UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DIVISIÓN DE CIENCIAS FORESTALES

ANATOMÍA Y PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE CULMO DE BAMBÚ (*Guadua aculeata* Rupr.) DE LA REGIÓN NORORIENTAL DEL ESTADO DE PUEBLA

TESIS

UNIVERSIDAD AUTONOMA CHAPINGO
MEXICO
DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES

PRESENTA:

IDALIA ZARAGOZA HERNÁNDEZ

CHAPINGO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO
JULIO, 2012

Tesis realizada por **Idalia Zaragoza Hernández** bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES

DIRECTOR: _____

DRA. MA. AMPARO MAXIMA BORJA DE LA ROSA

CODIRECTOR: _____

DR. FRANCISCO JOSÉ ZAMUDIO SÁNCHEZ

ASESOR: _____

M. I. VÍCTOR RUBÉN ORDÓÑEZ CANDELARIA

DEDICATORIA

A mis padres por darme la vida, brindarme su confianza y apoyo en todo momento.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Chapingo, por todos los conocimientos y oportunidades ofrecidas que me permiten este logro significativo en mi desarrollo profesional.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada para realizar los estudios Posgrado.

Al Instituto de Ecología, A.C. por las facilidades dadas para el uso de la infraestructura del Laboratorio de Pruebas de Productos Maderables para la recolecta del material, la elaboración de los especímenes de prueba y la realización de los ensayos físicos y mecánicos, así como el apoyo del Ing. José Luis Martínez Castillo y del Sr. Eduardo Rojas Durán durante en el procesado del material.

DATOS BIOGRÁFICOS

Idalia Zaragoza Hernández nació en la comunidad de Tecpantzingo, Jonotla, Puebla, el 06 de octubre de 1984. Sus estudios de nivel básico, los realizó en la misma localidad y en poblaciones aledañas a ésta. Estudio el nivel medio superior en la preparatoria “Renacimiento” incorporada a la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. La licenciatura la realizó en la Universidad Autónoma Chapingo, egresó de la carrera de Ingeniero Forestal Industrial en el año 2007.

Después de obtener el título profesional, trabajó en instituciones de gobierno en el estado de Puebla durante año y medio. Estudió el posgrado en la Universidad Autónoma Chapingo en el Programa de Maestría en Ciencias en Ciencias Forestales de enero del 2010 a julio del 2012.

ANATOMÍA Y PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL CULMO DE BAMBÚ (*Guadua aculeata* Rupr.) DE LA REGIÓN NORORIENTAL DEL ESTADO DE PUEBLA

ANATOMY AND PHYSICAL-MECHANICAL PROPERTIES OF THE BAMBOO CULM (*Guadua aculeata* Rupr.) FROM THE NORTHEAST REGION STATE OF PUEBLA

Idalia Zaragoza Hernández [1] y Ma. Amparo Maxima Borja de la Rosa [2]

Resumen

Se realizó la caracterización anatómica y evaluación de las propiedades físico-mecánicas del culmo de *Guadua aculeata* Rupr. Los especímenes fueron colectados en el predio "Las Margaritas", ubicado en el municipio de Hueytamalco, Puebla, México. El estudio anatómico incluyó la medición de las fibras y proporción de elementos anatómicos. El marcado, derribo, ensayo físicos y mecánicos se realizó tomando como referencia las normas ISO-22157 e ISO/ TR 22157-2. La forma de los haces vasculares no coinciden totalmente con la clasificación existente. El culmo está compuesto por 50 % de parénquima, 41 % de fibra y 9 % de tejido conductivo. Las fibras miden en promedio 2153 µm de longitud, 13.68 µm diámetro, 3.29 µm diámetro de lumen y 10.39 µm grosor de pared. La densidad básica fue de 0.59, 0.59 y 0.66 g/cm^3 para la sección inferior, media y superior, respectivamente. Las contracciones promedio fueron de 13.9 % en espesor, 7.1 % en diámetro y 0.1 % en longitud. El esfuerzo máximo cortante en condición verde varía de 60.7-85.5 kg/cm^2 y en condición seca de 81.7-106.8 kg/cm^2. El esfuerzo máximo en compresión paralela a la fibra en condición verde, varía de 288-359 kg/cm^2, en seco de 488-577 kg/cm^2; el modulo de elasticidad en verde de 139 662-183 720 kg/cm^2, mientras que en seco de 196 885-210 874 kg/cm^2. El modulo de ruptura en flexión en condición verde varío de 529-708 kg/cm^2 y en seco de 640-812 kg/cm^2; el modulo de elasticidad en verde de 154 000-189 282 kg/cm^2, mientras que en seco de 211 855-245 955 kg/cm^2. La resistencia en tensión paralela a la fibra en condición seca varío de 576-940 kg/cm^2 y el modulo de elasticidad en seco varío de 83 784-100 430 kg/cm^2, ensayos con especímenes que incluyen nudo. Las paredes polilaminares y gruesas de las fibras, hacen a la especie adecuada para su uso en la construcción. Los valores de las propiedades físico-mecánicas presentan diferencias significativas entre las tres secciones. En la mayoría de los ensayos, la sección superior es la de mayor valor.

Palabras clave: haces vasculares, fibras de bambú, densidad básica, contracciones, esfuerzo máximo, modulo de elasticidad, modulo de ruptura.

Abstract

Was made the anatomical characterization and the evaluation of physical-mechanical properties of the culm of *Guadua aculeata* Rupr. The specimens were collected on the locality "Las Margaritas", located in the municipality of Hueytamalco, Puebla, Mexico. The anatomical study included measurement of the fibers and the proportion of anatomical elements. The marking, felling and testing was performed with reference to ISO-22157 and ISO/TR 22157-2. The form of the vascular bundles does not coincide completely with the existing classification. The culm comprises 50 % of parenchyma, 41 % fiber and 9 % conductive tissue. The fibers are 2153 µm average length, 13.68 µm diameter, 3.29 µm lumen diameter, and 10.39 µm wall thickness. The basic density was 0.59, 0.59 and 0.66 g/cm^3 for the lower, middle and top sections, respectively. The average shrinkages were 13.9 % for thickness, 7.1 % for diameter and 0.1 % for length. The maximum shear stress in green condition varies from 60.7 to 85.5 kg/cm^2, and from 81.7 to 106.8 kg/cm^2 in dry condition. The maximum compression stress parallel to the fiber in green condition, varies from 288 to 359 kg/cm^2, and from 488 to 577 kg/cm^2 in dry condition; the green modulus of elasticity varies from 139 662 to 183 720 kg/cm^2, while in dry condition reached from 196 885 to 210 874 kg/cm^2. The bending modulus of rupture in green condition varies from 529 to 708 kg/cm^2, and from 640 to 812 kg/cm^2 in dry; the modulus of elasticity in green varies from 154 000 to 189 282 kg/cm^2, while in dry condition varies from 211 855 to 245 955 kg/cm^2. The tensile strength parallel to the fiber in dry condition varies from 576 to 940 kg/cm^2, and the modulus of elasticity in dry condition varies from 83 784 to 100 430 kg/cm^2. The polilaminar and thick walls of the fibers make the species, suitable for its use in construction. The values of the physical-mechanical properties differ significantly between the three sections. In most tests, the upper section is of greater value.

Key words: vascular bundles, bamboo fibers, basic density, shrinkage, maximun stress, modulus of rupture, modulus of elasticity.

1 Tesista
2 Director

CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS viii
ÍNDICE DE FIGURAS ix
1. INTRODUCCIÓN GENERAL 1
1.1 Objetivos 2
1.2 Literatura citada 2
2. ANATOMÍA DEL CULMO DE BAMBÚ (*Guadua aculeata Rupr.*) DE LA REGIÓN NORORIENTAL DEL ESTADO DE PUEBLA. 4
2.1 Resumen 4
2.2 Introducción 6
2.3 Objetivos 7
2.4 Metodología 8
2.5 Resultados 11
2.6 Discusión 15
2.7 Conclusiones 19
2.8 Referencias 20
3. PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL CULMO DE BAMBÚ (*Guadua aculeata* Rupr) DE LA REGIÓN NORORIENTAL DEL ESTADO DE PUEBLA. 24
3.1 Resumen 24
3.2 Introducción 26
3.3 Materiales y métodos 28
3.4 Resultados y Discusión 32
3.5 Conclusiones 47
3.6 Bibliografía 49
4. DISCUSIÓN GENERAL 54
5. CONCLUSIONES GENERALES 56
6. LITERATURA CITADA 57

ÍNDICE DE CUADROS

ANATOMÍA DEL CULMO DE BAMBÚ (*Guadua aculeata Rupr.*) DE LA REGIÓN NORORIENTAL DEL ESTADO DE PUEBLA……..4

Cuadro 1. Composición de la pared del culmo en dirección axial. 13

Cuadro 2. Dimensiones de fibras en dirección axial y transversal. 14

PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL CULMO DE BAMBÚ (*Guadua aculeata* Rupr.) DE LA REGIÓN NORORIENTAL DEL ESTADO DE PUEBLA ……23

Tabla 1. Contracciones promedio a tres alturas del culmo de *G. aculeata* de Hueytamalco, Pue. 34

Tabla 2. Esfuerzo máximo en cortante paralelo ($fv_{máx}$, kg/cm^2) a la dirección de la fibras, en condiciones verde y seca de *G. aculeata* de Hueytamalco, Pue. .. 35

Tabla 3. Esfuerzo máximo ($fc_{máx}$) y módulo de elasticidad (*Ec*) en compresión paralela a la fibra, en condiciones verde y seca de *G. aculeata* de Hueytamalco, Pue. 38

Tabla 4. Módulo de ruptura (MOR) y módulo de elasticidad (*MOE*) en flexión estática, en condiciones verde y seca de G*. aculeata* de Hueytamalco, Pue. .. 41

Tabla 5. Esfuerzo máximo ($ft_{máx}$) y módulo de elasticidad en tensión (*Et*) paralela a la fibra, en condición seca de *G. aculeata* de Hueytamalco, Pue. ... 45

ÍNDICE DE FIGURAS

ANATOMÍA DEL CULMO DE BAMBÚ (*Guadua aculeata Rupr.*) DE LA REGIÓN NORORIENTAL DEL ESTADO DE PUEBLA……..……..4

Figura 1. Ubicación de la zona de colecta. 8

Figura 2. Diagrama de la obtención de probetas para la descripción anatómica.9

Figura 3. Haces vasculares de la sección interior, media y exterior del culmo. 12

PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL CULMO DE BAMBÚ (*Guadua aculeata* Rupr) DE LA REGIÓN NORORIENTAL DEL ESTADO DE PUEBLA. ……..…..23

Figura 1. Densidad básica (pa/vv, g/cm^3) a tres alturas de los culmos de *G. aculeata*, de Hueytamalco, Pue. 33

Figura 2. Relación densidad básica y esfuerzo máximo cortante en probetas sin nudo, en condiciones verde y seca de *G. aculeata* de Hueytamalco, Pue. 37

Figura 3. Relación densidad básica (*Db*) y esfuerzo máximo cortante ($fv_{máx}$) en probetas con nudo, en condiciones verde y seca de *G. aculeata* de Hueytamalco, Pue..... 37

Figura 4. Relación densidad básica (*Db*) y esfuerzo máximo en compresión ($fc_{máx}$), en condiciones verde y seca de *G. aculeata* de Hueytamalco, Pue..... 39

Figura 5. Relación densidad básica (*Db*) y módulo de elasticidad en compresión (*Ec*), en condiciones verde y seca de *G. aculeata* de Hueytamalco, Pue..... 40

Figura 6. Relación de la densidad básica (*Db*) y módulo de ruptura en flexión estática (*MOR*), en condiciones verde y seca de *G. aculeata* de Hueytamalco, Pue. 43

Figura 7. Relación densidad básica (*Db*) y módulo de elasticidad en flexión estática (*MOE*), en condiciones verde y seca de *G. aculeata* de Hueytamalco, Pue. 44

Figura 8. Relación densidad básica (*Db*) y esfuerzo máximo en tensión paralela a la fibra ($ft_{máx}$), en condición seca de *G. aculeata* de Hueytamalco, Pue. 46

Figura 9. Relación densidad básica (*Db*) y módulo de elasticidad en tensión paralela a la fibra (*Et*), en condición seca de *G. aculeata* de Hueytamalco, Pue. 47

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

Los bambúes son gramíneas herbáceas o leñosas distribuidas en las regiones tropicales y subtropicales del mundo. Existen más de 75 géneros y 1500 especies, el 65% son originarias del sureste de Asia, un 32 % crecen en América Latina y las restantes en África y Oceanía (Salamanca, 2002). Del continente americano, Brasil presenta la mayor diversidad con un total de 141 especies de bambúes leñosos, seguido de Colombia con 72 especies, Venezuela posee 60, Ecuador 44, Costa Rica 39 y México alrededor de 35 especies leñosas (Bystriakova *et al.*, 2004; Cedeño e Irigoyen, 2011; Londoño, 2006).

Los bambúes nativos de México corresponden a ocho géneros, de los cuales *Guadua* es la que alcanza mayores dimensiones. Sus características tecnológicas han permitido su utilización en la construcción de viviendas rurales; la especie de mayor importancia para tal uso es *G. aculeata*, llega a medir hasta 25 metros de altura y 25 cm. de diámetro (Cedeño e Irigoyen, 2011; Cortés, 2000; Cortés, 2005).

No obstante, sus bondades como elementos estructurales y otros usos, su utilización ha sido sólo de manera empírica dado que la información básica y tecnológica sobre los culmos de esta gramínea incluyendo la anatomía y las propiedades físico-mecánicas es escasa y de limitada difusión (CONAFOR, 2006; Londoño, 2006). Por lo tanto, es necesario desarrollar investigaciones

con el fin de subsanar las deficiencias de información básica sobre las especies que crecen en México.

1.1 Objetivos

- Describir la anatomía del culmo y conocer la proporción de las estructuras anatómicas que lo componen, con la finalidad de contribuir al conocimiento y determinar los usos más adecuados.
- Evaluar propiedades físicas y mecánicas del culmo: densidad básica, contenido de humedad, contracciones, flexión estática, cortante, compresión y tensión paralelos a la fibra.

1.2 Literatura citada

Bystriakova, N., V. Kapos and I. Lysenko. 2004. Africa, Madagascar and the Americas. International Network for Bamboo and Rattan. Beijing. 90 p.

Cedeño V., A. y J. Irigoyen C. 2011. El bambú en México. USJT Arq. Urb. 6: 223-243

Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2006. El Bambú: tan fuerte como el acero. Revista electrónica de la Comisión Nacional Forestal. Disponible en: http://www.mexicoforestal.gob.mx/hemeroteca/etapa-2/numero-43. Consultada el 15/12/2010.

Cortés R., G. R. 2000. Los bambúes nativos de México. CONABIO. Biodiversitas 30:12-15

Cortés R., G. R. 2005. Viviendas de bambú en México. Revista electrónica Bio bambú. Disponible en: http://www.bambumex.org/paginas/VIVIENDA.pdf. Consultada el 20/11/2010.

Londoño, X. 2006. Aspectos generales de los bambúes americanos. Revista electrónica Bio bambú. Disponible en: *http://www.bambumex.org/paginas/ASPECTOS%20GENERALES.pdf*. Consultada el 10/09/2011.

Salamanca, J. E. 2002. Estudio del mercado mundial de pisos de bambú. Disponible en: http://www.infobosques.com/descargas/biblioteca/127.pdf Consultada el 05/04/2011.

2. ANATOMÍA DEL CULMO DE BAMBÚ (*Guadua aculeata Rupr.*) DE LA REGIÓN NORORIENTAL DEL ESTADO DE PUEBLA.

Idalia Zaragoza Hernández 1

Ma. Amparo Maxima Borja de la Rosa 1

Francisco José Zamudio Sánchez 1

Víctor Rubén Ordóñez Candelaria 2

Guadalupe Martha Bárcenas Pazos 2

2.1 Resumen

Se realizó la caracterización anatómica de *Guadua aculeata* Rupr., los especímenes fueron colectados en el predio “Las Margaritas” ubicado en el municipio de Hueytamalco, Puebla. El objetivo fue conocer la proporción de las estructuras anatómicas que componen el culmo, para contribuir al conocimiento y proporcionar los elementos para los uso más adecuados. Se estudio la composición anatómica del culmo y la caracterización de las fibras; en ambos casos se utilizaron cuatro culmos. Para la medición de las fibras, cada culmo se seccionó en tres partes de su longitud (inferior, medio y superior), de estas secciones se cortaron rodajas del entrenudo y cercanas al nudo, se hicieron tres divisiones del interior al exterior de la pared del culmo en las rodajas (interna, media y externa). En la composición anatómica, la metodología fue la

[1] División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo

[2] Instituto de Ecología, A. C. Red de Ambiente y Sustentabilidad.

misma a la caracterización de fibras, a excepción del último procedimiento (no se dividió las rodajas en tres partes), se hicieron cortes histológicos transversales de 5 mm de espesor. La forma de los haces vasculares no coinciden completamente con la clasificación existente. El culmo está compuesto por 50 % de parénquima, 41 % de fibra y 9 % de tejido conductivo. Las fibras miden en promedio 2153 µm de longitud, 13.68 µm diámetro, 3.29 µm diámetro de lumen y 10.39 µm grosor de pared.

Palabras clave: parénquima, haces vasculares, fibras de bambú, tejido conductivo.

Abstract

Was made characterization of *Guadua aculeata* Rupr., the specimens were collected on the locality "Las Margaritas", located in the municipality of Hueytamalco, Puebla. The objective was to determine the proportion of the anatomical structures that make up the culm to contribute to knowledge and provide the elements for more appropriate use. Was studied the composition anatomic the culm and the characterization of fibers; in both cases used four culms. For the measurement of fiber, each culm was cut into three parts of its length (lower, middle and higher), these sections were cut slices of the internode and close to the node, there were three divisions from the inside wall of the culm in the slices (inner, middle and outer). In anatomical composition, the methodology was the same to the characterization of fibers, except for the last

process (slices not divided into three parts), were histological sections transversal of 5 mm thick. The form of the vascular bundles does not coincide completely with the existing classification. The culm comprises 50 % of parenchyma, 41 % fiber and 9 % conductive tissue. The fibers measure in average 2153 µm of length, 13.68 µm diameter, 3.29 µm lumen diameter and 10.39 µm wall thickness.

Key words: parenchyma, vascular bundles, bamboo fibers, conductive tissue.

2.2 Introducción

El continente americano ocupa el segundo lugar en abundancia de especies de bambú, antecedido por los países asiáticos. Brasil tiene la mayor cantidad de especies, seguido de Venezuela y Colombia, México se encuentra en el quinto lugar. A lo largo del continente los géneros dominantes son: *Elytrostachys*, *Arthrostylidium* y *Guadua*, las 26 especies de este último se distribuyen desde el centro de México hasta el norte de Argentina, de 0-2200 metros sobre el nivel del mar (Bystriakova *et al.*, 2004; Cedeño e Irigoyen, 2011).

Las cinco especies de guaduas existentes en México son las que alcanzan mayores dimensiones de todos los bambúes del mismo país. Particularmente, *Guadua aculeata* llega a medir 25 m de altura y 25 cm de diámetro en la base. Es una especie que desarrolla espinas en todas las ramas, tiene entrenudos huecos de 20-30 cm de largo y de 2 cm de espesor. Como todas las gramíneas,

está conformado por el rizoma, tallo o culmo, ramas, hojas, flores y frutos (Cedeño e Irigoyen, 2011; Cortés, 2011).

El culmo es la parte más utilizada y está constituido por la corteza (cutícula), haces vasculares, parénquima y tejido conductivo. Las proporciones y dimensiones de cada componente varían entre especies, dentro de especies y en el mismo individuo. Esto influye en la heterogeneidad de la densidad básica, contracciones, contenido de humedad, entre otras propiedades físicas, mecánicas y químicas (Liese, 1998; Londoño *et al*., 2002).

El conocimiento de la anatomía de los culmos permitirá la fácil comprensión de su comportamiento en los procesos industriales a los cuales debe ser sometido para llegar a un producto final. Por lo tanto, conocer las características anatómicas se traduce en la adecuada manipulación del material y a su vez en la optimización de los recursos.

2.3 Objetivos

Describir la anatomía del culmo de *Guadua aculeata* Rupr. y conocer la proporción de las estructuras anatómicas que componen el culmo con la finalidad de contribuir al conocimiento tecnológico y proporcionar los elementos para los uso más adecuados de esta especie.

2.4 Metodología

La colecta del material se realizó en el predio “Las Margaritas” ubicado en el municipio de Hueytamalco, Puebla, a una altitud de 430 metros sobre el nivel del mar en las coordenadas geográficas 97° 18’ 34” y 20° 02’ 00” (Fig. 1).

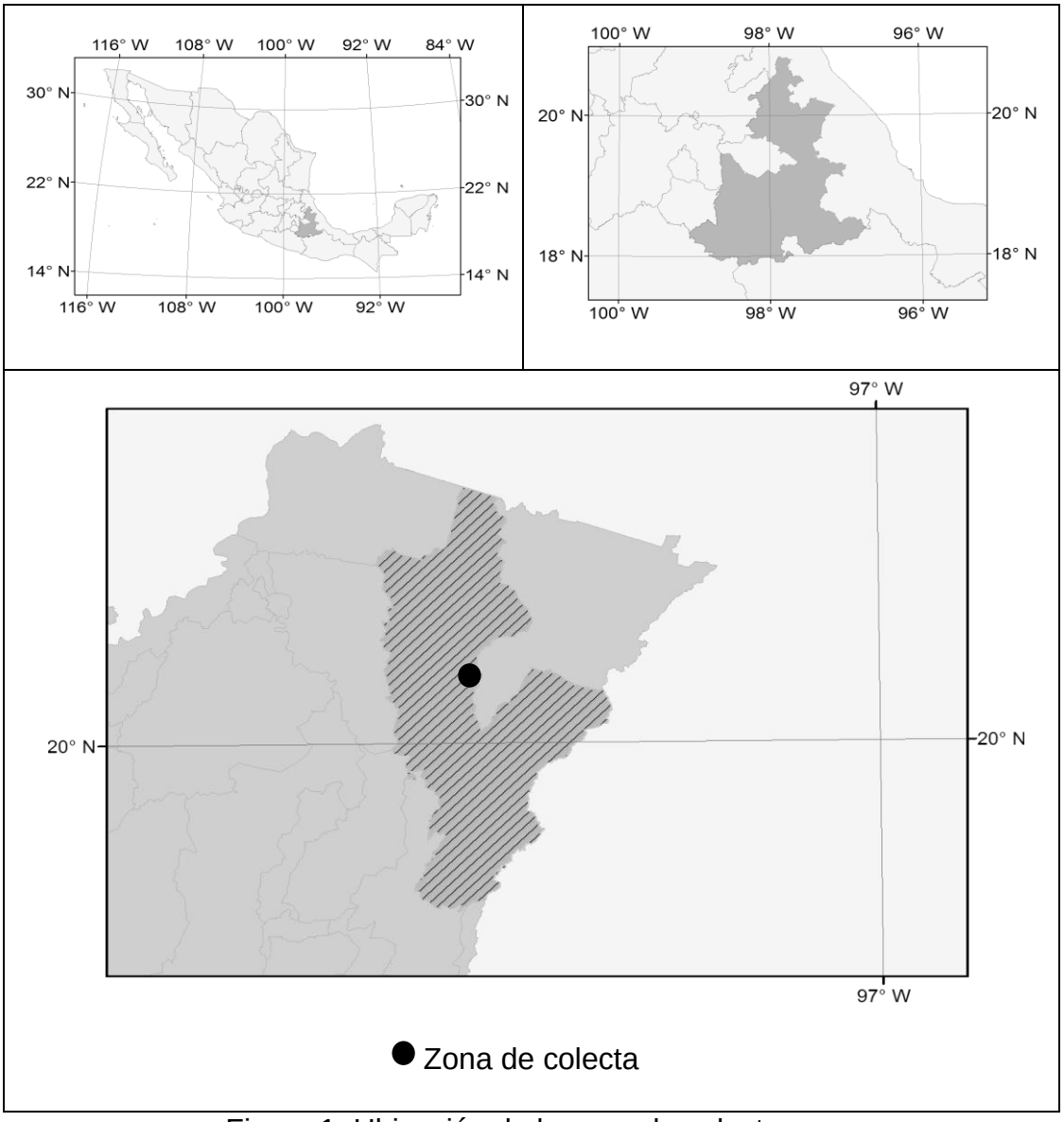

Figura 1. Ubicación de la zona de colecta.

Se utilizaron cuatro culmos de bambú libres de daños físicos, ataque de plagas y enfermedades, cada uno de los culmos se segmentó en 3 partes (inferior, media y superior). Se cortó una rodaja de cada sección del entrenudo y cercana al nudo (Fig. 2).

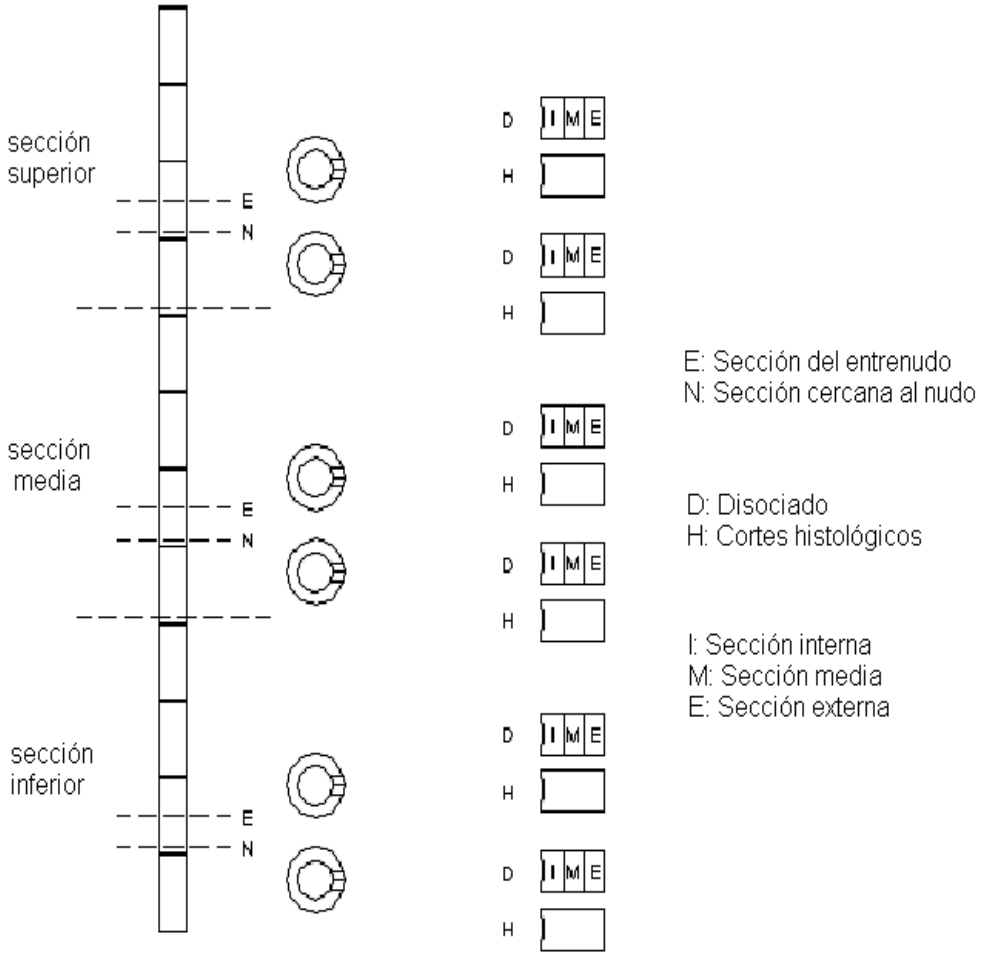

Figura 2. Diagrama de la obtención de probetas para la descripción anatómica.

La mitad de cada rodaja se colocó en un digestor a una presión de 2 kg/cm^2 durante 2 minutos para ablandar las probetas. En seguida se elaboraron cortes transversales de 5 mm de espesor. En éstos se midió la superficie que ocupan las fibras, parénquima y tejido conductivo (vasos), en una franja de 1 mm de

ancho, desde el interior al exterior del culmo. Las superficies se determinaron con el software Leica application suite versión 3.7.0, con una cámara DFC295.

Para determinar el tamaño de muestra de la proporción de los elementos anatómicos constituyentes del culmo, se consideró una precisión del 10 %, obteniendo la cantidad de 12 franjas a medir. Se utilizó la siguiente fórmula (Gilbert, 1987):

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

n: Tamaño de muestra.

t: Valor de t para la confiabilidad deseada.

c: Coeficiente de variación.

d: Precisión deseada.

De la otra mitad de la rodaja se obtuvieron astillas para la preparación de material macerado. Las astillas se colocaron en frascos con solución de ácido acético y peróxido de hidrógeno en partes iguales. Este material se colocó en una estufa a una temperatura de 60 °C durante 60 horas con el fin de eliminar la lámina media de los elementos anatómicos.

El macerado se lavó con agua destilada, se tiñó con pardo de Bismark y se elaboraron preparaciones temporales. Se midió la longitud y diámetro de fibras y diámetro de lumen mediante el software Leica application suite versión 1.8, con una cámara Leicaicc50.

El número de fibras a medir se calculó aplicando la misma fórmula utilizada en los elementos anatómicos constituyentes del culmo y una precisión del 5 %, obteniendo un tamaño de muestra de 55 fibras para cada una de la secciones del culmo.

2.5 Resultados

Los haces vasculares observados en *G. aculeata* se componen de dos vasos de metaxilema, uno ó más vasos de floema, uno ó más vasos de protoxilema y conjunto de fibras que rodean a los elementos conductivos. Los haces cercanos al interior del culmo tiene el grupo de fibras rodeando en mayor proporción a los vasos de metaxilema y principalmente al floema, y un grupo menor rodea al protoxilema, esta distribución de los elementos anatómicos se modifica del interior al exterior del culmo (Fig. 2a).

En la sección media de la pared del culmo, el conjunto de fibras que rodea al protoxilema aumenta hasta igualarse al grupo de fibras que rodea al floema, dándole al haz vascular una forma ovalada (Fig. 2b). Conforme se avanza al exterior del culmo, la mayor proporción de fibras rodea al protoxilema, sin dejar de cubrir los alrededores del floema (Fig. 2c).

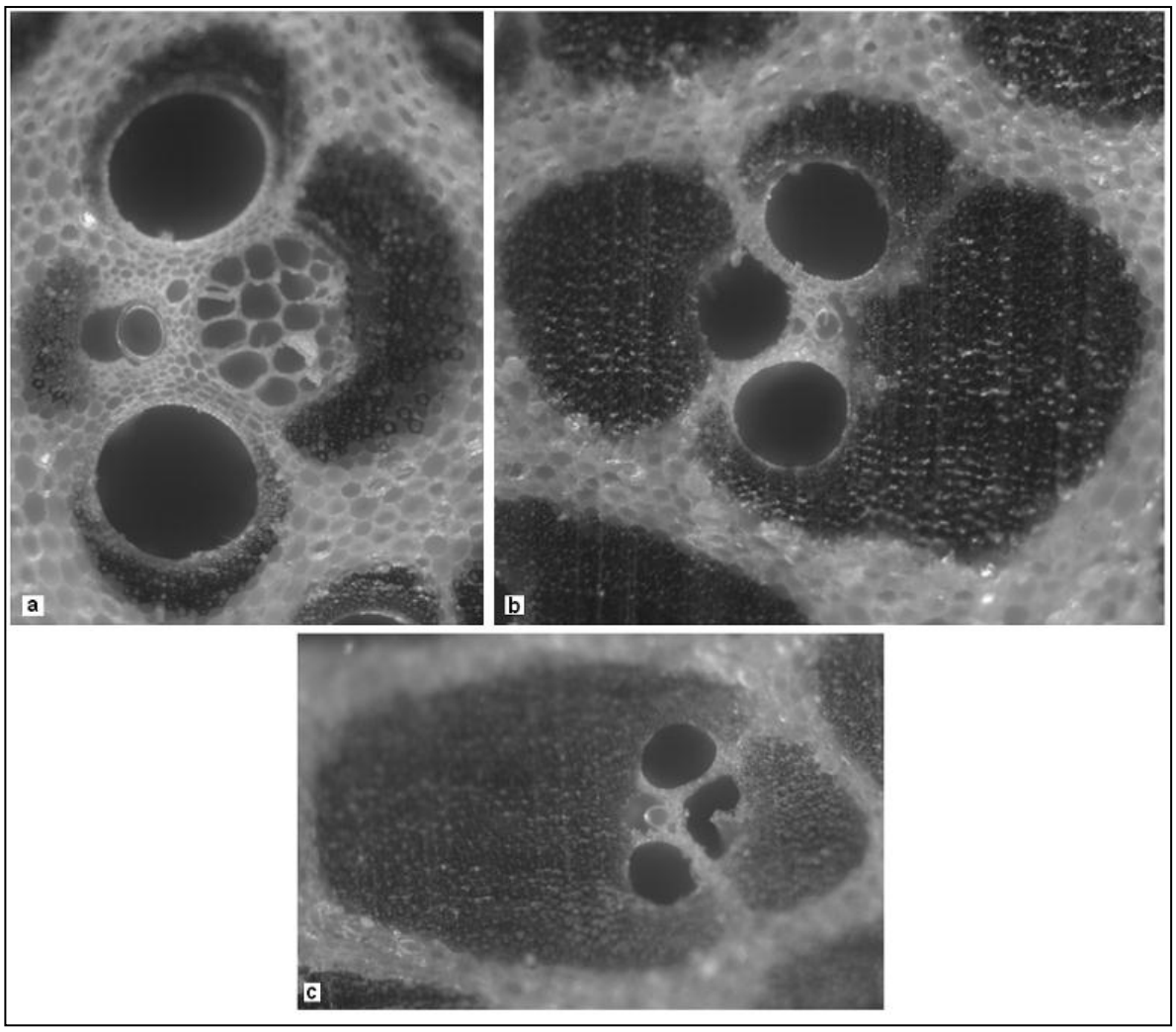

Figura 3. Haces vasculares de la sección interior, media y exterior del culmo.

La proporción de los elementos constituyentes de la pared del culmo en dirección axial (inferior, media y superior) de secciones del entrenudo y cercanas al nudo se presentan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Composición de la pared del culmo en dirección axial.

Estructura	Entrenudo inferior	Nudo inferior	Entrenudo medio	Nudo medio	Entrenudo superior	Nudo superior	Promedio
Fibra (%)	39 A	36 B	43 A	44 A	43 A	42 A	41
Parénquima (%)	54 A	57 A	47 B	47 B	45 B	49 B	50
Poros (%)	7 D	6 D	10 B	10 B	12 A	9 C	9

Los promedios con letras iguales presentan diferencia no significativa entre ellas con un nivel de significancia del 5 %. El término nudo del título de las columnas se refiere a las secciones cercanas al nudo.

En el cuadro 2 se presenta las medidas de fibras de la sección interna, media y externa, del nudo y entrenudo, de la zona inferior, media y superior del culmo.

Cuadro 2. Dimensiones de fibras en dirección axial y transversal.

Variable	Sección longitud	Sección entrenudo			Sección cercana al nudo			Promedio
		Interno	Medio	Externo	Interno	Medio	Externo	
Longitud de fibra (µm)	Inferior	2149 B	2658 A	2556 A	2217 B	2439 A	2520 A	2423
	Media	1842 C	2249 B	2127 B	1927 C	2149 B	2132 B	2071
	Superior	1843 C	2224 B	2118 B	1655 C	1986 B	1958 B	1964
	Promedio	1945	2377	2267	1933	2192	2203	2153
Diámetro de fibra (µm)	Inferior	13,58 B	16,72 A	15,12 A	13,29 B	15,68 A	14,11 B	14,75
	Media	12,33 C	14,14 B	14,06 B	12,69 B	14,37 B	14,47 B	13,68
	Superior	12,22 C	13,42 B	12,62 B	12,15 C	13,02 B	12,21 C	12,61
	Promedio	12,71	14,76	13,93	12,71	14,36	13,60	13,68
Diámetro de lumen (µm)	Inferior	3,29 A	3,92 A	3,36 A	3,25 A	3,64 A	3,52 A	3,50
	Media	3,03 B	3,29 A	3,79 A	3,10 A	3,65 A	3,36 A	3,37
	Superior	3,07	3,26	3,04	2,69	3,01	2,99	3,01

		B	A	B	B	B	B	
	Promedio	3,13	3,49	3,40	3,01	3,44	3,29	3,29
Grosor de pared (µm)	Inferior	10,29	12,80	11,76	10,04	12,04	10,59	11,25
		B	A	A	B	A	B	
	Media	9,30	10,86	10,26	9,59	10,72	11,11	10,31
		C	B	B	B	B	B	
	Superior	9,15	10,17	9,58	9,46	10,00	9,22	9,60
		C	B	B	B	B	C	
	Promedio	9,58	11,28	10,53	9,70	10,92	10,31	10,39

Los promedios con letras iguales presentan diferencia no significativa entre ellas con un nivel de significancia del 5 %.

2.6 Discusión

La forma de los haces vasculares es semejante en la periferia a los de *Guadua trinii* y *Guadua chacoensis.* En la sección interna de *G. aculeata* se encontraron haces similares en forma a los de *G. chacoensis*, *G. trinii* y *Guadua paraguayensis* (Rógulo de Agrasar y Rodríguez, 2003). Se confirma la variación de la forma, tamaño y distribución en dirección trasversal y longitudinal de los haces, señalado por Liese (1998).

Las características de forma y distribución de los componentes de los haces vasculares no coincide completamente con ninguno de los tipos de haces

descritos por Liese (1998). Sin embargo, presenta características del tipo II y IIa, como es la mayor cantidad de fibras que rodea al floema comparada con los costados del haz y conforme se acerca a la periferia el conjunto de fibras se hace mayor hacia al lado del protoxilema (Liese, 1998).

La menor proporción de fibra se ubica en la zona cercana al nudo inferior, presenta diferencias significativas con el resto de las zonas. El promedio de fibra se aproxima a los valores de *Guadua angustifolia* que contiene 40 %, mismo valor señalado como generalidad en los bambúes (Liese, 1998; Londoño, 2002).

El parénquima ocupa la mayor proporción de la estructura anatómica de los culmos, el promedio es cercano al valor general de 52 % para los bambúes y similar a *G. angustifolia* que presenta 51 % (Liese, 1998; Londoño, 2002). En la parte inferior se ubican las mayores cantidades de parénquima siendo estadísticamente diferente a los resultados de la sección media y superior.

El tejido conductivo o vasos ocupan el menor porcentaje en la composición del culmo, siendo semejante a *G. angustifolia* que presenta 9 % reportado por Londoño (2002) y similar al promedio generalizado de 8 % para los bambúes, señalado por Liese (1998). El entrenudo superior contiene las proporciones mayores, difiere significativamente de los valores de la zona inferior, media y cercana al nudo superior del culmo.

La longitud de la fibra de *G. aculeata* varía entre 1655 y 2658 µm, el promedio de todo el culmo es mayor a lo reportado por Omobowale y Ogedengbe (2008) en *Bambusa vulgaris* (1400-1800 µm) y *Gingantchloa levis* (1820 µm) estudiada por Espiloy (1985). Los valores son menores a *Bambusa blumeana* (2560 µm), *B. vulgaris* (2370-3700 µm) y *G. levis* (3745-4478 µm) (Espiloy, 1985; Ogunsile y Uwajeh, 2009; Wahab *et al*., 2009; Guimaraes, Monteiro y Roberto, 2010; Nordahlia *et al*., 2012).

Del interior al exterior del culmo, las fibras de mayor longitud del entrenudo y cercanas al nudo se ubican en el centro y periferia de la pared del culmo, las de menor largo en el interior (Cuadro 2). La longitud promedio de las fibras disminuye de la base hacia el ápice del culmo; la tendencia es similar a lo reportado por Omobowale y Ogedengbe (2008) en *Bambusa vulgaris*, Wahab *et al.* (2009) en *B. vulgaris* y Nordahlia *et al.* (2012) en *Gingantchloa levis*.

El diámetro de la fibra varía de 12.15 a 16.72 µm (Cuadro 2), los valores tienen similitud con *B. blumeana* (14.2-15.2 µm) y *G. levis* (15.5-16.5 µm). El promedio del culmo completo es menor a *G. levis* (16-25.7 µm), *B. vulgaris* (13.93-27.3 µm) (Espiloy, 1985; Ogunsile y Uwajeh, 2009; Wahab *et al.*, 2009; Guimaraes, Monteiro y Roberto, 2010; Nordahlia *et al.*, 2012).

La sección media y externa de la pared del culmo del entrenudo presentan el mayor diámetro de fibra y la interna las de menor diámetro, siendo estadísticamente diferentes. En las secciones cercanas al nudo, la sección

interna inferior presenta el mayor diámetro, presenta diferencia significativa con el resto de las secciones. También difieren de manera significativa las secciones interna y con las externas a la parte superior del culmo; la zona media del largo del culmo no presentas éstas diferencias. El promedio del diámetro de la fibra disminuye de la base hacia el ápice, la tendencia coincide con el trabajo de Espiloy (1985) en *B. blumeana* y Wahab *et al.* (2009) en *B. vulgaris*.

El promedio del diámetro del lumen del culmo completo es de 3.29 µm, el valor mínimo es de 2.69 µm y el máximo de 3.92 µm, los valores se aproximan a lo reportado para *B. blumeana* (3.2-4.6 µm) y *B. vulgaris* (2.4-2.6 µm). La media del culmo es menor a *G. levis* (5-16 µm) y *B. vulgaris* (8-10.4 µm) (Espiloy, 1985; Sekyere, 1994; Ogunsile y Uwajeh, 2009; Wahab *et al*., 2009; Guimaraes, Monteiro y Roberto, 2010; Nordahlia *et al*., 2012). El diámetro de lumen disminuye de la base a la parte superior del culmo, hay diferencias significativas entre la parte superior cercana al nudo, las secciones superiores externa e interna del entrenudo y sección interna a la altura media del culmo con el resto de las secciones.

El grosor de pared de la fibra varía de 9.15 a 12.80 µm, similar a *G. levis* (10-12 µm), mayor a *B. blumeana* (5.2-6.1 µm) y *B. vulgaris* (3.29-7.10 µm). En el entrenudo, hay diferencias significativas entre la sección exterior y media de la pared del culmo con la interna; en las secciones cercanas al nudo éstas diferencias se presentan entre la sección interna con ambos lados en la parte

inferior y entre la exterior con la media e interna de la parte superior (Espiloy, 1985; Sekyere, 1994; Ogunsile y Uwajeh, 2009; Wahab *et al*., 2009; Guimaraes, Monteiro y Roberto, 2010; Nordahlia *et al*., 2012).

El grosor de la pared influye directamente en la densidad básica, propiedad que se ve reflejada en otras propiedades físicas y mecánicas. Por otro lado, los bambúes tiene estructura polilaminar, en la madurez se presentan la mayor cantidad de laminas, característica observada en *G. aculeata*. La paredes gruesas de ésta especie junto con la estructura polilaminar hacen de los culmos adecuados para su uso en la construcción (Liese, 1998).

Las dimensiones de la fibras se traducen en un coeficiente de rigidez de 0.76, coeficiente de flexibilidad de 0.24, índice de esbeltez 162.69 y una relación de Runkel de 3.29. Son fibras largas de paredes gruesas, es un material de mala calidad para la elaboración de papel (Porres y valladares, 1979; Tortorelli, 1956).

2.7 Conclusiones

Los haces vasculares no asemejan completamente a ningún tipo de haces de la clasificación existente.

Las técnicas de corte utilizada en la madera no funcionan para *G. aculeata*. La diferencia de dureza de la periferia y la parte interna hace que los cortes se desintegren al finalizar el corte.

La relación longitud y grosor de la pared de las fibras indican que no es idónea para la elaboración de papel. La estructura polilaminar y las paredes gruesas la hacen adecuada para utilizarse en la construcción.

2.8 Referencias

Bystriakova, N., V. Kapos e I. Lysenko. 2004. Africa, Madagascar and the Americas. International Network for Bamboo and Rattan. Beijing. 90 p.

Cedeño Valdiviezo, A. y J. Irigoyen Castillo. 2011. El bambú en México. USJT Arq. Urb. 6: 223-243

Cortés Rodríguez, G. R. 2000. Los bambúes nativos de México. CONABIO. Biodiversitas 30:12-15

Espiloy, Z. B. 1985. Physico-mechanical properties and anatomical relationships of some Philippine bamboos. International Bamboo Workshop. China. Pp 257-264.

Gilbert, R. O. 1987. Statistical Methods for Environmental Pollution Monitoring. Van Nostrand Reinhold. 320 p.

Guimarães Junior, M., K. Monteiro Novack y V. Roberto Botaro. 2010. Caracterizacion anatomica da fibra de bambu (*Bambusa vulgaris*) visando sua utilizacao em compósitos poliméricos. Revista Iberoamericana de polímeros 11(7): 442-456

International Network for Bamboo and Rattan. 2010. China´s bamboo. INBAR Technical Report N° 33. International Network for Bamboo and Rattan. Beijing. 227 p.

Liese, W. 1998. The anatomy of bamboo culms. INBAR Technical Report N° 18. International Network for Bamboo and Rattan. Beijing. 204 p.

Londoño, X. 2006. Aspectos generales de los bambúes americanos. Revista electrónica Bio bambú. Disponible en: *http://www.bambumex.org/paginas/ASPECTOS%20GENERALES.pdf.* Consultada el 10/09/2011.

Londoño, X., G. C. Camayo, N. M. Riaño y Y, López. 2002. Characterization of the anatomy of *Guadua angustifolia* (Poaceae: Bambusoideae) culms. Bamboo Science and Culture The Journal of the American Bamboo Society 16(1): 18-31

Nordahlia, A. S., U. M. K. Anwar, H. Hamdan, A. Zaidon, M. T. Paridah y O. Abd Razak. 2012. Effects of age and height on selected properties of malasyan bamboo (*Gigantochloa levis*). Journal of Tropical Forest Science 24(1): 102-109

Ogunsile, B. O. y C. F. Uwajeh. 2009. Evaluation of the pulp and paper potentials of a Nigerian grown *Bambusa vulgaris*. World applied sciences journal 6(4): 536-531

Omobowale, M. O. y K. Ogedengbe. 2008. Trends and fiber characteristics of Nigerian grown bamboo and its effect in its impact and tensile strengths. Bamboo Science and Culture: The Journal of the American Bamboo Society 21(1): 9-13

Ordóñez Candelaria, V. R. 1999. Perspectivas del bambú para la construcción en México. Madera y Bosques. 5(1): 3-12

Osorio, J. A., J. M. Vélez y H. J. Ciro. 2007. Estructura interna de la Guadua y su incidencia en las propiedades mecánicas. Dyna. 74(153): 81-84

Porres, C. y J. Valladares. 1979. Producción de pulpa y papel con materias primas autóctonas centroamericanas. Instituto Centroamericano de Investigaciones y Tecnología Industrial. Guatemala. 72 p.

Qisheng, Z., J. Shenxue y T. Yongyu. 2003. Industrial utilization on bamboo. INBAR Technical Report N° 26. International Network for Bamboo and Rattan. Beijing. 207 p.

Rúgulo de Agrasar, Z. E. y M. F. Rodríguez. 2003. Culm Anatomy of Native Woody Bamboos in Argentina and Neighboring Areas: Cross Section. Bamboo Science and Culture: The Journal of the American Bamboo Society 17(1): 28-43

Sekyere, D. 1994. Potencial of bamboo (*Bambusa vulgaris*) as a source of raw material for pulp and paper in Ghana. Ghana Journal of Forestry 1: 49-56

Tortorelli L., A. 1956. Maderas y bosques argentinos. ACME. Buenos Aires. 910 p.

Wahab, R., A. Mohamed, M. T. Mustafa y A. Hassan. 2009. Physical characteristics and anatomical properties of cultivated bamboo (*Bambusa vulgaris* Schrad) culms. Journal of biological sciences 9(7): 753-759

3. PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL CULMO DE BAMBÚ (*Guadua aculeata* Rupr) DE LA REGIÓN NORORIENTAL DEL ESTADO DE PUEBLA.

Idalia Zaragoza Hernández [3]

Víctor Rubén Ordóñez Candelaria [2]

Guadalupe Martha Bárcenas Pazos [2]

Ma. Amparo Maxima Borja de la Rosa [1]

Francisco José Zamudio Sánchez [1]

3.1 Resumen

Se determinaron las propiedades físicas y mecánicas del culmo de *Guadua aculeata* Rupr., colectado en el predio "Las Margaritas" municipio de Hueytamalco, Puebla. El marcado, derribo y ensayo se realizó tomando como referencia las normas ISO-22157 e ISO/ TR 22157-2. La densidad básica fue de 0.59, 0.59 y 0.66 g/cm^3 para la sección inferior, media y superior, respectivamente. Las contracciones promedio fueron de 13.9 % en espesor, 7.1 % en diámetro y 0.1 % en longitud. El esfuerzo máximo cortante en condición verde varía de 60.7-85.5 kg/cm^2 y en condición seca de 81.7-106.8 kg/cm^2. El esfuerzo máximo en compresión paralela la fibra en condición verde varía de 288-359 kg/cm^2, en seco de 488-577 kg/cm^2; el modulo de elasticidad en verde

[3] División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo.
[2] Instituto de Ecología, A. C. Red de Ambiente y Sustentabilidad.

de 139 662-183 720 kg/cm^2, en seco de 196 885-210 874 kg/cm^2. El modulo de ruptura en flexión en condición verde varía de 529-708 kg/cm^2, en seco de 640-812 kg/cm^2; el modulo de elasticidad en verde de 154 000-189 282 kg/cm^2, en seco de 211 855-245 955 kg/cm^2. La resistencia en tensión paralela a la fibra en condición seca varía de 576-940 kg/cm^2 y el modulo de elasticidad en seco varía de 83 784-100 430 kg/cm^2.

Palabras claves: densidad básica, contracciones, esfuerzo máximo, modulo de ruptura, modulo de elasticidad.

Abstract

Were determined the physical and mechanical properties of the culm of *Guadua aculeata* Rupr., collected on the locality “Las Margaritas” Hueytamalco municipality, Puebla. The marking, felling and testing was performed with reference to ISO-22157 and ISO/TR 22157-2. The basic density was 0.59, 0.59 and 0.66 g/cm^3 for the lower section, middle and top respectively. The shrinkages were 13.89 % of thickness, 7.13 % of diameter and 0.09 % of length. The maximum shear stress in green condition varies from 60.74 to 85.54 kg/cm^2 and dry condition of 81.74 to 106.82 kg/cm^2. The maximum compression stress parallel fiber in green condition varies from 288 to 359 kg/cm^2, of 488 to 577 kg/cm^2 dry, the green modulus of elasticity of 139 662 to 183 720 kg/cm^2, in dry condition 196 885 to 210 874 kg/cm^2 . The modulus of rupture of bending in green condition varies from 529 to 708 kg/cm^2, of 640 to 812

kg/cm^2 in dry, the modulus of elasticity green varies from 154 000 to 189 282 kg/cm^2, in dry condition 211 855 to 245 955 kg/cm^2. The maximun tension stress parallel to grain in dry condition varies from 576 to 940 kg/cm^2 and modulus of elasticity in dry condition 83 784 to 100 430 kg/cm^2.

Key words: basic density, shrinkage, maximum stress, modulus of rupture, modulus of elasticity.

3.2 Introducción

Los bambúes son un grupo de especies de rápido crecimiento y gran versatilidad, cuya utilización va desde sus brotes hasta la planta como tal, entre éstos su uso más importante es en la construcción. En épocas pasadas eran considerados como el material primario para edificación de viviendas de indígenas y campesinos, actualmente, se están haciendo construcciones a mayor escala en las que es el elemento estructural principal, también se usa en otros elementos de casas habitación y para muebles (Ordoñez, 1999; Cortés, 2006).

La relativa facilidad en el corte de los tallos y transporte a grandes distancias, su durabilidad, maniobrabilidad y resistencia, son factores que hacen del bambú un elemento útil, práctico y recomendable para ser usado en aplicaciones donde la resistencia es un factor de alta consideración (Ordoñez, 1999). Especies del género *Guadua* son comparadas con fibras de acero y otras fibras

de alta resistencia que absorben energía y las construcciones con este material tienen un excelente comportamiento estructural ante los sismos (Osorio *et al*., 2005).

En México, *Guadua aculeata* es la especie de mayor importancia en cuanto a la construcción se refiere. Se ha usado de forma tradicional en la región norte de los estados de Veracruz, Puebla, Oaxaca y Tabasco para paredes y travesaños de viviendas: el culmo es cortado a la mitad longitudinalmente y golpeado en numerosas ocasiones hasta formar un tablero plano, uniendo los diferentes culmos se obtienen paredes que reforzadas interiormente con culmos enteros pueden resistir los embates del medio ambiente (Cortés, 2005).

No obstante el potencial de la especie, su utilización ha sido sólo de manera empírica dado que no existe información tecnológica sobre los culmos de esta gramínea, incluyendo las propiedades físico mecánicas, indispensable para el diseño y la construcción de elementos estructurales con las dimensiones adecuadas que aseguren el buen funcionamiento del material (CONAFOR, 2006; Londoño, 2006).

Los objetivos del estudio fueron evaluar algunas propiedades físicas de culmos de *G. aculeata* como densidad básica, contenido de humedad, contracciones y propiedades mecánicas en flexión estática, cortante, compresión y tensión paralelos a la fibra.

3.3 Materiales y métodos

El material se recolectó en el predio “Las Margaritas” ubicado en el municipio de Hueytamalco, Puebla, a una altitud de 430 metros sobre el nivel del mar, en las coordenadas geográficas 97° 18’ 34” y 20° 02’ 00”. El clima de la región es semicálido subhúmedo con lluvias todo el año; es una zona de transición con áreas reducidas de selva alta perennifolia con vegetación secundaria arbustiva y bosque mesófilo de montaña.

La recolecta del material, su preparación para obtener los especímenes de prueba, la obtención de éstos, y la realización de los ensayos se hicieron, en lo general, de acuerdo con lo establecido en las normas ISO-22157 Bamboo-Determination of physical and mechanical properties-Part 1-Requirements, e ISO/TR 22157-2 Bamboo-Determination of physical and mechanical properties of bamboo-Part 2-Laboratory Manual (ISO, 2004a; ISO, 2004b), y los procedimientos internos del Laboratorio de pruebas de productos maderables del Instituto de Ecología, A.C., en donde se realizaron los ensayos.

Se recolectaron doce culmos para los ensayos en condición verde y doce para los de condición seca, tamaño de muestra establecido para obtener resultados con 90 % de confiabilidad. Cada culmo se cortó en tres porciones identificándolas como: inferior, media y superior. Los ensayos mecánicos realizados fueron flexión, compresión, cortante, y tensión, posterior a cada

ensayo se obtuvieron los valores de densidad básica y contenido de humedad, adicionalmente se determinaron los porcentajes de contracción. Se realizaron comparaciones múltiples de medias con pruebas de DUNCAN con un nivel de significancia del 5 % para cada uno de los ensayos. Así mismo, para conocer el grado de dispersión de los datos se presentan la desviación estándar (*S*) de las propiedades.

Propiedades físicas

Contenido de humedad (*CH*) y densidad básica (*Db*). Al término de los ensayos mecánicos se obtuvo una porción de cada espécimen, de la cual se registró su peso (*PI*). En los ensayos en condición verde se obtuvo inmediatamente su volumen por desplazamiento de agua; en el caso de los ensayos en seco los especímenes se saturaron hasta lograr su volumen máximo y se registró éste. Posteriormente se secaron en estufa a una temperatura 103 ± 2° C, hasta alcanzar peso constante (*PA*). El contenido de humedad se calculó como un porcentaje del agua presente al momento del ensayo (*PI - PA*) con relación al peso anhidro. La densidad es la razón del peso de la madera sin agua (*PA*) sobre el volumen saturado o verde (*VV*) en g/cm^3.

Contracciones. Se determinaron los cambios dimensionales del bambú como consecuencia del secado en el espesor de la pared (*Ce*), la dirección longitudinal (*Cl*) y diametralmente (*Cd*). Se prepararon especímenes cilíndricos de 10.0 cm de longitud de cada sección de los culmos, inferior, media y

superior. Sus dimensiones de espesor de pared, longitud y diámetro exterior se registraron recién cortados. Posteriormente se secaron gradualmente al aire libre protegiéndolos de la acción de los rayos del sol y de la lluvia. Periódicamente los especímenes se pesaron y midieron hasta que no hubo cambios entre dos registros consecutivos. Al alcanzar el contenido de humedad en equilibrio, se secaron en estufa a una temperatura de 103 ± 2° C hasta alcanzar peso constante y se registraron las dimensiones finales. El valor de las contracciones se calculó como el cambio de dimensiones durante el secado con relación a la dimensión inicial, expresada en porcentaje.

Ensayos mecánicos

Los ensayos mecánicos se realizaron en una máquina universal de ensayos con capacidad de 25 000 kg, los resultados se obtuvieron con el programa de cómputo BlueHill. Los especímenes de ensayo se seleccionaron de manera que estuvieran libres de defectos visuales, principalmente rajaduras. El material en verde se ensayo inmediatamente, mientras que para los ensayos en seco se mantuvo al aire libre bajo techo por un periodo de tres meses antes de obtener los especímenes.

Flexión. Los especímenes de diámetro (ϕ) y longitud (L) variables apoyados en sus extremos fueron sometidos a la aplicación de cargas transversales con un claro (l) igual o mayor a 30 veces el diámetro, las cargas se aplicaron en los

tercios del claro hasta la falla total. Las propiedades obtenidas fueron módulo de ruptura (*MOR*) y módulo de elasticidad (MOE), para calcular el MOE se utilizó la gráfica de carga-deformación que se obtuvo en el ensayo.

Compresión paralela a la fibra. Los especímenes se dimensionaron de manera que la longitud (*L*) fuera igual a su diámetro exterior (ϕ), las secciones transversales sobre las que se aplicó la carga se cortaron perpendiculares al eje longitudinal del culmo, con una desviación máxima de 0.2 cm. Se aplicó carga axial hasta la falla total, registrándose las deformaciones en la parte central del espécimen con dos medidores de deformación en puntos opuestos de éste. Las propiedades obtenidas fueron resistencia máxima ($fc_{máx}$) y el módulo de elasticidad (*Ec*) también utilizando la gráfica de carga-deformación que se obtuvo del ensayo.

Cortante paralelo a la fibra. Se seleccionaron dos grupos de especímenes, uno que incluyera un nudo y otro sin nudo, en ambos caso su longitud (*L*) fue igual a su diámetro exterior (ϕ), las caras transversales se cortaron paralelas entre sí y perpendiculares a su eje longitudinal. La carga se aplicó de manera de provocar en la probeta cuatro secciones de falla, definidas por los grosores y longitudes de cada una de ellas y dispuestas ortogonalmente. El espesor de la pared y la longitud del espécimen se midieron en cada una de las cuatro secciones de falla. Se obtuvo el valor de la resistencia máxima en cortante ($fv_{máx}$).

Tensión paralela a la fibra. Se prepararon especímenes del grueso del culmo, entre 1.0 y 2.0 cm de ancho y 32.5 cm de longitud, que incluyeran nudo. La carga se aplicó hasta la falla, midiendo las deformaciones en la parte central en una distancia de medición de 2.5 cm. Se obtuvo el esfuerzo máximo ($ft_{máx}$) y el módulo de elasticidad (*Et*) en tensión.

3.4 Resultados y Discusión

La densidad básica del culmo de *G. aculeata* mostró un incremento de la base hacia la parte superior, variando de 0.37 a 0.92 g/cm^3, encontrándose diferencias significativas de la densidad de la porción superior en relación con las dos secciones inferiores (Figura 1). La tendencia coincide con lo presentado para *Bambusa blumeana* y *Gingantochloa levis*, sin embargo la variación de *G. aculeata* fue mayor comparado con las obtenidas para *Dendrocalamus asper*, *Bambusa heterostachya*, *Bambusa vulgaris*, *B. blumeana* y *G. levis*, las cuales varían en un intervalo de 2 a 3 decimales entre el valor mínimo de densidad y el máximo (Espiloy, 1985; Abd. Latif *et al*., 1995; Surjokusumo y Nugroho, 1995; Valero *et al*., 2005; Poblete *et al*., 2009; Nordahlia *et al*., 2012).

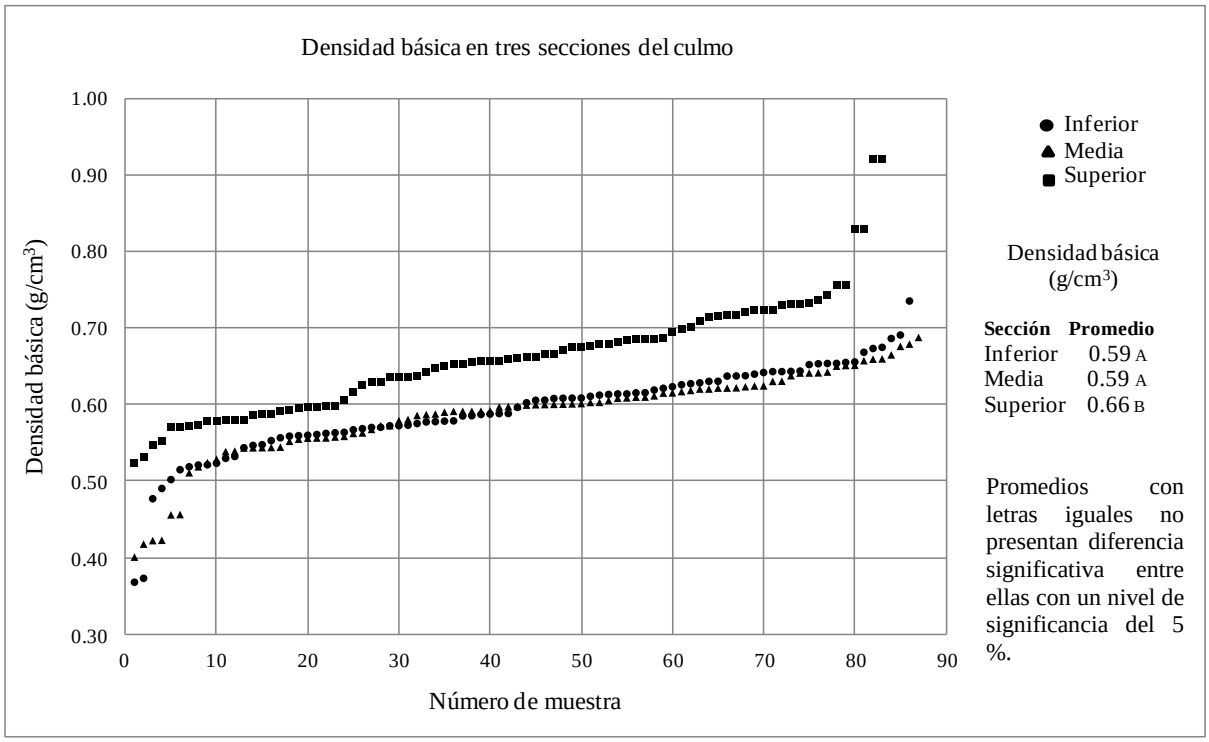

Figura 1. Densidad básica (pa/vv, g/cm^3) a tres alturas de los culmos de *G. aculeata*, de Hueytamalco, Pue.

En la Tabla 1 se presentan los valores promedio de las contracciones en espesor, diámetro y longitud a tres alturas de los culmos. No se encontraron diferencias significativas entre las contracciones de las tres secciones. El valor promedio de la contracción en el espesor es similar al de *B. blumeana* (13.3 %) y *G. levis* (11.7 %) (Espiloy, 1985); es menor que los valores obtenidos por Sotela (1992) para *Guadua angustifolia* (17-19 %) y por Abd. Latif *et al.* (1995) para *B. heterostachya* (19 a 22 %). Es mayor comparado con los valores obtenidos por Valero *et al*. (2005) para *B. vulgaris* de 6.6 %, y por Surjokusumo y Nugroho (1995) para *D. asper* de 3.6 %. La contracción de *G. aculeata* está

dentro de los promedios señalados por Liese (1998) y Ugarte y Habusta (2011), de 4 a 14 % y de 4 a 16 %, respectivamente.

Tabla 1. Contracciones promedio a tres alturas del culmo de *G. aculeata* de Hueytamalco, Pue.

Sección	Contracciones promedio (%)		
	Espesor	Diámetro	Longitud
Inferior (0.57)	15.5 A	8.10 B	0.1 C
Media (0.58)	15.9 A	7.79 B	0.1 C
Superior (0.69)	10.2 A	5.50 B	0.1 C
Promedio	13.9	7.13	0.1

Los promedios con letras iguales presentaron diferencia no significativa entre ellas con un nivel de significancia del 5 %. Los valores entre paréntesis son la densidad básica (g/cm^3) promedio en las probetas.

Los porcentajes de contracción diametral obtenidos están dentro de los valores indicados por Liese (1998) y Ugarte y Habusta (2011) para los bambúes en general, y a lo encontrado para *B. heterostachya* (7-9 %) y *G. angustifolia* (7-8 %). En la dirección longitudinal los valores obtenidos fueron menores al 1 %, lo cual coincide con lo encontrado para *B. heterostachya* (Sotela, 1992; Abd. Latif *et al*., 1995).

El contenido de humedad de los especímenes ensayados en verde fue entre 59 y 99 %, mientras que en seco fue de 21 ± 3 %.

En la Tabla 2 se presentan los valores del esfuerzo máximo en cortante ($fv_{máx}$) con especímenes con nudo y sin nudo a tres alturas del bambú en condiciones verde y seco. En general se aprecia un incremento de la resistencia de la base a la sección superior del culmo, mostrando diferencias significativas entre la parte superior y las otras dos porciones, con excepción de los especímenes con nudo en condición seca.

Tabla 2. Esfuerzo máximo en cortante paralelo ($fv_{máx}$, kg/cm^2) a la dirección de la fibras, en condiciones verde y seca de *G. aculeata* de Hueytamalco, Pue.

Sección del culmo	Inferior	Media	Superior	Promedio
con nudo, verde	62.1 C	66.3 C	85.5 B	71.3
S	17.1	15.3	11.1	
Db	0.56	0.61	0.66	
con nudo, seco	81.7 B	82.4 B	90.2 B	84.9
S	17.0	17.9	17.2	
Db	0.59	0.57	0.70	
sin nudo, verde	60.7 C	67.6 C	82.6 B	70.3
S	10.7	12.5	12.4	
Db	0.60	0.56	0.70	
sin nudo, seco	93.4 A	92.6 A	106.8 A	97.6

Sección del culmo	Inferior	Media	Superior	Promedio
S	15.8	14.9	16.8	
Db	0.63	0.63	0.68	

Los promedios con letras iguales presentan diferencia no significativa entre ellas con un nivel de significancia del 5 %.

Las tres secciones de las probetas sin nudo en condición seca son las que presentaron la mayor resistencia a cortante sin evidencia de diferencias significativas entre éstas y si difieren del resto de las probetas. Los ensayos secos con nudo no presentan diferencias significativas entre secciones. Los especímenes en condición verde muestran un incremento de la parte inferior a la superior, existen diferencias entre la superior y las otras dos secciones.

La resistencia a esfuerzos máximos cortantes de *G.* aculeata son mayores a los presentados en *Gingantchloa scortechinii*, *G. angustifolia* f. cebolla, *G. angustifolia* f. atlántica y *G. angustifolia* f. sur, que resisten 56, 57, 63 y 75 kg/cm^2, respectivamente (Sotela, 1992; Ciro *et al*., 2005; Bahari y Ahmad, 2009). Se observa el efecto de la disminución del contenido de humedad en el incremento de la resistencia a esfuerzos cortantes, así como la relación directa entre el incremento de la densidad básica y esta propiedad (Liese, 1998) (Figura 2 y 3).

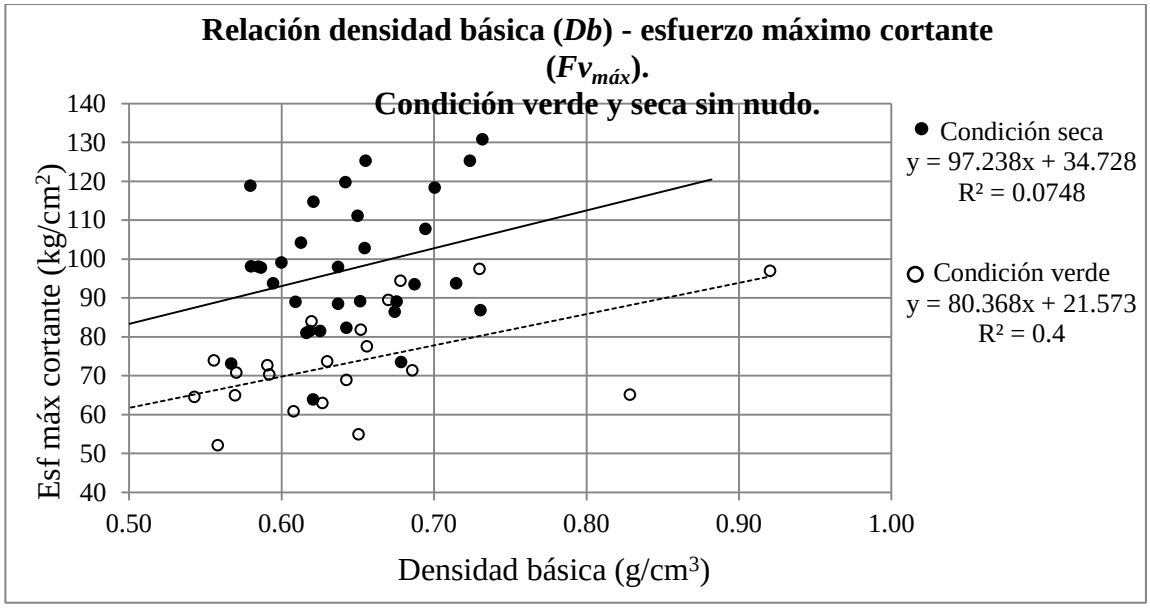

Figura 2. Relación densidad básica y esfuerzo máximo cortante en probetas sin nudo, en condiciones verde y seca de *G. aculeata* de Hueytamalco, Pue.

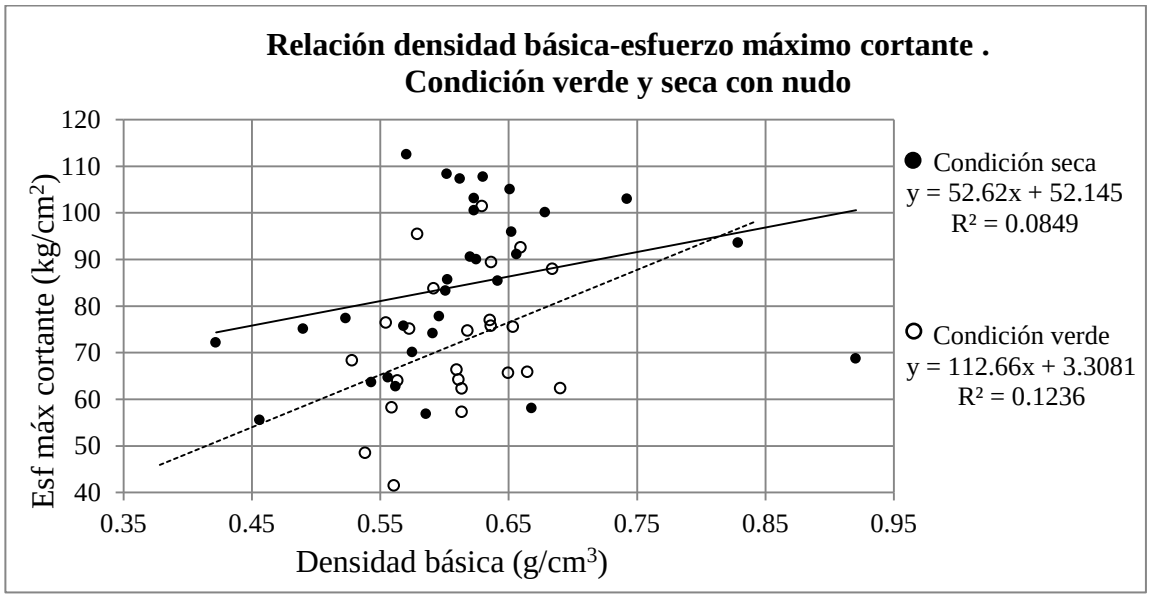

Figura 3. Relación densidad básica (*Db*) y esfuerzo máximo cortante ($fv_{máx}$) en probetas con nudo, en condiciones verde y seca de *G. aculeata* de Hueytamalco, Pue.

En la tabla 3 se presentan los valores de resistencia máxima ($fc_{máx}$) y módulo de elasticidad (*Ec*) en compresión paralela a la fibra en estados verde y seco. En ambas condiciones de humedad se observó el incremento del esfuerzo máximo a compresión de la base hacia el ápice del bambú, habiendo diferencias significativas entre la porción superior y las otras dos secciones.

Tabla 3. Esfuerzo máximo ($fc_{máx}$) y módulo de elasticidad (*Ec*) en compresión paralela a la fibra, en condiciones verde y seca de *G. aculeata* de Hueytamalco, Pue.

Propiedad (kg/cm^2)	Sección del culmo			Promedio
	Inferior	Media	Superior	
$fc_{máx}$ en verde	288 D	295 D	359 C	314
S	25	36	57	
Db	0.53	0.58	0.67	
$fc_{máx}$ en seco	488 B	519 B	577A	528
S	67	45	29	
Db	0.60	0.60	0.68	
Ec en verde	139 662 B	164 620 B	183 720 A	162 667
S	46280	24450	47724	
Db	0.53	0.58	0.67	
Ec en seco	196 885 A	210 874 A	200 865 A	202 874
S	48 451	35 265	22 494	
Db	0.60	0.60	0.68	

Los promedios con letras iguales no presentan diferencia significativa entre ellas con un nivel de significancia del 5 %.

La tendencia en el esfuerzo máximo en compresión paralela ($fc_{máx}$) (Figura 4) es semejante a lo publicado para *G. angustifolia*, *B. blumeana* y *G. levis*. En condición verde, *G. aculeata* es de menor resistencia comparada con las mismas secciones de *B. blumeana*, que soporta 366, 402.8 y 402.8 kg/cm^2 y *G. levis* que resisten 394.6, 425.2 y 442.6 kg/cm^2. Los resultados promedio en seco son similares a los obtenidos en probetas con nudo para *D. asper*, 534 kg/cm^2; y son mayores contrastados con los de *G. angustifolia* f. atlántica y *G. angustifolia* f. sur, 426 y 420 kg/cm^3, respectivamente (Espiloy, 1985; Sotela, 1992; Surjokusumo y Nugroho, 1995; Takeuchi y González, 2007).

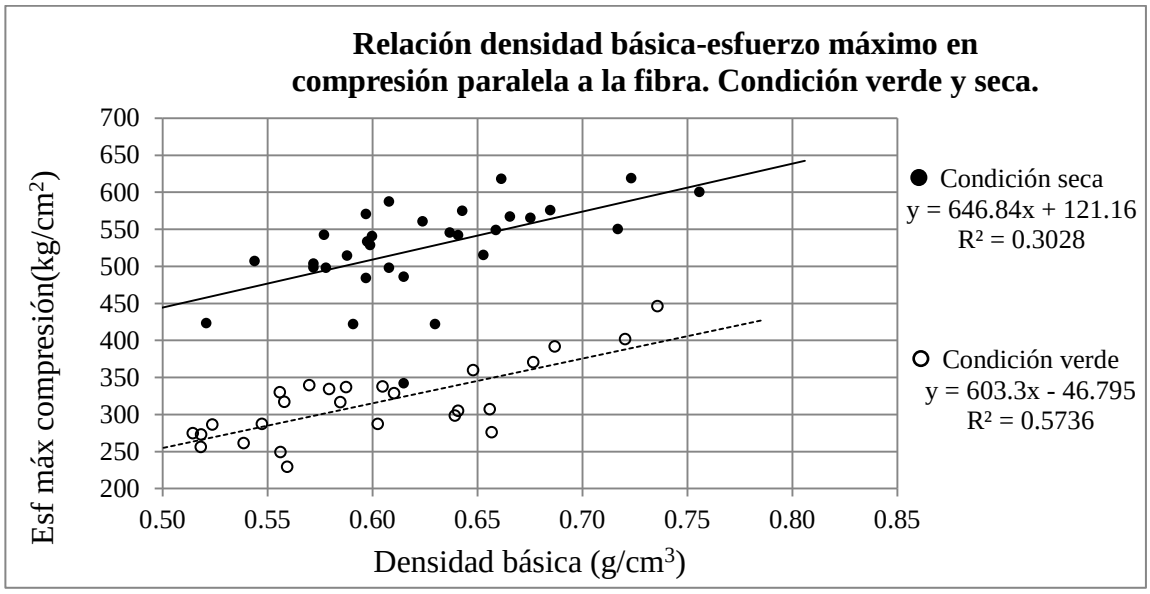

Figura 4. Relación densidad básica (*Db*) y esfuerzo máximo en compresión ($fc_{máx}$), en condiciones verde y seca de *G. aculeata* de Hueytamalco, Pue.

La diferencia de la resistencia ($fc_{máx}$) en condición seca con respecto a la obtenida en verde es de 69 %. Así mismo, en la Figura 4 se observa la relación directa entre el incremento de la densidad básica y la resistencia máxima en compresión en las dos condiciones de humedad.

Los valores del módulo de elasticidad en compresión (*Ec*) no presentaron diferencias significativas entre las tres secciones del culmo en condición seca; en verde existen estas diferencias entre la sección superior y las otras dos secciones. El *Ec* obtenido en seco es similar a los resultados de presentados para *G. angustifolia*, 181 186 kg/cm^2 y con otros estudios de *G. angustifolia* f. atlántica y *G. angustifolia* f. sur con promedios de 192 191 y 176 104 kg/cm^2 (Sotela, 1992; Takeuchi y González, 2007).

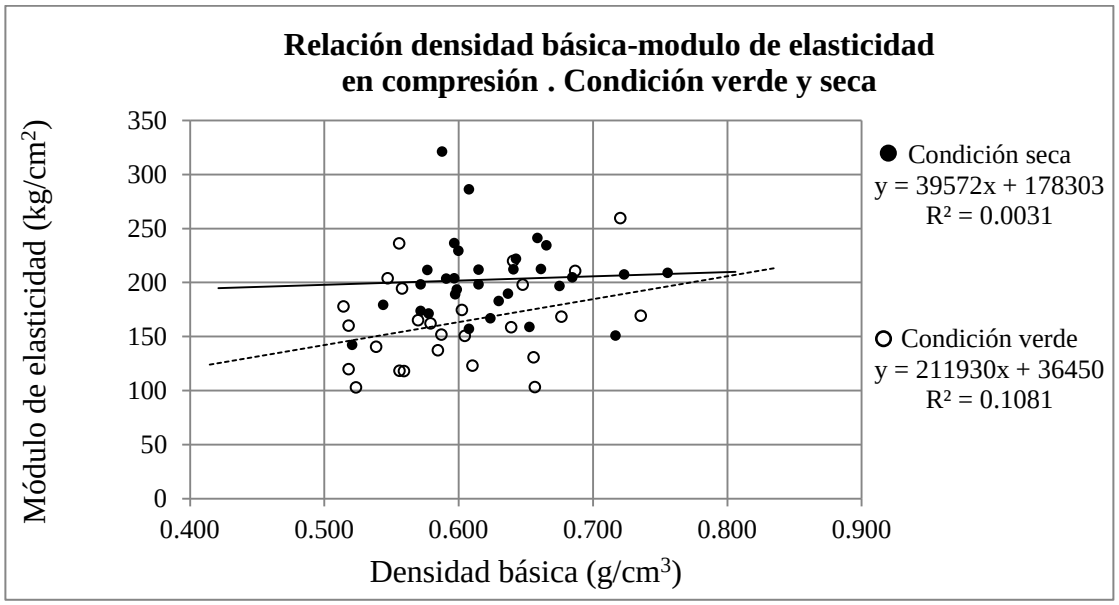

Figura 5. Relación densidad básica (*Db*) y módulo de elasticidad en compresión (*Ec*), en condiciones verde y seca de *G. aculeata* de Hueytamalco, Pue.

En la figura 5 se observa la diferencia entre los valores de módulo de elasticidad (*Ec*) entre las dos condiciones de humedad, 26 % más alto en seco; así mismo, se observa que el valor de *Ec* va siendo más alto conforme se incrementa la densidad básica.

En la tabla 4 se presentan los resultados del ensayo de flexión en las dos condiciones de humedad, módulos de ruptura (*MOR*) y de elasticidad (*MOE*). El valor de MOR en condición verde resultó mayor en la sección superior siendo estadísticamente diferente de lo obtenido en la parte media e inferior, el comportamiento difiere de lo publicado para *B. vulgaris* y *B. blumeana* cuyos promedios disminuyen de la base hacia el ápice.

Tabla 4. Módulo de ruptura (MOR) y módulo de elasticidad (*MOE*) en flexión estática, en condiciones verde y seca de G*. aculeata* de Hueytamalco, Pue.

Propiedad (kg/cm^2)	Sección del culmo			Promedio
	Inferior	Media	Superior	
MOR en verde	628 B	529 B	708 A	622
S	110	132	97	
Db	0.55	0.56	0.65	
MOR en seco	812 A	640 B	747A	733
S	200	118	142	
Db	0.60	0.60	0.66	
MOE en verde	170 193 B	154 000 B	189 282 B	171 158

S	43 570	50 394	40 013	
Db	0.55	0.56	0.65	
MOE en seco	216 873 A	211 855 A	245 955 A	224 894
S	49 971	64 646	53 884	
Db	0.60	0.60	0.66	

Los promedios con letras iguales no presentan diferencia significativa entre ellas con un nivel de significancia del 5 %.

La media del esfuerzo máximo de resistencia en flexión (*MOR*) en verde es menor a lo obtenido para *B. vulgaris,* 873.5 kg/cm^2 y mayor a lo encontrado para *B. blumeana* y *G. levis*, con 327.3 y 241.7 kg/cm^2, respectivamente (Espiloy, 1985; Valero *et al*., 2005). Las probetas secas presentaron las mayores resistencias en los extremos, presentaron diferencias significativas con la sección media, lo que contrasta con lo encontrado para *B. vulgaris* y *G. levis* cuya resistencia disminuye de la base hacia el ápice para la primera especie y viceversa en la segunda. (Valero *et al*., 2005; Nordahlia *et al*., 2012). El MOR promedio obtenido en seco, resultó inferior a los encontrados para *D. asper* (1370-1525 kg/cm^2), *B. vulgaris* (873 kg/cm^2), *G. angustifolia* (1235 kg/cm^2), *G. levis* (1581 kg/cm^2), y superior a los valores para *Chusquea culeou* (631.2 kg/cm^2) (Surjokusumo y Nugroho, 1995; Valero *et al*., 2005; Osorio *et al*., 2007; Poblete *et al*., 2009; Nordahlia *et al*., 2012).

En ambas condiciones de humedad se muestra la relación directa entre el incremento de la resistencia máxima en flexión (*MOR*) conforme aumenta la densidad básica del bambú (Figura 5).

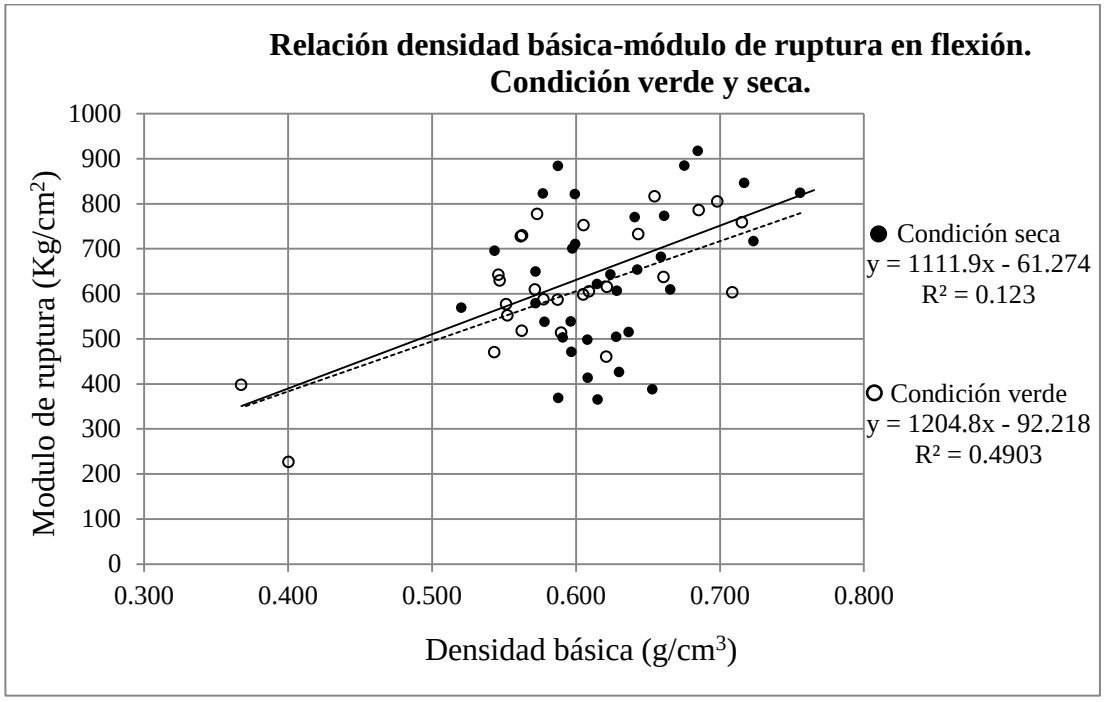

Figura 6. Relación de la densidad básica (*Db*) y módulo de ruptura en flexión estática (*MOR*), en condiciones verde y seca de *G. aculeata* de Hueytamalco, Pue.

Los valores promedio de modulo de elasticidad (*MOE*) no presentaron diferencias significativas entre las tres secciones en ambas condiciones de humedad. Sin embargo, las secas son las que presentaron mayor valor y difieren estadísticamente de los valores en verde (Tabla 4 y Figura 6). El valor de MOE en verde obtenido para *G. aculeata* duplicó los presentados por *B. blumeana* y *G. levis* tanto en cada sección como en el promedio del culmo completo. Los resultados de *MOE* en seco fueron más altos que los

encontrados para *D. asper* (120 900-216 281 kg/cm^2), *C. culeou* (67 688-74 704 kg/cm^2) y que *G. levis* (127 321 kg/cm^2) (Subyacto, 1995; Surjokusumo y Nugroho, 1995; Poblete *et al*., 2009; Nordahlia *et al*., 2012). En contraste, los encontrados por Sotela (1992) para *G. angustifolia* (227 689-2367 43 kg/cm^2) son mayores a *G. aculeata*. El valor de la rigidez (*MOE*) de los culmos de *G. aculeata* se incrementa conforme la densidad básica va siendo más alta (figura 7).

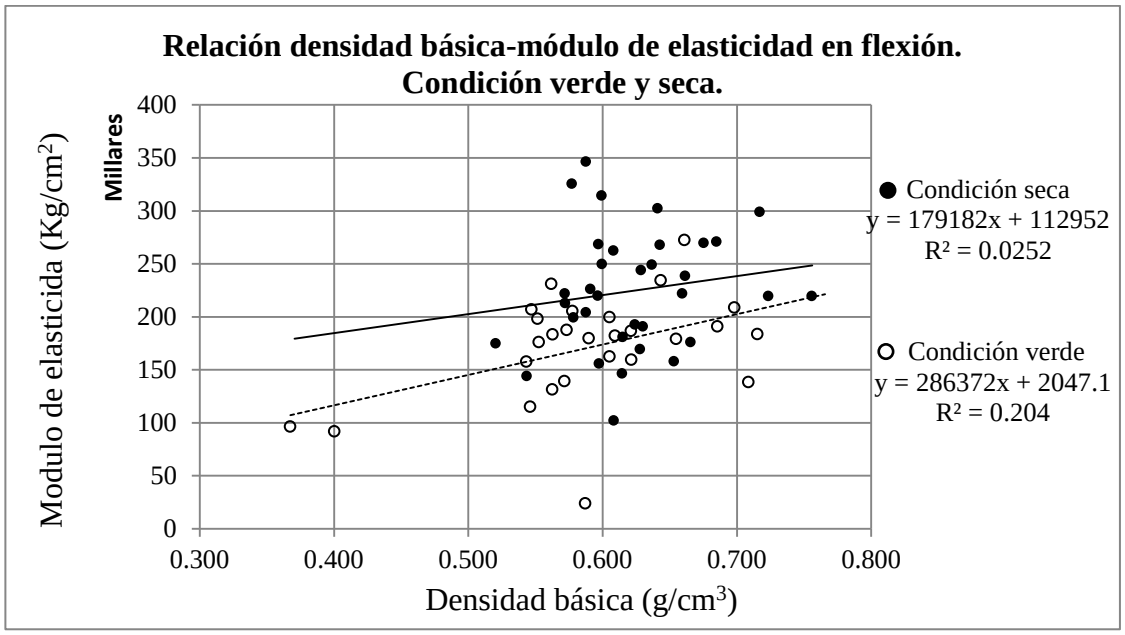

Figura 7. Relación densidad básica (*Db*) y módulo de elasticidad en flexión estática (*MOE*), en condiciones verde y seca de *G. aculeata* de Hueytamalco, Pue.

En la tabla Tabla 5 se presentan los valores de esfuerzo máximo ($ft_{máx}$) y módulo de elasticidad (*Et*) en tensión paralela a la fibra, con probetas con nudo en condición seca. La resistencia promedio en tensión ($ft_{máx}$) resultó mayor en la

parte media del culmo, siendo significativamente diferente a los valores obtenidos en los extremos. Este comportamiento es similar a los encontrados para *G. angustifolia* estudiada por González *et al*. (2006). Los valores promedio de modulo de elasticidad (*Et*) fueron más altos en la zona media, sin embargo no se registraron diferencias significativas con las otras secciones.

Tabla 5. Esfuerzo máximo ($ft_{máx}$) y módulo de elasticidad en tensión (*Et*) paralela a la fibra, en condición seca de *G. aculeata* de Hueytamalco, Pue.

Propiedad (kg/cm^2)	Sección del culmo			Promedio
	Inferior	Media	Superior	
$ft_{máx}$ en seco	596 B	940 A	576 B	704
S	126	288	77	
Db	0.59	0.56	0.62	
Et en seco	83 784 A	100 430 A	85 852 A	90 022
S	14 509	36 125	22 151	
Db	0.59	0.56	0.62	

Los promedios con letras iguales presentan diferencia no significativa entre ellas con un nivel de significancia del 5 %.

Los valores obtenidos difieren de los encontrados para *G. angustifolia* y *B. vulgaris* para la cuales las resistencias más altas fueron en la base del culmo. Los valores promedio que presentó *G. aculeata* fueron mayores que los obtenidos para *B. vulgaris*, 157-420 kg/cm^2, y menores que los de *G.*

angustifolia y *D. asper* que resisten entre 851 y 1946 kg/cm^2 y entre 1408 y 2246 kg/cm^2, respectivamente (Surjokusumo y Nugroho, 1995; Ciro *et al*., 2005; Osorio *et al*., 2007; Omobowale y Ogedengbe, 2008).

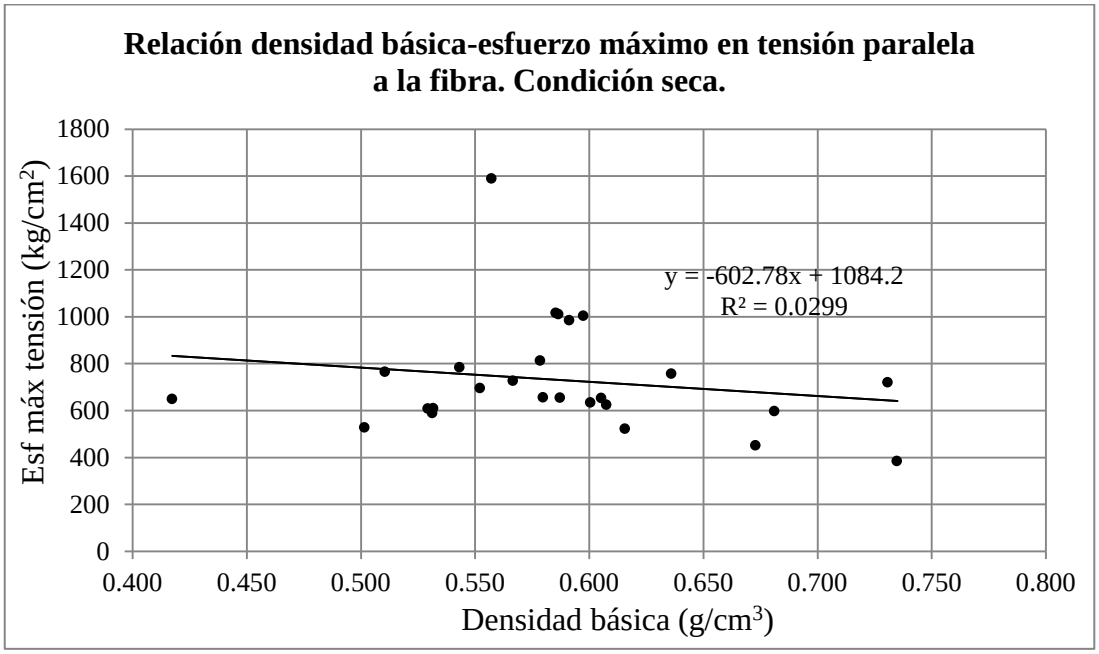

Figura 8. Relación densidad básica (*Db*) y esfuerzo máximo en tensión paralela a la fibra ($ft_{máx}$), en condición seca de *G. aculeata* de Hueytamalco, Pue.

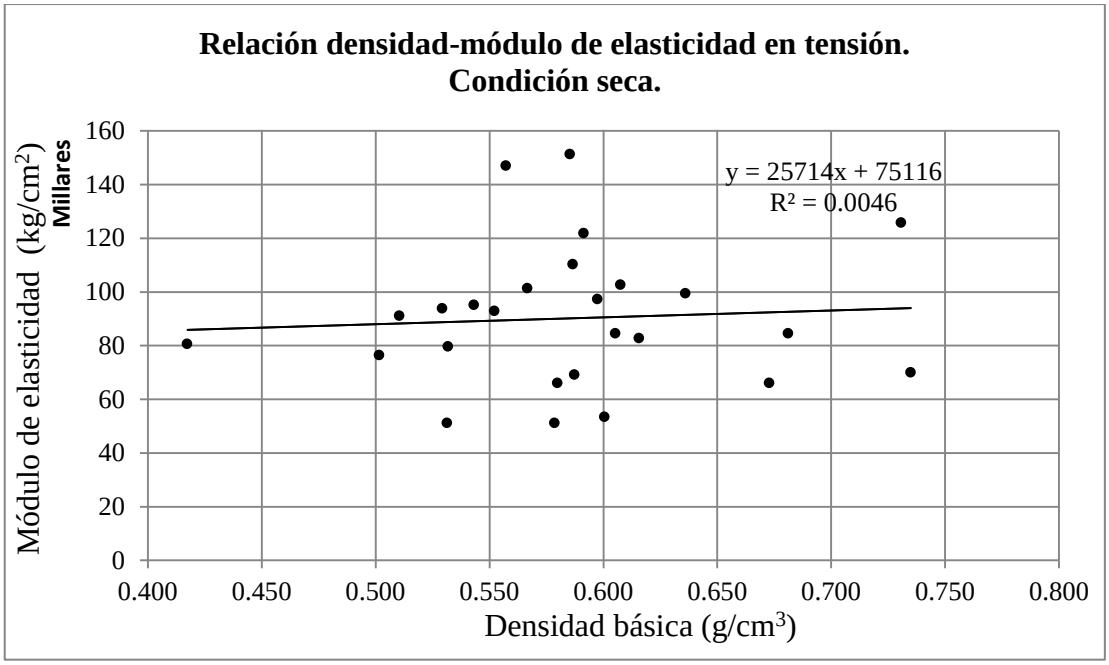

Figura 9. Relación densidad básica (*Db*) y módulo de elasticidad en tensión paralela a la fibra (*Et*), en condición seca de *G. aculeata* de Hueytamalco, Pue.

Las figuras 8 y 9 muestran la relación entre la densidad básica y la resistencia y la rigidez en tensión paralela, siendo inversa para la primera y directa para la segunda.

3.5 Conclusiones

Los valores de densidad básica se incrementan de la base hacia el ápice del culmo, la sección superior presentó diferencias significativas con las otras secciones.

Las contracciones en el espesor (*Ce*) del culmo presentaron el porcentaje más alto, diametralmente (*Cd*) fueron las segundas en magnitud y para las longitudinales (*Cl*) se registró el porcentaje más pequeño. Las diferencias encontradas entre los valores de los tres tipos de contracciones entre las diferentes alturas del culmo fueron no significativas.

Los resultados de resistencia en cortante ($fv_{máx}$) muestran un incremento de la sección inferior y media hacia la superior del culmo, en condición verde. Los especímenes en seco con nudo y sin nudo no presentan diferencias significativas entre sus tres secciones. Las probetas en seco y sin nudo fueron las que presentaron los mayores valores de esta propiedad.

Los valores de esfuerzo máximo en compresión paralela a la fibra ($fc_{máx}$) mostraron un incremento de la sección inferior y media al extremo superior, se registraron diferencias significativas entre la sección superior y las otras dos secciones en ambas condiciones de humedad. Los resultados de módulo de elasticidad (*Ec*) en verde tuvo el mismo comportamiento que el esfuerzo máximo, mostrando diferencias significativas entre los extremos superior y las otras dos secciones. El *Ec* en seco es mayor que en estado verde y no presentan diferencias significativas entre sus tres secciones.

El valor más alto del esfuerzo máximo en flexión estática (MOR) en verde, se obtuvo en la sección superior del culmo, difiere significativamente de las otras dos secciones. En condición seca el valor de MOR más bajo se obtuvo para los

especímenes de la sección media y difiere de manera significativa de los extremos. El módulo de elasticidad en flexión (MOE) mayor lo presentaron las probetas secas, difieren significativamente de las verdes. En ambas condiciones de humedad sus tres secciones no presentan diferencias significativas entre ellas.

Los promedios obtenidos de esfuerzo máximo ($ft_{máx}$) y módulo de elasticidad (*Et*) en tensión paralela a la fibra fueron más altos en la parte media del culmo, sólo se presentaron diferencias significativas entre las zonas media y extremos del culmo en esfuerzo máximo a tensión ($ft_{máx}$).

3.6 Bibliografía

Abd. Latif, M., Jamaludin, K. and Mohd. Hamani, S. 1995. Chemical constituents and physical properties of *Bambusa heterostachya*. Proceedings of the Vth International Bamboo Workshop and the IV International Bamboo Congress. Indonesia. Pp 225-238.

Bahari, S. A. and Ahmad, M. 2009. Effects of culm height levels and node presence on mechanical properties and fracture modes of *Gigantochloa scortechinii* strips loaded in shear parallel to grain. Bamboo Science and Culture: The Journal of the American Bamboo Society 22(1): 41-44

Ciro V., H. J.; Osorio S., J. A. y Vélez R., J. M. 2005. Determinación de la resistencia mecánica a tensión y cizalladura de la *Guadua angustifolia* Kunth. Facultad Nacional de Agronomía (Colombia) 58(1): 2709-2715

Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2006. El Bambú: tan fuerte como el acero. Revista electrónica de la Comisión Nacional Forestal. Disponible en: http://www.mexicoforestal.gob.mx/hemeroteca/etapa-2/numero-43. Consultada el 15/12/2010.

Cortés R, G. R. 2005. Viviendas de bambú en México. Revista electrónica Bio bambú. Disponible en: http://www.bambumex.org/paginas/VIVIENDA.pdf. Consultada el 20/11/2010.

Cortés R., G. R. 2006. El Bambú en México: la gente, la planta y el ambiente. Revista electrónica Bio bambú. Disponible en: http://www.bambumex.org/paginas/Gente%20Planta%20y%20Ambiente.pdf. Consultada el 20/11/2010.

Espiloy, Z. B. 1985. Physico-mechanical properties and anatomical relationships of some Philippine bamboos. International Bamboo Workshop. China. Pp 257-264.

González B., H. A; Montoya, J. A. y Rubiel B., J. 2006. Esfuerzo de tensión y la influencia de la humedad relativa del ambiente y la altura a lo largo del tramo en

la especie de bambú *Guadua angustifolia* Kunth. Scientia Et Technica 12 (32): 445-450

ISO/TR 22157-2. 2004a. Bamboo—Determination of physical and mechanical properties —Part 2: Laboratory manual. International Organization for Standardization. Switzerland. First edition. 23 p.

ISO 22157-1. 2004b. Bamboo—Determination of physical and mechanical properties —Part 1: Requirements. International Organization for Standardization. Switzerland. 23 p.

Liese, W. 1998. The Anatomy of Bamboo Culms. INBAR Technical Report N° 18. International Network for Bamboo and Rattan, Beijing. 204 pp.

Londoño, X. 2006. Aspectos generales de los bambúes americanos. Revista electrónica Bio bambú. Disponible en: *http://www.bambumex.org/paginas/ASPECTOS%20GENERALES.pdf.* Consultada el 10/09/2011.

Nordahlia, A. S. ; Anwar, U. M. K.; Hamdan, H.; Zaidon, A.; Paridah, M. T. and Abd Razak, O. 2012. Effects of age and height on selected properties of malasyan bamboo (*Gigantochloa levis*). Journal of Tropical Forest Science 24(1):102-109

Omobowale, M. O. and Ogedengbe, K. 2008. Trends and fiber characteristics of Nigerian grown bamboo and its effect in its impact and tensile strengths. Bamboo Science and Culture: The Journal of the American Bamboo Society 21(1): 9-13

Ordóñez C., V. R. 1999. Perspectivas del bambú para la construcción en México. Madera y Bosques. 5(1):3-12

Osorio, J. A.; Vélez, J. M. y Ciro, H. J. 2007. Estructura interna de la guadua y su incidencia en las propiedades mecánicas. DYNA 74(153):81-94

Osorio S., J. A.; Ciro V., H. C y Vélez, J. M. 2005. Efectos de algunos parámetros físicos y geométricos en la resistencia de diseño a flexión de la *Guadua angustifolia* Kunth. Dyna 72(145):37-44

Poblete, H.; Cuevas, H. y Díaz-Vaz, J. E. 2009. Property characterization of *Chusquea culeou* a growing in Chile. Madera: Ciencia y Tecnología 11(2):129-138

Sotela M., J. 1992. El bambú: una alternativa de uso en construcción de vivienda. Ingeniería (Costa Rica) 2(1):87-94

Subyakto. 1995. Variation in specific gravity and bending properties of *Dendrocalamus asper* culm grown in Bogor. Proceedings of the Vth International Bamboo Workshop and the IV International Bamboo Congress. Pp 185-192.

Surjokusumo, S. and Nugroho, N. 1995. A study on *Dendrocalamus asper* as concrete reinforcement. Proceedings of the Vth International Bamboo Workshop and the IV International Bamboo Congress. Indonesia. Pp 92-98

Takeuchi T., C. P. y González, C. E. 2007. Resistencia a la compresión paralela a la fibra de la *Guadua angustifolia* y determinación del módulo de elasticidad. Ingeniería y Universidad 11(001):89-103

Ugarte, J. y Habusta, M. 2011. Bambú el milagro vegetal. Instituto de Arquitectura Tropical. Costa Rica. 45 p.

Valero, S. W.; Reyes, E. y Contreras W. 2005. Estudio de las propiedades mecánicas del bambú (*Bambusa vulgaris*), de tres años de edad y proveniente de las plantaciones ubicadas en la ribera de la margen derecha del rio Chama, municipio Francisco Javier Pulgar, estado Zulia, Venezuela. Revista Forestal Latinoamericana 37:87-107

4. DISCUSIÓN GENERAL

El parénquima son las elementos anatómicos que ocupan la mayor proporción del culmo de *G. aculeata*, seguido de las fibras y finalmente el tejido conductivo. Sin embargo la densidad básica es alta, esto se justifica por las paredes gruesas de las fibras que aunado con la estructura polilaminar la hacen una especie dura y resistente a esfuerzos mecánicos (Osorio *et al.*, 2007; Qisheng *et al*., 2003). Por otra parte, no existen células en sentido radial, esto favorece a la baja resistencia a esfuerzos cortantes, características convenientes para usos en donde se requiere rajar los culmos (Liese, 1985; Liese, 1998; Qisheng *et al*., 2003).

Los haces vasculares, del interior al exterior de culmo disminuyen en tamaño e incrementan en abundancia. El interior de la pared del culmo presentan mayor cantidad de parénquima y menos fibra, esto hace que la parte interna sea menos dura que la periferia (Ugarte y Habusta, 2011; Liese, 1985; Liese, 1998). Esto afecta las técnicas para obtener cortes histológicos, se produce un desmenuzamiento de los cortes en la parte interior y enrollamiento en el exterior del culmo al final del paso de la cuchilla. Este comportamiento de la dureza es un factor a considerarse en la elaboración de pisos, es decir, utilizar la parte del culmo más externa.

Las diferencias en la densidad básica en dirección transversal provocan altos porcentajes de contracciones en el espesor del culmo (13,9 %), el diámetro se

contrae 50 % menos que el espesor y en longitud la contracción es menor al 1 %. Las contracciones se encuentran en los valores máximos reportados para la generalidad de los bambúes (Hidalgo, 2003). Esto influye directamente en secado, proceso necesario para mejorar la estabilidad dimensional antes de elaborar un determinado producto (Liese, 1998; Ugarte y Habusta, 2011).

La densidad básica de la parte inferior y media, del largo del culmo, no presentan diferencias significativas, estas secciones difieren de la parte superior, cuya densidad es la mayor del culmo, lo cual se justifica por el incremento de los haces vasculares, disminución de la cantidad de parénquima en esta misma dirección (Hidalgo, 2003; Liese, 1998; Osorio *et al*., 2007; Wahab *et al*., 2009).

Tanto la densidad básica como el contenido de humedad influyen en la resistencia de las propiedades mecánicas, esto se observó en todas las propiedades evaluadas (Hidalgo, 2003; Liese, 1985; Valero *et al*., 2005). Al comparar su comportamiento en estado verde y seco, existe un incremento de la resistencia en esta última condición de humedad, en algunos casos de hasta el 75 %.

La elaboración de papel requiere una relación de Runkel de menos de 0.25 a 2 para clasificarse como de excelente a regular, valor que indica que las fibras son largas de paredes delgadas, lejano de las características de la fibra de G. aculeata que presenta una relación de Runkel de 3.29. De acuerdo a esta

relación, la especie no es apta para su utilización en la elaboración de pulpa y papel. Sin embargo partiendo de la posibilidad de separación de las capas componentes de la pared de la fibra durante el proceso de pulpeo, permite que la especie sea una alternativa para éste uso (Qisheng *et al*., 2003).

5. CONCLUSIONES GENERALES

Las fibras de paredes gruesas hacen de *G. aculeata* hacen de ésta especie adecuada para la construcción. La separación de las capas de la pared en el proceso de pulpeo aunado a largo de fibras, permite su uso en la elaboración de papel.

La distribución de los elementos anatómicos tanto en dirección transversal como longitudinal genera una alta variabilidad de la densidad básica del culmo incrementando en mismo sentido del incremento de las fibras.

La heterogeneidad en la distribución y dimensiones de los haces vasculares resulta en altos valores de contracciones principalmente en el espesor y el diámetro.

El contenido de humedad influye sobre las propiedades físico-mecánicas del culmo. Los ensayos de material seco presentan mayores valores de resistencia.

6. LITERATURA CITADA

Hidalgo L., O. 2003. Bamboo: the gift of the gods. O. Hidalgo (Ed.) Bogotá, Colombia. 553 p.

Liese, W. 1985. Anatomy and properties of bamboo. International Bamboo Workshop. China. Pp 257-264.

Liese, W. 1998. The anatomy of bamboo culms. INBAR Technical Report N° 18. International Network for Bamboo and Rattan. Beijing. 204 pp.

Osorio, J. A., J. M. Vélez y H. J. Ciro. 2007. Estructura interna de la Guadua y su incidencia en las propiedades mecánicas. Dyna. 74(153): 81-84

Qisheng, Z., J. Shenxue y T. Yongyu. 2003. Industrial utilization on bamboo. INBAR Technical Report N° 26. International Network for Bamboo and Rattan. Beijing. 207 pp.

Ugarte, J. y M. Habusta. 2011. Bambú el milagro vegetal. Instituto de Arquitectura Tropical. Costa Rica. 45 p.

Valero, S. W., E. Reyes y W. Contreras. 2005. Estudio de las propiedades mecánicas del bambú (*Bambusa vulgaris*), de tres años de edad y proveniente de las plantaciones ubicadas en la ribera de la margen derecha del rio Chama,

municipio Francisco Javier Pulgar, estado Zulia, Venezuela. Revista Forestal Latinoamericana 37:87-107

Wahab, R., A. Mohamed, M. T. Mustafa y A. Hassan. 2009. Physical characteristics and anatomical properties of cultivated bamboo (*Bambusa vulgaris* Schrad) culms. Journal of biological sciences 9(7): 753-759