y aliforme confluyente de alas anchas (Figura 1B.3). Parénquima apotraqueal difuso (Figura 1B.4). El parénquima axial, en general, almacena sustancias nutritivas extraíbles, sales amorfas o cristalinas (Figura 1E.1); según su abundancia y posición son un rasgo importante en la caracterización e identificación taxonómica de las maderas; que de igual forma pueden influir en la apariencia o diseño natural de la madera y, por tanto, en

## Parenchyma

Marginal parenchyma in discontinuous bands thinner than core radii (Figure 1D, dotted lines), often with the presence of prismatic crystals (Figure 1D.1) and vessels with a smaller diameter (Figure 1D.2). The demarcation of rings for this genus can often be perceived as thin continuous to discontinuous marginal parenchyma bands (Figure 1A.1).

Axial, paratracheal aliform (Figure 1B.2) and confluent winged-aliform parenchyma (Figure 1B.3). Diffuse apotracheal parenchyma (Figure 1B.4). In general, axial parenchyma stores extractable nutritional substances and amorphous or crystal salts (Figure 1E.1); according to their abundance and position, they are an important feature for the characterization and taxonomic identification of woods; equally, they may influence the appearance or natural design of the wood and, therefore, its decorative aspect (Burguer and Richter, 1991).

su aspecto decorativo (Burguer y Richter, 1991). Su abundancia repercute en un tejido débil que afecta la resistencia final de la madera. En caso de aplicar un recubrimiento, es factible que el gasto se incremente.

## Radios

Radios multiseriados homocelulares procumbentes (Figura 1F.1), de ancho y altura promedio 63  $\mu\text{m}$  y 346  $\mu\text{m}$ , respectivamente, con cuatro radios por milímetro, en promedio.

Los radios multiseriados generan puntos débiles en el compuesto madera, debido a que esfuerzos mecánicos tienden a originar fisuras a lo largo de ellos, lo cual influye en la calidad de la madera (Burguer y Richter, 1991). La presencia de abundantes radios medulares poliseriados puede incidir negativamente en las propiedades mecánicas y en la contracción tangencial de la madera (Bárcenas *et al.*, 2002). Aunque, contribuye de manera positiva en sus características estéticas.

## Sustancias minerales

En varias ocasiones se observan cristales prismáticos en células radiales, pero son muy abundantes en cámaras de parénquima axial (Figura 1F.2) Presencia de cristales en cadenas largas; células cristalíferas septadas; un cristal por célula (Figura 1E.1). Los cristales de oxalato de calcio, según el género, presentan diferentes arreglos (IAWA, 1989); sin embargo en pocos casos esto es un rasgo taxonómico confirmativo (Burguer y Richter, 1991). Para *P. velutina* son profusos, lo que incide en el desafilado de las herramientas de corte (Darmawan *et al.*, 2012).

## Extractos

En duramen hay abundantes depósitos de color ámbar en vasos (Figura 1D.3), parénquima axial y parénquima radial; y menos frecuente en fibras; favorecen una mejor resistencia contra organismos patógenos y la estabilidad dimensional. Cuando son muy abundantes, es factible que saturen los dientes de las herramientas de corte (Burguer y Richter, 1991; Rodríguez *et al.*, 2007).

## Propiedades físicas

### Densidad

El valor promedio de la densidad básica fue de 0.79  $\text{g cm}^{-3}$ , la densidad con 12 % de CH (densidad normal) de 0.89  $\text{g cm}^{-3}$ , y densidad anhidra de 0.84  $\text{g cm}^{-3}$ . Conforme a la categorización de Prospect (1997), la madera se clasificó como de densidad muy alta. Carrillo-Parra (2007) cita valores de densidad normal y

Their abundance results in a weak tissue that affects the final resistance of the wood. The wear may be increased by the application of a coating.

## Radii

Procumbent homocellular multiseriate radii (Figure 1F.1), with an average width and height of 63  $\mu\text{m}$  and 346  $\mu\text{m}$ , respectively, with four radii per millimeter, in average.

Multiseriate radii generate weak points in the wood compound because mechanical efforts tend to cause fissures along them; this influences the quality of the wood (Burguer and Richter, 1991). The presence of abundant polyseriate core radii may have a negative impact on the mechanical properties and on the tangential contraction of the wood (Bárcenas *et al.*, 2002); however, it is a positive contribution to its aesthetic characteristics.

## Mineral substances

Prismatic crystals are often observed in radius cells, but they are very abundant in chambered axial parenchyma (Figure 1F.2). Crystals are present in long chains, with septated crystal-bearing cells and one crystal per cell (Figure 1E.1). Calcium oxalate crystals are arranged differently according to the genus (IAWA, 1989); however, in some cases this is a confirmative taxonomic feature (Burguer and Richter, 1991). They are profuse in *P. velutina* and may therefore cause blunting of the cutting tools (Darmawan *et al.*, 2012).

## Extracts

Amber colored deposits are abundant in the heartwood vessels (Figure 1D.3), axial parenchyma and radial parenchyma, being less frequent in the fibers. They favor a better resistance to pathogenic organisms and dimensional stability. When they are very abundant, they may saturate the teeth of the cutting tools (Burguer and Richter, 1991; Rodríguez *et al.*, 2007).

## Physical properties

### Density

The average value of the basic density was 0.79  $\text{g cm}^{-3}$ ; the density, with 12 % HC (normal density), 0.89  $\text{g cm}^{-3}$ , and the anhydrous density, 0.84  $\text{g cm}^{-3}$ . According to the classification by Prospect (1997), the wood was rated as high density. Carrillo-Parra (2007) cites normal and anhydrous density values of 0.84 and 0.76  $\text{g cm}^{-3}$ , respectively, for *Prosopis laevigata*. Vignote (1999) records a normal density of 0.75  $\text{g cm}^{-3}$  for *Prosopis alba* Sotomayor and Villaseñor (2006) estimate a value of 0.73  $\text{g cm}^{-3}$  for the *Prosopis* genus. For their part, Carrillo *et al.* (2011) register

anhidra de 0.84 y 0.76 g cm<sup>-3</sup>, respectivamente para *Prosopis laevigata*. Vignote (1999) consigna una densidad normal de 0.75 g cm<sup>-3</sup> para *Prosopis alba*. Sotomayor y Villaseñor (2006) indican un valor de 0.73 g cm<sup>-3</sup> para el género *Prosopis*. Por su parte, Carrillo et al. (2011) registran la densidad básica para *Prosopis laevigata* de 0.76 g cm<sup>-3</sup>. Pometti et al. (2009) señalan densidades básicas para *Prosopis alba*, *P. kuntzei* Harms, *P. nigra* y *P. ruscifolia* de 0.69, 1.11, 0.90 y 0.74 g cm<sup>-3</sup>, respectivamente.

La densidad de la madera de *P. velutina* en el presente trabajo resultó similar a la de *P. laevigata* y notoriamente diferente a las del resto de las especies citadas. Un posible factor al que se le puede atribuir, y que sucede con otros taxa maderables, es la calidad de sitio del crecimiento de la planta, ya que este incide en su desarrollo y por ende en la densidad de la madera, debido a las condiciones físicas y propiedades químicas del suelo (Kokutse et al., 2004). Otro aspecto relevante es la edad del árbol, lo cual se ha observado en taxa como la teca (*Tectona grandis* L. f), que muestra una alta variabilidad de la densidad, con respecto a esa variable (Pérez y Kanninen, 2005; Kokutse et al., 2004).

## Estabilidad dimensional

En el Cuadro 2 se resumen los valores de contracción y anisotropías que tuvo la madera de mezquite. La contracción normal por secado ( $\beta_n$ ), así como la contracción máxima ( $\beta_{máx}$ ) en sus ejes radial y tangencial se consideran muy pequeñas (Prospect, 1997).

Con respecto a las anisotropías (A), las cuales se relacionan con la estabilidad dimensional de la madera, los valores obtenidos evidencian la buena estabilidad dimensional de la madera de *P. velutina* conforme a lo propuesto por Silva et al. (2010).

the basic density for *Prosopis laevigata* as 0.76 g cm<sup>-3</sup>. Pometti et al. (2009) estimate basic densities of 0.69, 1.11, 0.90 and 0.74 g cm<sup>-3</sup> for *Prosopis alba*, *P. kuntzei* Harms, *P. nigra* and *P. ruscifolia* Griseb., respectively.

The density of the *P. velutina* wood estimated in this study was similar to that of *P. laevigata* and notoriously different from those of the rest of the abovementioned species. As with other timber-yielding species, it may be ascribed to the quality of the growth site of the plant, as it influences its development and, therefore, the density of the wood due to the physical conditions and the chemical properties of the soil (Kokutse et al., 2004). Another important aspect is the age of the tree, as has been observed in such taxa as teak (*Tectona grandis* L.), which shows a high variability of densities in relation to that variable (Pérez and Kanninen, 2005; Kokutse et al., 2004).

## Dimensional stability

Table 2 summarizes the contraction values and anisotropies of the velvet mesquite wood. The normal contraction due to drying ( $\beta_n$ ) and the maximum contraction ( $\beta_{máx}$ ) in its radial and tangential axes are considered to be very small (Prospect, 1997).

With respect to the anisotropies (A), which are related to the dimensional stability of wood, the values obtained evince the good dimensional stability of the *P. velutina* wood as proposed by Silva et al. (2010).



Cuadro 2. Índices de contracción de madera de *Prosopis velutina* Wooton.

	Contracción					Anisotropía		
	Normal ( $\beta_n$ )		Máxima ( $\beta_{máx}$ )		Volumétrica	Normal	Máxima	Diferencial
	Rad	Tang	Rad	Tang	( $\beta_v$ )	( $A\beta_n$ )	( $A\beta_{máx}$ )	( $A_q$ )
Promedio	0.6	1.2	1.8	3.4	5.1	2.2	1.9	1.8
Valor máximo	0.8	1.9	2.4	5.0	6.9	2.9	2.6	2.5
Valor mínimo	0.3	0.6	1.3	2.3	3.6	1.3	1.3	1.4
Desviación Estándar	0.1	0.3	0.3	0.7	0.9	0.4	0.3	0.3
Coeficiente de Variación	24.5	26.7	14.3	21.1	17.3	17.2	15.8	14.8

Table 2. Contraction indices of *Prosopis velutina* Wooton wood.

	Contraction					Anisotropy		
	Normal		Maximum ( $\beta_{max}$ )		Volumetric	Normal	Maximum	Differential
	$(\beta_n)$							
	Rad	Tang	Rad	Tang	$(\beta_v)$	$(A\beta_n)$	$(A\beta_{max})$	$(A_q)$
Average	0.6	1.2	1.8	3.4	5.1	2.2	1.9	1.8
Maximum value	0.8	1.9	2.4	5.0	6.9	2.9	2.6	2.5
Minimum value	0.3	0.6	1.3	2.3	3.6	1.3	1.3	1.4
Standard deviation	0.1	0.3	0.3	0.7	0.9	0.4	0.3	0.3
Variation coefficient	24.5	26.7	14.3	21.1	17.3	17.2	15.8	14.8

En comparación con otros taxa de *Prosopis*, Carrillo-Parra (2007) anota una contracción máxima radial y tangencial de 1.8 y 2.6, respectivamente para *P. laevigata*, valores similares a la contracción máxima radial del presente estudio y muy por debajo, con respecto a la tangencial. Burns *et al.* (1998) citan 4.7 % de contracción volumétrica para *P. glandulosa* Torr.; Pometti *et al.* (2009) determinan valores de contracción volumétrica de 4.8, 5.5, 7.3 y 7.3 para *P. alba*, *P. kuntzei*, *P. nigra* y *P. ruscifolia*. Perpiñan y Pietrarelli (1992) consignan contracciones volumétricas de 6.3 y 6.9 para *P. flexuosa* DC. y *P. nigra*. Los resultados que aquí se documentan para *P. velutina* se ubican entre *P. nigra* y *P. alba* de Pometti *et al.* (2009). La variabilidad entre especies puede responder al contenido de extractos tales como taninos y compuestos fenólicos que son almacenados, generalmente, en la madera de duramen y que afectan la permeabilidad y estabilidad dimensional (Pizzo *et al.*, 2011; Carrillo-Parra *et al.*, 2011).

Por lo anterior, los bajos valores de *P. velutina* son indicativos de una buena estabilidad dimensional que la hace apta para trabajos de carpintería exterior, ebanistería, talla y escultura, cubiertas de construcciones navales, instrumentos musicales como flautas, mástiles-diapasones en guitarras eléctricas y acústicas.

## Propiedades mecánicas

En el Cuadro 3 se integran los resultados correspondientes a los diferentes ensayos mecánicos de la madera de *Prosopis velutina*.

## Módulo de elasticidad a flexión (MOE)

El valor promedio del módulo de elasticidad a flexión fue de 11 232 N mm<sup>-2</sup>, clasificado como bajo de acuerdo con Prospect (1997). A pesar de que las trozas recolectadas fueron de la misma procedencia, el coeficiente de variación es ligeramente alto, lo que refleja la variabilidad dentro de la misma troza y entre árboles, que bien puede considerarse propia de las características de crecimiento.

Compared to other *Prosopis* taxa, Carrillo-Parra (2007) records maximum radial and tangential contractions of 1.8 and 2.6, respectively, for *P. laevigata*; these values are similar to the maximum radial contraction estimated in the present study and are far below the maximum tangential contraction. Burns *et al.* (1998) published a volumetric contraction of 4.7 % for *P. glandulosa* Torr.; Pometti *et al.* (2009) determine volumetric contraction values of 4.8, 5.5, 7.3 and 7.3 for *P. alba*, *P. kuntzei* Harms, *P. nigra* and *P. ruscifolia*. Perpiñan and Pietrarelli (1992) record volumetric contractions of 6.3 and 6.9 for *P. flexuosa* DC. and *P. nigra*. The results documented herein for *P. velutina* are between those estimated by Pometti *et al.* (2009) for *P. nigra* and *P. alba*. The variability between species may be due to the content of extracts such as tannins and phenolic compounds that are generally stored in the heartwood and which have an impact on the permeability and the dimensional stability (Pizzo *et al.*, 2011; Carrillo-Parra *et al.*, 2011).

For these reasons, low values for *P. velutina* are indicative of a good dimensional stability which renders it appropriate for outdoor carpentry, for cabinetmaking, carving and sculpture, ship building, for making music instruments such as recorders, and fretboards for electric and acoustic guitars.

## Mechanical properties

Table 3 integrates the results of the various mechanical tests of *Prosopis velutina* wood.

## Modulus of elasticity to flexion (MOE)

The average value of the modulus of elasticity to flexion was 11 232 N mm<sup>-2</sup>, classified by Prospect (1997) as good. Although the collected logs all had the same origin, the variation coefficient is slightly high, which reflects variability within the same log as well as between trees; this can be considered as particular to the characteristics of growth.

Otros estudios proporcionan MOE de 6 000 N mm<sup>-2</sup> para madera de *P. alba* (Vignote, 1999), 11 370 N mm<sup>-2</sup> para *P. laevigata* (Carrillo et al., 2011). Por su parte Sotomayor y Villaseñor (2006) realizaron ensayos no destructivos en *Prosopis* sp. y obtuvieron un promedio de 7 040 N mm<sup>-2</sup>; Sirmah et al., (2008) registran 15 200 N mm<sup>-2</sup> para *P. juliflora*. De los módulos de elasticidad registrados en la literatura, se aprecia una alta variabilidad entre especies, de ellas los valores de *P. laevigata* (Carrillo et al., 2011) son los que más concuerdan con *P. velutina*.

Las propiedades de resistencias y elásticas de la madera se deben tomar en cuenta en el uso práctico, para el diseño de elementos constructivos o bien en la fabricación de muebles, en los que frecuentemente se observan deformaciones (pandeo) de entrepaños de libreros, credenzas, asientos de sillas, sillones y hasta cubiertas de mesas, precisamente por ignorar su comportamiento mecánico.

Other studies estimated a MOE of 6 000 N mm<sup>-2</sup> for *P. alba* timber (Vignote, 1999) and 11 370 N mm<sup>-2</sup> for *P. laevigata* (Carrillo et al., 2011). For their part, Sotomayor and Villaseñor (2006) carried out non-destructive tests in *Prosopis* sp. and obtained an average of 7 040 N mm<sup>-2</sup>; Sirmah et al. (2008) register 15 200 N mm<sup>-2</sup> for *P. juliflora*. The modules of elasticity recorded in the literature show a high variability between species, among which the values of *P. laevigata* (Carrillo et al., 2011) are the most similar to those found for *P. velutina*.

The resistance and elasticity properties of the timber must be taken into account for their practical uses, such as the design of building elements or the manufacture of furniture, in which the presence of deformations (bends) may be observed in bookshelves, credenzas, chair seats, armchairs and even covers for tables, due precisely to a lack of knowledge of its mechanical behavior.

Cuadro 3. Resistencia de *Prosopis velutina* Wooton a los diferentes ensayos mecánicos, y la resistencia a tensión del encolado.

	Flexión (Nmm <sup>-2</sup> )		Compresión longitudinal (N mm <sup>-2</sup> )		Impacto (kJ m <sup>-2</sup> )	Cizalla (N mm <sup>-2</sup> )	Dureza Brinell (N mm <sup>-2</sup> )			Encolado (N mm <sup>-2</sup> )
	MOE	MOR	MOE	MOR			long	rad	tang	
Promedio	11 232	117	11 915	87	51	19	96	73	72	7
Valor máximo	15 031	183	16 577	113	115	25	140	99	100	11
Valor mínimo	6 957	51	7 390	57	17	14	72	50	55	3
Desviación Estándar	2 092	33	2 124	12	23	2	15	10	10	2
Coeficiente de Variación	19	28	18	14	45	12	16	14	14	28

Los valores de resistencia se obtuvieron a un contenido de humedad promedio de 11 %.

Table 3. Resistance of *Prosopis velutina* Wooton against the various mechanical tests, and resistance to gluing.

	Flexion (N mm <sup>-2</sup> )		Longitudinal compression (N mm <sup>-2</sup> )		Impact (kJ m <sup>-2</sup> )	Shearing (N mm <sup>-2</sup> )	Brinell Hardness (N mm <sup>-2</sup> )			Gluing (N mm <sup>-2</sup> )
	MOE	MOR	MOE	MOR			long	rad	tang	
Average	11 232	117	11 915	87	51	19	96	73	72	7
Maximum value	15 031	183	16 577	113	115	25	140	99	100	11
Minimum value	6 957	51	7 390	57	17	14	72	50	55	3
Standard deviation	2 092	33	2 124	12	23	2	15	10	10	2
Variation coefficient	19	28	18	14	45	12	16	14	14	28

Resistance values were estimated for an average humidity content of 11 %.

### Módulo de ruptura a flexión (MOR)

La resistencia al ensayo de flexión que mostró la madera de mezquite fue de 117 N mm<sup>-2</sup>, que la clasifica como media,

### Modulus of rupture to flexion (MOR)

The resistance to the flexion test shown by the velvet mezquite wood was 117 Nmm<sup>-2</sup>, classified as medium by Prospect (1997).

conforme a Prospect (1997). El coeficiente de variación fue alto, con un amplio intervalo entre el valor mínimo y el máximo. Esta variación obedece probablemente a la dirección irregular de la fibra, propia del género.

La resistencia a la flexión en especies de *Prosopis* es muy variada; por ejemplo, Vignote (1999) consigna  $63.4 \text{ N mm}^{-2}$  para *P. alba*, clasificándolo como pequeño; Carrillo *et al.* (2011) documentan resistencias promedio de  $173 \text{ N mm}^{-2}$  para *P. laevigata*. Sotomayor y Villaseñor (2005) mediante ensayos no destructivos para *P. juliflora* citan promedios  $94 \text{ N mm}^{-2}$ . Sirmah *et al.* (2008) indican valores de 124.1 y  $113.7 \text{ N mm}^{-2}$  para *P. juliflora*, los cuales son más cercanos a los estimados para *P. velutina* en la presente investigación.

### Módulo de elasticidad a compresión longitudinal

Se clasificó como bajo según la clasificación de Prospect (1997), con  $11 \text{ 915 N mm}^{-2}$ . Cabe señalar la falta de registros bibliográficos para esta propiedad, en *Prosopis*.

### Módulo de ruptura a compresión longitudinal (MOR)

La resistencia promedio a la compresión longitudinal fue de  $87 \text{ N mm}^{-2}$ , muy alta según la clasificación de Prospect (1997) con base en la baja variación de los valores individuales entre trozas y dentro del mismo árbol, el coeficiente de variación se considera normal. El alto valor de la resistencia está relacionado con el espesor de las paredes celulares de las fibras, clasificado como medio a grueso conforme a IAWA (1989), asimismo la abundancia de estas incide de manera importante en su comportamiento a la compresión (Kollmann y Côté, 1968).

Carrillo-Parra (2007) indica resistencias a la compresión longitudinal en *P. laevigata* de  $66 \text{ N mm}^{-2}$ ; Vignote (1999) de  $48 \text{ N mm}^{-2}$  para *P. alba*; Sirmah *et al.* (2008) de 73 y  $62 \text{ N mm}^{-2}$  en *P. laevigata*; Pometti *et al.* (2009) determinan 51, 66, 58 y  $47 \text{ N mm}^{-2}$  en *P. alba*, *P. kuntzei*, *P. nigra* y *P. ruscifolia*, respectivamente. La resistencia obtenida en el trabajo que aquí se documenta son superiores. Dada su alta resistencia a la compresión, la madera de *P. velutina* es recomendable para elementos estructurales y pérgolas, entre otros usos.

### Impacto

El trabajo de ruptura por impacto resultó de  $51 \text{ kJ m}^{-2}$ , clasificado como regular de acuerdo a Prospect (1997). En este tipo de ensayo es muy común determinar coeficientes de variación elevados, en el caso del mezquite fue de 45 %, en gran medida, debido a la dirección de la fibra irregular, así como al tipo de porosidad, la anular es la más apropiada. En la literatura no hay referencias para otros taxa de mezquite que permitieran hacer un análisis comparativo.

The variation coefficient was high, with a broad interval between the minimum and the maximum values. This variation is probably due to the irregular direction of the fiber, which is characteristic of the genus.

Resistance to flexion of *Prosopis* species is quite varied; for example, Vignote (1999) records  $63.4 \text{ N mm}^{-2}$  for *P. laevigata* and classifies it as small; Carrillo *et al.* (2011) document average resistances of  $173 \text{ N mm}^{-2}$  for *P. laevigata*. Sotomayor and Villaseñor (2005) obtained average values of  $94 \text{ N mm}^{-2}$  for *P. juliflora* through non-destructive tests. Sirmah *et al.* (2008) indicate values of 124.1 and  $113.7 \text{ N mm}^{-2}$  for *P. juliflora*, which are closer to those estimated for *P. velutina* by the present research.

### Longitudinal modulus of elasticity

This was classified as low according to Project (1997), with  $11 \text{ 915 N mm}^{-2}$ . It is worth noting that there are no bibliographic records available for this property in *Prosopis*.

### Longitudinal modulus of rupture (MOR)

The average resistance to longitudinal compression was  $87 \text{ N mm}^{-2}$ , classified as very high by Prospect (1997) based on the low variation of individual values between the logs and within the same tree; the variation coefficient is rated as normal. The high value of the resistance is related to the cell wall thickness of the fibers, classified as medium to thick according to IAWA (1989); furthermore, the abundance of these has a significant impact on their behavior in the presence of compression (Kollmann and Côté, 1968).

Carrillo-Parra (2007) records resistances to longitudinal compression of  $66 \text{ N mm}^{-2}$  in *P. laevigata*; Vignote (1999) estimated  $48 \text{ N mm}^{-2}$  for *P. alba*; Sirmah *et al.* (2008), 73 and  $62 \text{ N mm}^{-2}$  for *P. laevigata*; Pometti *et al.* (2009) determine 51, 66, 58 and  $47 \text{ N mm}^{-2}$  for *P. alba*, *P. kuntzei*, *P. nigra* and *P. ruscifolia*, respectively. The resistances estimated in the present research have higher values. Given its high resistance to compression, the *P. velutina* can be used for structural elements and trellises, among other uses.

### Impact

Work of rupture by impact was estimated in  $51 \text{ kJ m}^{-2}$ , classified by Prospect (1997) as fair. High variation coefficients are very common in this type of test; in the case of velvet mesquite, it was 45 %, mostly because of the direction of the irregular fiber, as well as the type of porosity, of which the annular is the most appropriate. The literature provides no references for other *mezquite* taxa that might allow a comparative analysis.

A partir de la resistencia promedio obtenida, la madera de *P. velutina* reúne las propiedades de DIN 68 340 (DIN, 1989) como calidad "B" para la elaboración de cabos de herramientas sujetos a trabajos de impacto; por ejemplo, martillos, hachas, picos, palas; sin embargo, se tiene que tomar en cuenta el alto coeficiente de variación de los resultados, que constituye un factor importante para su elección, con respecto a la madera de otras especies.

## Cizallamiento

Se obtuvieron valores promedio de  $19 \text{ N mm}^{-2}$ , dura de acuerdo a Prospect (1997). El coeficiente de variación fue bajo; no obstante que la dirección de fibra irregular suele incidir en la resistencia al cizallamiento.

El comportamiento a cizallamiento de *P. velutina* coincide con el señalado para otros taxa:  $20 \text{ N mm}^{-2}$ , para *P. juliflora* (Sirmah *et al.*, 2008); 20, 25, 20 y  $18 \text{ N mm}^{-2}$ , para *P. alba*, *P. kuntzei*, *P. nigra* y *P. ruscifolia*, respectivamente (Pometti *et al.*, 2009); y muy diferente en comparación al valor de  $40 \text{ N mm}^{-2}$  citado para *P. juliflora* (Sotomayor, 2008).

## Dureza Brinell

Los promedios de la dureza Brinell en *P. velutina* fueron de  $96 \text{ N mm}^{-2}$  en la cara transversal; 73 y  $72 \text{ N mm}^{-2}$ , en la radial y tangencial, respectivamente; por lo que su dureza es muy alta (Mörath en Lohmann, 1991). Evidentemente, la dureza transversal es mucho mayor que la radial y tangencial, por la relación del esfuerzo con respecto a la disposición de las fibras en la madera.

Vignote (1999) consigna una dureza Brinell perpendicular a la fibra de  $77 \text{ N mm}^{-2}$ , para *P. alba*. En el caso de la cara transversal, Carrillo-Parra (2007) anota valores promedio de  $74 \text{ N mm}^{-2}$ , en *P. laevigata*. En *P. alba*, *P. kuntzei*, *P. nigra* y *P. ruscifolia* se citan durezas de Brinell 50, 112, 62 y  $52 \text{ N mm}^{-2}$ , respectivamente, sin especificar la cara anatómica de aplicación de la carga (Pometti *et al.*, 2009).

Por su dureza y estabilidad dimensional *P. velutina* es una madera apta para la construcción naval, tornería, talla, escultura, cubiertas de cocina, así como para pisos de parquet y duelas de madera sólida y laminada de tráfico pesado.

## Desempeño al encolado

Las piezas encoladas de madera de *P. velutina* presentaron resistencias a tensión promedio de  $7 \text{ N mm}^{-2}$ , con superficie de rupturas de 85 %, que la clasifican en nivel 5 (buena respuesta) de acuerdo a DIN EN 205 (DIN, 2003). Se observó un alto coeficiente de variación, probablemente en respuesta

Based on the average resistance obtained, *P. velutina* has properties classified by the DIN 68 340 standard (DIN, 1989) as "B" quality for the manufacture of tool end pieces subjected to impact, e.g. hammers, axes, picks, shovels, etc. However, the high variation coefficient of the results, an important factor for its selection compared to other timber-yielding species, must be taken into account.

## Shearing

The average values for *P. velutina* were  $19 \text{ N mm}^{-2}$ , and therefore it is classified as hard according to Prospect (1997). The variation coefficient was low, although the direction of the irregular fibers usually has an impact in the wood's resistance to shearing.

The behavior of *P. velutina* in the presence of shearing coincides with that described for other taxa:  $20 \text{ N mm}^{-2}$ , for *P. juliflora* (Sirmah *et al.*, 2008); 20, 25, 20 and  $18 \text{ N mm}^{-2}$ , for *P. alba*, *P. kuntzei*, *P. nigra* and *P. ruscifolia*, respectively (Pometti *et al.*, 2009), and differs widely from the value of  $40 \text{ N mm}^{-2}$  quoted for *P. juliflora* (Sotomayor, 2008).

## Brinell Hardness

The average values for Brinell hardness in *P. velutina* were  $96 \text{ N mm}^{-2}$  for the transversal side, and 73 and  $72 \text{ N mm}^{-2}$ , in the radial and tangential sides, respectively; it is therefore classified as very hard (Mörath in Lohmann, 1991). Evidently, the transversal hardness is much higher than the radial and the tangential hardnesses as a result of the effort in regard to the layout of the fibers in the wood.

Vignote (1999) registers a Brinell hardness perpendicular to the fiber of  $77 \text{ N mm}^{-2}$ , for *P. alba*. For the cross-surface area, Carrillo-Parra (2007) registers average values of  $74 \text{ N mm}^{-2}$  in *P. laevigata*. Brinell hardnesses of 50, 112, 62 and  $52 \text{ N mm}^{-2}$ , respectively, are quoted for *P. alba*, *P. kuntzei*, *P. nigra* and *P. ruscifolia*, without specifying the anatomical surface of application of the load (Pometti *et al.*, 2009).

Because of its hardness and dimensional stability, *P. velutina* is a suitable wood for the construction of ships, machining, carving, sculpture, kitchen counters, as well as for parquet and solid, laminated wooden floor boarding in heavy-traffic areas.

## Gluing performance

Glued pieces of *P. velutina* wood had an average resistance to stress of  $7 \text{ N mm}^{-2}$ , with rupture surfaces of 85 %, classified as level 5 (good response) according to DIN EN 205 (DIN, 2003). A variation coefficient was observed, probably in response to the variation in the size of its vessels, to its porosity (diffuse to semi-annular), and to the amount of amber colored

a la variación del tamaño de sus vasos, por la porosidad que posee (difusa a semianular); y a la cantidad de depósitos de color ámbar existentes tanto en vasos, como en parénquima axial y radial. En la literatura no hubo referencias de otras especies de mezquite.

También se observó en la línea de encolado una oxidación del pegamento con los extractos contenidos en la madera, ocasionando un oscurecimiento del pegamento (Figura 2), se recomienda evitar o limpiar los escurrimientos fuera del área de encolado al momento de la aplicación del adhesivo, cuando se elaboran manufacturas que requieren de uniones adhesivas.

deposits existing both in the vessels and in the axial and radial parenchyma. The literature includes no references to other mezquite species.

An oxidation of the glue with the extracts contained in the wood was also observed on the gluing line, causing a darkening of the glue (Figure 2). It is recommended to avoid or clean up spills outside the gluing area at the time of applying the adhesive, when manufacturing products that require adhesive unions.



Figura 2. Reacción del pegamento con los extractos de la madera en la línea de encolado.  
Figure 2. Reaction of the glue to the extracts of the wood on the gluing line.

Maquinado

En general, la madera de *P. velutina* resultó con buen maquinado, solamente en el corte longitudinal con sierra circular, y en el barrenado tuvo la calificación de satisfactoria (Cuadro 4).

Machining

In general, the machining of *P. velutina* wood was very good; only longitudinal cuts with a circular saw and boring were classified as satisfactory (Table 4).

Cuadro 4. Maquinado de la madera de *Prosopis velutina* Wooton.

Ensayo	Calidad
Corte Longitudinal con sierra cinta	Clase 1: muy buena sin defectos
Corte Longitudinal con sierra circular	Clase 3: Satisfactorio
Corte Transversal con sierra circular	Clase 1, con astillamiento en aristas
Cepillado	Clase 2: Buena, defectos de baja intensidad
Barrenado	Clase 3, con vellosidad en orificio de penetración y astillamiento en orificio de salida.
Escopleado	Clase 1: muy buena sin defectos
Moldurado	Clase 1: muy buena sin defectos

Table 4. Machining of *Prosopis velutina* Wooton wood.

Test	Quality
Longitudinal cut with tape saw	Class 1: very good, without defects
Longitudinal cut with circular saw	Class 3: Satisfactory
Cross-cut with circular saw	Class 1, with splintering at the edges
Planing	Class 2: Good, low intensity defects
Boring	Class 3, with hairiness in the inlet hole and splintering in the outlet hole.
Chiseling	Class 1: very good, without defects
Molding	Class 1: very good, without defects



En la Figura 3 se ilustran las superficies de corte correspondientes a cada una de las pruebas de maquinado.

Figure 3 illustrates the cutting surfaces used in each of the machining tests.

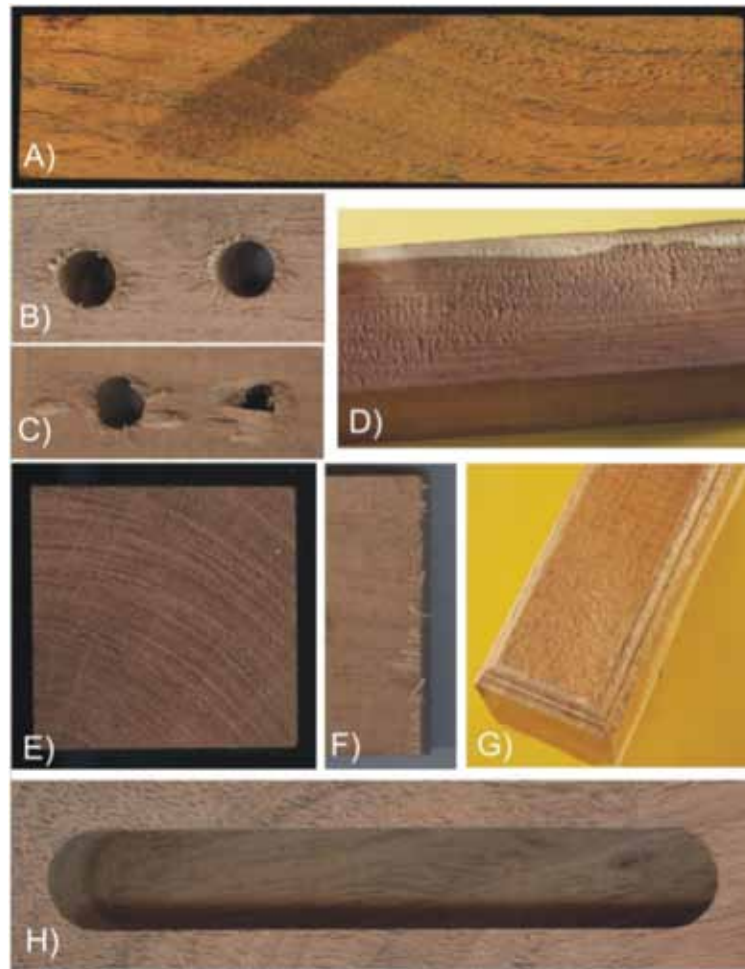


Figura 3. A) Corte longitudinal radial con sierra circular. B) Orificio de entrada al barrenado. C) Orificio de salida del barrenado. D) Cepillado en el plano radial. E) y F) Corte transversal con sierra circular. G) Moldurado. H) Escopleado.

Figure 3. A) Radial longitudinal cut with a circular saw. B) Bored inlet hole. C) Bored outlet hole. D) Radial planing. E) and F) Cross cut with a circular saw. G) Molding. H) Chiseling.

## Conclusiones

La madera de *Prosopis velutina* tiene porosidad difusa a semianular; fibras con paredes gruesas; y longitud promedio de 863  $\mu\text{m}$ ; con presencia de cristales prismáticos y abundantes depósitos de color ámbar.

Las propiedades físicas de *P. velutina* son de muy alta densidad y buena estabilidad dimensional.

Las propiedades mecánicas son de bajo módulo de elasticidad; resistencia a la flexión media, muy alta resistencia a la compresión longitudinal. Trabajo de ruptura por impacto regular, con alta resistencia al cizallamiento y muy alta dureza *Brinell*.

## Conclusions

*Prosopis velutina* wood has a diffuse to semi-annular porosity, fibers with thick walls and an average length of 863  $\mu\text{m}$ , with prismatic crystals and abundant amber colored deposits.

The physical properties of *P. velutina* are a very high density and good dimensional stability.

The mechanical properties are a low modulus of elasticity, medium resistance to flexion, very high resistance to longitudinal compression. Work of rupture due to regular impact, with high resistance to shearing and a very high Brinell hardness.

Por sus propiedades físico mecánicas, la madera de *P. velutina* es apta para una amplia gama de manufacturas, con usos alternativos a los tradicionales, lo que incrementa el valor agregado de la madera.

Muestra respuesta al encolado clase 5, y el adhesivo (blanco) comercial reacciona con los extraíbles de la madera ocasionando oscurecimiento del pegamento.

Por la presencia de cristales prismáticos en la madera, las herramientas utilizadas para su maquinado deben estar provistas de pastillas de carburo de tungsteno, para evitar su rápido desafilado y ofrecer mejores superficies de corte.

En términos generales, la madera de *P. velutina* se considera de buen maquinado.

## Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

## Contribución por autor

Raúl Rodríguez Anda: concepción y planeación del documento, gestión de recursos, revisión de resultados experimentales, redacción y corrección del documento; Alejandra María Ramírez Arango: desarrollo experimental de los ensayos de estabilidad de la madera, físico-mecánicos y cálculos de los resultados; Hilda Palacios Juárez: desarrollo de la descripción organoléptica de la madera, cortes anatómicos, medición de elementos celulares, redacción y corrección de documento; Francisco Javier Fuentes Talavera: asesoría y revisión de resultados del trabajo experimental de los ensayos de estabilidad de la madera, redacción y revisión del documento; José Antonio Silva Guzmán: asesoría, revisión de resultados del trabajo experimental de los ensayos físico-mecánicos; Alma Rosa Saucedo Corona: asesoría y revisión del manuscrito.

## Referencias

Aguilar-Rodríguez, S., L. Abundiz Bonilla y J. Barajas-Morales. 2001. Comparación de la gravedad específica y características anatómicas en especies arbóreas de dos comunidades vegetales de México. *Anales del Instituto de Biología, Serie Botánica* 72(2): 171-185.

American Society for Testing and Materials Standards (ASTM). 2007. ASTM D 1666-87. Standard Methods for Conducting Machining Tests of Wood and Wood - Base Materials. Annual Book of ASTM Standards. Section 4. Construction. Vol. 04. 10. Wood. West Conshohocken, PA, USA. pp. 201-219.

Bárcenas P., G. M., T. Terrazas S., R. Dávalos S. y J. A. Honorato S. 2002. Efecto del contenido de lignina, extractivos, radios y densidad relativa o básica en las contracciones de cinco especies de madera. In: *Memorias del IV Congreso Mexicano de Tecnología de Productos Forestales*. 13 al 16 Noviembre. Guadalajara Jal., México. pp. 33-34.

Bolzón de M., G. I., S. Nisgoski y M. G. Lomeli-Ramírez. 2010. Anatomía y ultraestructura de la madera de tres especies de *Prosopis* (Leguminosae-Mimosoideae) del Parque Chaqueño Seco, Argentina. *Madera y Bosques* 16(4): 21-38.

Burguer, L. M. and H. G. Richter. 1991. *Anatomia da Madeira*. Livraria Nobel S. A. São Paulo, Brazil. 154 p.

Because of its physical mechanical properties, *P. velutina* wood is suitable for a broad range of manufactures for other than traditional uses, which increases the added value of its timber.

It has a Class response to gluing, and the (white) commercial adhesive reacts to the extractables of the wood causing darkening of the glue.

Due to the presence of prismatic crystals in the wood, the tools used for its machining must be tungsten carbide tipped in order to prevent quick blunting and to offer better cutting surfaces.

In general terms, *P. velutina* timber is considered to be well suited for machining.

## Conflict of interest

The authors declare no conflict of interests.

## Contribution by authors

Raúl Rodríguez Anda conceived and planned the document and was in charge of the resource management, the review of the results of the experiments, and the writing and editing of the document; Alejandra María Ramírez Arango led the experimental development of the stability tests, the physical-mechanical tests and the calculation of the results; Hilda Palacios Juárez developed the organoleptic description of the timber and was in charge of the anatomical cuts, of measuring the cell elements, and of writing and editing the document; Francisco Javier Fuentes Talavera participated as a consultant, reviewed the results of the experimental work for the stability tests of the wood, and contributed to the writing and reviewing of the document; José Antonio Silva Guzmán provided counseling and reviewed the results of the experimental work involved in the physical mechanical tests. Alma Rosa Saucedo Corona participated as a consultant and reviewed the manuscript.

*End of the English version*

Burns, R. M., M. S. Mosquera and J. L. Whitmore (eds.). 1998. *Useful Trees of the Tropical Region of North America*. North American Forestry Commission. Washington, DC, USA. Publication Num. 3. 291 p.

Carrillo-Parra, A. 2007. Technological investigation of *Prosopis laevigata* wood from Northeast Mexico. Dissertation submitted for the degree of Doctor of Philosophy in the Faculty of Forest Sciences and Forest Ecology of the University of Göttingen. Göttingen, Germany. 137 p.

Carrillo, A., M. Garza, M. de J. Nañez, F. Garza, R. Foroughbakhch and S. Sandoval. 2011. Physical and mechanical wood properties of 14 timber species from Northeast Mexico. *Annals of Forest Science* 68: 675-679.

Carrillo-Parra, A., F. Hapla, C. Mai y F. Garza-Ocañas. 2011. Durabilidad de la madera de *Prosopis laevigata* y el efecto de sus extractos en hongos que degradan la madera. *Madera y Bosques* 17(1): 7-21.

Cervantes R., M. C. 2005. Plantas de importancia económica en zonas áridas y semiáridas de México. *Anais do X Encontro de Geógrafos da América Latina*. 20 a 26 de marzo. San Paulo, Brazil. pp. 3388-3407.

Darmawan, W., I. Rahayu, D. Nandika and R. Marchal. 2012. The importance of extractives and abrasives in wood material on the wearing of cutting tools. *BioResources* 7(4): 4715-4729.

- Deutsches Institut für Normung (DIN). 1989. DIN 68 340. Stieleaus Holz für Schlagwerkzeuge, Technische Lieferbedingungen. Beuth Verlag GmbH, Berlin, Deutschland. 1 p.
- Deutsches Institut für Normung (DIN). 2000. DIN Taschenbuch 31. Normen über Holz. Beuth Verlag GmbH, Berlin, Deutschland. 597 p.
- Deutsches Institut für Normung (DIN). 2000. DIN EN 1534: 2000-04. Parkett und andere Holzfußböden - Bestimmung des Eindruckwiderstandes (Brinell) - Prüfmethode. Beuth Verlag GmbH, Berlin, Deutschland. 4p.
- Deutsches Institut für Normung (DIN). 2003. DIN EN 205. Holzklebstoffe für nichttragende Anwendungen. Bestimmung der Klebfestigkeit von Längsleichen im Zugversuch. Normenausschuss Holzwirtschaft und Möbel (NHM), DIN Deutsches Institut für Normung. V. Berlin, Deutschland pp. 48-59.
- Fuentes T., F. J., J. A. Silva G. y E. Montes R. 1996. Manual del secado técnico convencional de la madera. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jal., México. 122 p.
- Frühwald, A., R.-D. Peek und M. Schulte. 1992. Nutzung von Kokospalmenholz am Beispiel von Nordsulawesi, Indonesien. Mitteilungen der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft Hamburg Nr. 171. Kommissionsverlag Buchhandlung Max Wiedersheim. Hamburg, Deutschland. 356 p.
- International Association of Woods Anatomists (IAWA). 1989. List of microscopic features for hardwood identification. IAWA Bulletin 10(3): 219-332.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi). 2009. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. San Miguel de Horcasitas, Sonora. Clave geoestadística 26056. [www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos/26/26056.pdf](http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos/26/26056.pdf) (22 de septiembre de 2014).
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi). 2012. Anuario de estadísticas por entidad federativa. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, Aguascalientes, México. 681p.
- Kokutse, A. D., H. Baillères, A. Stokes and K. Kokou. 2004. Proportion and quality of heartwood in Togolese teak (*Tectona grandis* Lf.). Forest Ecology and Management 189: 37-48.
- Kollmann, F. F. P. and W. A. Côté Jr. 1968. Principles of wood science and technology I. Solid wood. Springer Verlag, New York, NY, USA. 592 p.
- León H., W. J. 2008. Anatomía de madera en 31 especies de la subfamilia Mimosoideae (Leguminosae) en Venezuela. Revista Colombiana Forestal 11: 113-135.
- Lohmann, U. 1991. Holz Handbuch. DRW Verlag Weinbrenner GmbH & Co. Leinfelden-Echterdingen. Stuttgart, Deutschland. 312 p.
- Mirik, M. and R.J. Ansley. 2012. Comparison of ground-measured and image-classified mesquite (*Prosopis glandulosa*) canopy cover. Rangeland Ecology and Management 65(1): 85-95.
- Palacios J., H., M. G. Lomelí R. and J. F. Zamora N. 2013. La estructura interna de la madera: herramienta para manejo y aprovechamiento de los recursos forestales. In: Salcedo P., E., E. Hernández Á., J. A. Vázquez G., T. Escoto G. y N. Díaz E. (eds.). Recursos Forestales en el Occidente de México: Biodiversidad, manejo, producción, aprovechamiento y conservación. Tomo II. Amaya Ediciones S de RL de C.V. Guadalajara, Jal., México. pp. 4-17.
- Pérez, D. and M. Kanninen. 2005. Effect of thinning on stem form and wood characteristics of teak (*Tectona grandis*) in a humid tropical site in Costa Rica. Silva Fennica 39(2): 217-225.
- Perpiñán, E. y L. Pietrarelli. 1992. Variabilidad de la densidad y contracción volumétrica de la madera de *Prosopis*. Investigación Agraria, Sistema de Recursos Forestales 1(2): 223-231.
- Pizzo, B., C. L. Pometti, J. P. Charpentier, N. Boizot and B. O. Saidman. 2011. Relationships involving several types of extractives of five native Argentine wood species of genera *Prosopis* and *Acacia*. Industrial Crops and Products 34: 851-859.
- Pometti, C. L., B. Pizzo, M. Brunetti, N. Macchioni, M. Ewens and B. O. Saidman. 2009. Argentinean native wood species: Physical and mechanical characterization of some *Prosopis* species and *Acacia aroma* (Leguminosae; Mimosoideae). Bioresource Technology 100: 1999-2004.
- Prospect. 1997. The wood database. Version 2.1. Oxford Forestry Institute. Oxford, UK. CD-Room.
- Rodríguez, A. R., H. Palacios J. y M. G. Lomelí R. 2007. Estructura anatómica de la madera. Ciencia y Desarrollo 33(213): 24-29.
- Rodríguez, S., E. N., G. E. Rojo M., B. Ramírez V., R. Martínez R., M. C. Cong H., S. M. Medina Torres y H. H. Piña Ruiz. 2014. Análisis técnico del árbol del mezquite (*Prosopis laevigata* Humb. & Bonpl. ex Willd) en México. Ra Ximhai 10(3): 173-193.
- Silva G., J. A., F. J. Fuentes T., R. Rodríguez A., P. A. Torres A., M. G. Lomelí R., J. Ramos Q., C. Waitkus y H. G. Richter. 2010. Fichas de propiedades tecnológicas y usos de maderas nativas de México e importadas. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jal., México. 207 p.
- Sirmah, P., F. Muisu, F. Mburu, S. Dumarçay and P. Gérardin. 2008. Evaluation of *Prosopis juliflora* properties as an alternative to Wood shortage in Kenya. Bois et Forêts des Tropiques 298(4): 25-35.
- Sotomayor C., J. R. y J. M. Villaseñor A. 2005. Comportamiento a la ruptura de probetas modificadas de madera de *Prosopis* sp. Publicación del Laboratorio de Mecánica de la Madera, Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo 1(2): 3-9.
- Sotomayor C., J. R. y J. M. Villaseñor A. 2006. Comportamiento viscoelástico de la madera de *Prosopis* sp. Madera y Bosques 12(2): 3-15.
- Sotomayor C., J.R. 2008. Tabla FITECMA de clasificación de características mecánicas de maderas mexicanas. [www.academia.edu/6820211/Tabla\\_FITECMde\\_Clasicacion\\_de\\_Maderas\\_Mexicanas](http://www.academia.edu/6820211/Tabla_FITECMde_Clasicacion_de_Maderas_Mexicanas) (22 de septiembre 2014).
- Tamarit, U., J. C. 1996. Determinación de los índices de calidad de pulpa para papel de 132 maderas latifoliadas. Madera y Bosques 2(2): 29-41.
- Vignote P., S. 1999. Algarrobo blanco. Boletín de información técnica No. 199. Asociación de Investigación Técnica de la Industrias de la Madera. Mayo-Junio. Madrid, España. pp. 46-49.

