

# Resistencia a la compresión paralela a la fibra de una especie de bambú nativa de México (*Otatea fimbriata Soderstrom*)

*Resistance to Parallel Compression to the Fiber of a Native Bamboo Species from Mexico (Otatea fimbriata Soderstrom)*

Héctor D. Llaven-José  
dann.arq10@gmail.mx  
Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas

César Armando Guillén-Guillén  
cesar\_guillen@comunidad.unam.mx  
Universidad Nacional Autónoma de México

Gabriel Castañeda Nolasco  
gnolasco2@gmail.com  
Universidad Autónoma de Chiapas

Yann Barnet  
ybarnet@usmp.pe  
Universidad de San Martín de Porres, Perú

INVESTIGACIÓN

## Resumen

En la presente investigación se determinó el esfuerzo máximo a la compresión paralela de la fibra de una especie de bambú nativa de México (*Otatea fimbriata Soderstrom*), encontrada de forma silvestre en el municipio de Suchiapa, Chiapas, para su validación como material de construcción. Se ensayaron con muestras con nudo y sin nudo de la parte inferior, media y superior de los culmos, siguiendo los procedimientos de la NTC-5525:2007 "Métodos de ensayo para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la *Guadua Angustifolia Kunth*" y las normas ISO 22157-1: 2004 e ISO TR 22157-2: 2004. Los valores de resistencia máxima están dentro del rango reportado de otras especies de bambú (género *Guadua*). Los valores a compresión demuestran que la *Otatea fimbriata Soderstrom* es un material alternativo, natural, altamente renovable y con alto potencial para su uso en construcción.

**Palabras clave:** bambú, especie nativa, compresión, resistencia máxima

## Abstract

*In the present investigation the maximum parallel compression effort of the fiber of a species of bamboo native to Mexico (Otatea fimbriata Soderstrom) was determined, found in the wild in the municipality of Suchiapa, Chiapas, for its validation as a construction material. Samples were tested with and without knot of the lower, middle, and upper part of the culms, following the procedures of the NTC-5525: 2007 "Test methods to determine the physical and mechanical properties of the Guadua Angustifolia Kunth" and the ISO: 22157-1: 2004 and ISO TR 22157-2: 2004 standards. The maximum resistance values are within the reported range of other bamboo species*

Fecha de recepción: 09 de septiembre de 2019  
Fecha de aceptación: 27 de septiembre de 2019

DOI: 10.22201/fa.2007252Xp.2019.20.72348

(genus *Guadua*). The compression values show that the *Otatea fimbriata* Soderstrom is an alternative material, natural, highly renewable and with high potential for its use in construction.

**Keywords:** bamboo, native species, compression, maximum resistance

## Introducción

La búsqueda de materiales alternativos para su uso en la construcción encontró en el bambú un recurso natural con propiedades mecánicas sobresalientes, gran versatilidad y múltiples beneficios, tanto para el ambiente como para el hombre. Este grupo de plantas pertenece a la familia botánica de las gramíneas (*Poaceae*),<sup>1</sup> pero a diferencia de la gran mayoría de las especies de esta familia, son grandes y robustas.<sup>2</sup> A escala mundial se cuenta con más de 1,650 especies, entre las que se incluye 1,521 bambúes leñosos.<sup>3</sup>

En México existen un total de 52 especies leñosas; los estados con mayor diversidad de especies nativas son Chiapas, con 29 especies, seguido de Veracruz, con 25 y Oaxaca, con 20, de las cuales hay escasa información sobre sus propiedades mecánicas.<sup>4</sup> Estudios en otras especies de bambú han demostrado que sus propiedades mecánicas son de gran interés para el ámbito de la construcción, al grado que se le ha llegado a conocer como el “acero vegetal”,<sup>5</sup> asimismo, su origen natural, su abundancia y rápido crecimiento hacen de él un recurso óptimo para ser utilizado en la construcción sustentable. Sin embargo, existen especies en diferentes regiones que deben ser aún caracterizadas para generar las bases de información sobre los bambúes nativos de México y con ello validar su aplicación útil. Tal es el caso de *Otatea fimbriata* Soderstrom, especie nativa con evidencias de empleo en la composición de la vivienda tradicional en la región de Suchiapa, Chiapas, México, y

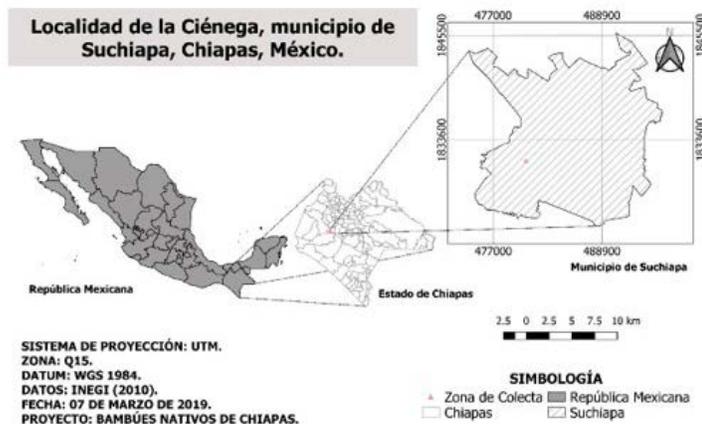
- 1 Instituto Nacional de Ecología (Inecol), “Usos del bambú”, 2013, consultado el 6 de marzo de 2018, <http://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/bienesmuebles-inmuebles/17-ciencia-hoy/137-usos-del-bambu>.
- 2 Gilberto Cortés Rodríguez, “Los bambúes nativos de México”, *Conabio, Biodiversitas* 30: 12-15, consultado en marzo de 2018, <http://www.biodiversidad.gob.mx/Biodiversitas/Articulos/biodiv30art3.pdf>.
- 3 Maria Vorontsova, Lynn G. Clark, John Dransfield, Rafael Herman Anna Govaerts y William Baker, *World Checklist of Bamboos and Rattans*. (Beijing, China: International Network of Bamboo and Rattan, 2016).
- 4 Eduardo Ruiz-Sanchez, Lynn G. Clark, Ximena Londoño, Teresa Saulés y Gilberto Cortés, “Morphological keys to the genera and species of bamboos (*Poaceae: Bambusoideae*) of Mexico”, *Phytotaxa* 236(1)(2015): 1-24, <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.236.1.1>; Teresa Mejía-Saulés, “Colección Nacional de Bambúes Nativos de México: Su contribución al conocimiento científico y tecnológico”, *1er. Congreso bambú. Conocimiento, aplicaciones y oportunidades del bambú*, 7, consultado en marzo de 2018, <https://1ercongresobambu.files.wordpress.com/2017/02/teresa-mejc3ada-coleccc3b3n-nacional-de-bambc3baes-nativos-de-mc3a9xico.pdf>; Eduardo Ruiz-Sanchez y Lynn G. Clark, “Are there Wild Bamboos in Mexico?”, *Frontiers for Young Minds* 6(1) (2018), <https://doi.org/10.3389/frym.2018.00001>.
- 5 Gerardo J. Arista-González, Alma María Cataño-Barrera y Jesús R. Ortiz-Ramírez, “Exploración de nuevas especies de bambú y su aplicación en el campo de la construcción”, *Memorias de las Asambleas Nacionales 2014*, 9.

que se relaciona con los usos de esta especie en el ámbito nacional circunscritos a categorías como la cestería, la construcción rústica, la construcción de viviendas, el forraje y la fabricación de herramienta de trabajo, muebles y objetos personales.<sup>6</sup>

Sin embargo, en la actualidad su utilización se encuentra estrictamente limitado por parámetros empíricos, de modo que llega a ser un recurso desvalorado y en decadencia por el desconocimiento de sus propiedades mecánicas, con incidencia en su aprovechamiento tecnológico. El conocimiento de las propiedades mecánicas de la especie puede hacer que ésta se aproveche en construcciones permanentes con mejores diseños arquitectónicos y criterios constructivos, las cuales empleen un material local altamente renovable. Por ello, la actual investigación tiene como premisa generar datos que proporcionen información sobre una especie de bambú nativo de México (*Otatea fimbriata Soderstrom*) para su empleo en el desarrollo tecnológico de viviendas alternativas con criterios sustentables.

## Metodología

La colecta de culmos de *Otatea fimbriata Soderstrom* se realizó en la localidad de la Ciénega, ubicada en las coordenadas geográficas 16°33'47.7" latitud Norte y 93°10'54.9 longitud Oeste, a una altitud de 1,003 m s.n.m., en el municipio de Suchiapa, Chiapas, México. La región cuenta con un clima cálido subhúmedo y lluvias en verano y tiene asociaciones vegetales de selva baja caducifolia y bosque de encino.<sup>7</sup>



Localización de la zona de colecta. Fuente: Elaboración propia, 2019

6 Marina Rodríguez, Leopoldo Galicia, Wilber Sánchez, Leticia Gómez, Alba Zarco y Eliane Cecon, "Usos actuales, distribución potencial y etnolingüística del bambú leñoso en México", en María Lelia Pochettino, Ana H. Ladio y Patricia M. Arenas (eds.), *Tradiciones y transformaciones en Etnobotánica*: 355-363. (Argentina: CYTED - Programa Iberoamericano Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, 2010).

7 Inafed, "Chiapas-Suchiapa", Enciclopedia de los Municipios y delegaciones de México, 2010, consultado el 22 de abril de 2018, <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM07chiapas/municipios/07086a.html>; INEGI, "Principales resultados por localidad, 2010" (ITER), consultado en abril de 2018, <https://www.naturalista.mx/places/wikipedia/Suchiapa#Clima>; CEIEG, "Perfiles 2015", Perfiles municipales, consultado el 21 de abril de 2018, <http://www.ceieg.chiapas.gob.mx/perfiles/Inicio>.

### Características del material

Las muestras para el ensayo de compresión paralela de la fibra se obtuvieron siguiendo las indicaciones de la norma técnica colombiana NTC-5525:2007 y las normas ISO 22157-1: 2004 e ISO TR 22157-2: 2004, las cuales consideran los siguientes requerimientos para su correcta evaluación.

- Secciones de colecta. Los culmos se recolectaron de una población de *O. fimbriata* que crece de forma silvestre. Se consideró su máxima altura despreciando la parte superior (varillón), la cual se caracteriza por presentar un diámetro inferior a 1 cm. Cada tallo se identificó con un número consecutivo y se les dejó secar por un periodo de tres meses, protegidos de la acción directa e indirecta de la lluvia y el sol.<sup>8</sup>
- Preparación de muestras. Una vez seco el material, se realizaron mediciones para determinar las longitudes aprovechables.

Posteriormente, cada culmo se dividió en tres porciones iguales, identificadas como: parte inferior (I), media (M) y superior (S).

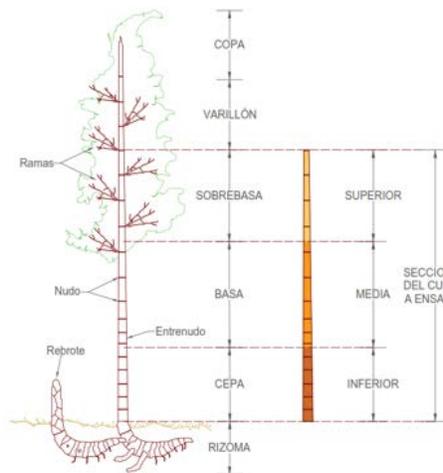
Los ejemplares se transportaron a las instalaciones del Laboratorio de Materiales y Sistemas Estructurales (LMSE) de la Facultad de Arquitectura de la UNAM, donde se prepararon las probetas correspondientes al ensayo siguiendo los requerimientos de la norma. Se obtuvo un total de 72 probetas, distribuidas conforme a lo señalado en la siguiente tabla.

Número de probetas para el ensayo de compresión paralela de la fibra de <i>O. fimbriata</i>					
Tipo de prueba	Características de las probetas	No. de probetas a ensayar			Totales
		I	M	S	
Propiedades físicas					
Humedad	Probetas de ensayo a compresión	24	24	24	-
Densidad	Probetas de ensayo a compresión	24	24	24	-
Propiedad mecánica					
Con nudo	Longitud igual a dos veces su diámetro, tomadas de la parte inferior, media y superior	12	12	12	36
Sin nudo		12	12	12	36
				Total =	72

Fuente: Elaboración propia, 2019

<sup>8</sup> Ver: Víctor Rubén Ordóñez y Guadalupe Martha Bárcenas, "Propiedades físicas y mecánicas de tres especies de guaduas mexicanas (*Guadua aculeata*, *Guadua amplexifolia* y *Guadua velutina*)", *Madera y Bosques* 20(2): 111-125.

Partes del culmo de *Otatea fimbriata* Soderstrom. Fuente: Elaboración propia, 2019



Para el ensayo de compresión paralela de la fibra se determinó la densidad básica de las probetas, la cual es el producto de la relación de su peso anhidro (secado al horno) entre su volumen verde (después del ensayo mecánico); de igual forma, se registró el contenido de humedad al momento del ensayo.

### Equipo

Para el ensayo se empleó la máquina de prueba a compresión Instron modelo 400RD-E1-H2, con capacidad de 80 toneladas, equipada con un software que proporciona algoritmos para obtener los resultados y gráficas de esfuerzo-deformación.

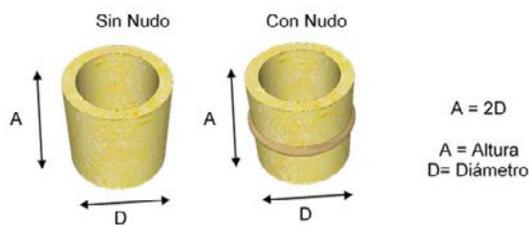
Para pesar las muestras se utilizó una balanza analítica EN-TRIS822-1S, con exactitud de 0.01 g, un horno eléctrico a 103 °C ± 2 °C para el secado del material y un vernier con exactitud de 0.01 mm (Mitutoyo) para realizar las mediciones.



Equipo para los ensayos a compresión: Instron modelo 400RD-E1-H2, capacidad 80 Ton., equipo con el software incorporado y una cabina. Fuente: Elaboración propia, 2019

### Procedimiento del ensayo

De acuerdo con la norma, las probetas deben ser extraídas de la parte inferior, media y superior de los culmos. Los cortes se realizaron mediante una sierra ingletadora que garantizó el corte plano y perpendicular al eje transversal de la probeta con una desviación máxima de 0.2 mm. La altura de las probetas fue de dos veces su diámetro. Se tomaron los datos correspondientes a su geometría en cuatro puntos sobre ejes ortogonales de la sección (diámetros y espesores de pared) para obtener el área de la sección transversal como una corona circular. Se aplicó una carga a una velocidad constante sobre la dirección longitudinal de la probeta. Asimismo, se registró la carga máxima a la falla ( $F_{ult}$ ) y la gráfica de carga-deformación.<sup>9</sup> Se calculó el esfuerzo máximo ( $\sigma_{ult}$ ) mediante la ecuación Ec. 1.



Dimensiones de la probeta en ensayos a compresión. Fuente: Elaboración propia, 2019

Ec. 1

$$\sigma_{ult} = F_{ult}/A$$

En donde:

$\sigma_{ult}$  = Esfuerzo máximo a la compresión, en MPa (o N/mm<sup>2</sup>).

$F_{ult}$  = Carga máxima a la cual falla la probeta, en N

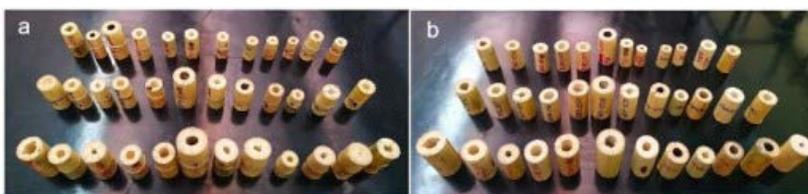
$A$  = Área de la sección transversal, en mm<sup>2</sup>

Ecuación 1

Por cada una de las variables evaluadas se determinaron estadísticos descriptivos;<sup>10</sup> mediante el criterio de Chauvenet se precisaron y eliminaron los datos atípicos (*outliers*), para posteriormente realizar pruebas de normalidad mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov-Lilliefors. Las comparaciones múltiples de medias se realizaron a través de pruebas Duncan, con un nivel de significancia de 5% para los resultados de los ensayos. Con el fin de conocer el grado de dispersión de los

<sup>9</sup> Ver: V. R. Ordóñez y G. M. Bárcenas, "Propiedades físicas y mecánicas de tres especies..."

<sup>10</sup> Ver: Juan Martín Maya Echeverry, Juan Carlos Camargo García y Oscar Marino Mosquera, "Characteristics of Guadua Culms according to Site and Stage of Maturity", *Colombia Forestal* 20(2): 180-190, <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2017.2.a06>



Probetas para ensayos a compresión: a) con nudo, b) sin nudo. Fuente: Elaboración propia, 2019

resultados se presentan los valores de desviación estándar (S).<sup>11</sup> Todos los análisis se realizaron con el software R 3.3.2.<sup>12</sup>

### Resultados

Los valores de resistencia máxima en compresión paralela de la fibra de la especie *O. fimbriata* muestran una marcada tendencia que se incrementa conforme a su altura en los especímenes con nudo, pasando de 40.42 MPa a 47.45 Mpa. En los ejemplares sin nudo, los valores se incrementan, de tal forma que en la parte media se presenta el valor más alto, pasando de 42.48 Mpa (I) a 49.60 Mpa (M) y a 45.7 Mpa (S), tal como se aprecia en la siguiente tabla y gráfica.

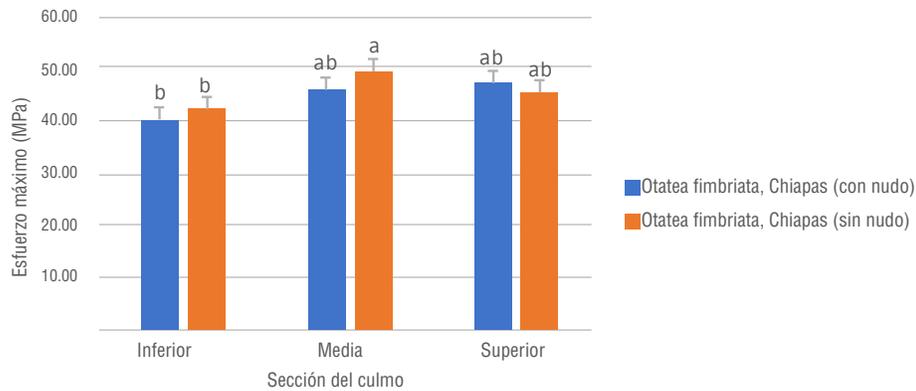
Esfuerzo máximo ( $\sigma_{ult}$ , MPa) en compresión paralela de la fibra, en condición seca, con nudo y sin nudo, de <i>O. fimbriata</i> de Suchiapa, Chiapas.						
Estadístico	Sección del culmo					
	Inferior		Media		Superior	
	Con nudo	Sin nudo	Con nudo	Sin nudo	Con nudo	Sin nudo
Media	40.42 <sup>b</sup>	42.48 <sup>b</sup>	46.25 <sup>ab</sup>	49.60 <sup>a</sup>	47.45 <sup>ab</sup>	45.47 <sup>ab</sup>
Desviación estándar	9.64	10.04	3.78	5.96	10.01	6.74
Coficiente de variación %	23.86	23.63	8.17	12.02	21.10	14.82
Humedad %	9.84	8.76	9.13	9.01	10.11	8.11
Densidad básica	783.14	617.75	1,119.79	880.75	824.38	1,177.73

Letras distintas sobre los valores promedio presentan diferencias significativas ( $p < 0.05$ ).

Fuente: Elaboración propia, 2019

<sup>11</sup> Tal como indican Idalia Zaragoza, Víctor Rubén Ordóñez, Guadalupe Martha Bárcenas, Amparo Máxima Borja y Francisco José Zamudio, "Propiedades físico-mecánicas de una guadua mexicana (*Guadua aculeata*)", *Maderas. Ciencia y tecnología* 17(3): 505-516.

<sup>12</sup> R Core Team, "R: A Language and Environment for Statistical Computing", R Foundation for Statistical Computing (versión 3.5.1), 2018, consultado en abril de 2018, <https://www.R-project.org/>.



La densidad básica resultante promedio para los especímenes ensayados con nudo es de  $909.10 \text{ kg/m}^3$  y para los especímenes ensayados sin nudo es de  $892.08 \text{ kg/m}^3$ . Se presentó en los ensayos con nudo un valor mínimo de  $533.75 \text{ kg/m}^3$  y un máximo de  $1400.83 \text{ kg/m}^3$ ; en los ejemplares sin nudo se obtuvo un valor mínimo de  $630.83 \text{ kg/m}^3$  y un máximo de  $1260.83 \text{ kg/m}^3$ .

Comparación de la resistencia máxima promedio ( $\sigma_{ult, MPa}$ ), por sección de los culmos, en condición seca, con nudo y sin nudo, de *Otatea fimbriata*. Las líneas verticales sobre las barras representan el error estándar de la media; sobre las barras se indica en letras las diferencias significativas, mismas que, si son iguales (b, b o a, a), no hay diferencia significativa ( $p > 0.05$ ). Fuente: Elaboración propia, 2019

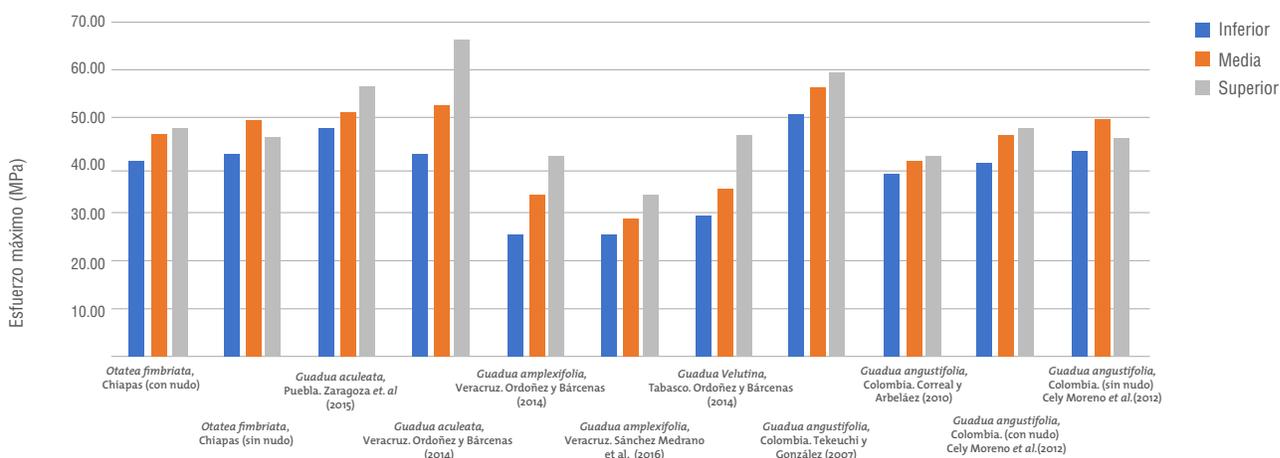
## Discusión

Los valores resultantes para *O. fimbriata* se asemejan, e incluso superan, los resultados en otras especies de bambú, principalmente atribuidas al género *Guadua*, como se puede observar en la siguiente tabla y gráfica, donde se resume y compara los esfuerzos últimos a compresión sobre *Guaduas* mexicanas (*G. aculeata*, *G. amplexifolia*, *G. velutina*, *G. paniculata*) y sobre la colombiana (*G. angustifolia*), ensayadas en seco y sin nudo. La especie evaluada (*O. fimbriata*) presenta valores superiores a las *G. amplexifolia*, *G. Velutina* y *G. paniculata*; desde la sección media a la alta se presentan valores ligeramente superiores a la *G. aculeata*.

**Esfuerzo máximo en especies de *Guadua* encontrados en la bibliografía, comparados con los valores encontrados para *O. fimbriata*.**

Especie	Lugar de procedencia	Sección del culmo			Fuente
		Inferior	Media	Superior	
<i>Guadua aculeata</i>	Puebla	47.9	50.9	56.6	Zaragoza et al. (2015)
<i>Guadua aculeata</i>	Veracruz	42.33	52.55	66.2	Ordóñez y Bárcenas (2014)
<i>Guadua amplexifolia</i>	Veracruz	25.1	33.6	41.8	Ordóñez y Bárcenas (2014)
<i>Guadua amplexifolia</i>	Veracruz	25.95	28.82	33.51	Sánchez Medrano et al. (2016)
<i>Guadua Velutina</i>	Tabasco	29.3	34.9	46.6	Ordóñez y Bárcenas (2014)
<i>Guadua paniculata</i>	Campeche	12.28			García et al. (2015)
<i>Guadua Angustifolia</i>	Chiapas	51.26			Guerrero-Correa et al. (2014)
<i>Guadua Angustifolia var. macana</i>	Colombia	50.63	56.42	59.70	Takeuchi y González (2007)
<i>Guadua Angustifolia</i>	Colombia	38.1	42.1	42.6	Correal y Arbeláez (2010)
<i>Guadua Angustifolia</i>	Colombia	36	39.8	43.6	(Con Nudo) Cely Moreno et al. (2012)
		33.3	43	42.2	(Sin Nudo) Cely Moreno et al. (2012)
<i>Otatea fimbriata</i>	Chiapas	40.42	46.25	47.45	(Con Nudo) Llaven et al. (2019)
		42.48	49.60	45.47	(Sin Nudo) Llaven et al. (2019)

Fuente: Elaboración propia, 2019



Comparación de la resistencia máxima ( $\sigma_{ult, MPa}$ ) promedio por sección de los culmos en compresión paralela de las fibras de *Otatea fimbriata* y otras *Guaduas* mexicanas y una colombiana encontradas en la bibliografía. Fuente: Elaboración propia con base en la investigación

Valores de densidad básica de <i>Otatea fimbriata</i> en comparación con otras especies consultadas en la bibliografía			
Especie	Dd, Mínima (kg/m <sup>3</sup> )	Db, Máxima (kg/m <sup>3</sup> )	Fuente
<i>Otatea fimbriata</i>	533.75	1400.83	(Con Nudo) Llaven et al. (2019)
	630.83	1260.83	(Sin Nudo) Llaven et al. (2019)
<i>Guadua angustifolia</i>	537.30	798.56	Aponte (2016)
<i>Guadua angustifolia</i>	250.63	805	Osorio y Espinosa (2012)
<i>Guadua aculeata</i>	370	920	Zaragoza et al. (2015)
<i>Guadua angustifolia</i>	620	900	Zaragoza et al. (2015)
<i>Dendrocalamus asper</i>	560	700	Zaragoza et al. (2015)
<i>Bambusa heterostachya</i>	390	580	Zaragoza et al. (2015)
<i>Bambusa vulgaris</i>	690	840	Zaragoza et al. (2015)
<i>Bambusa blumeana</i>	390	590	Zaragoza et al. (2015)
<i>Chusquea culeou</i>	550	690	Zaragoza et al. (2015)
<i>Gigantochloa levis</i>	470	800	Zaragoza et al. (2015)

Fuente: Elaboración propia, 2019

En la tabla se muestran los valores mínimos y máximos correspondientes a la densidad básica, reportados por otros autores para otras especies en comparación con los valores obtenidos para *Otatea fimbriata*.

Con respecto a la densidad básica en las probetas de ensayo a compresión paralela a la fibra, se observó que *O. fimbriata* tiene una densidad promedio muy alta en comparación con las *Guaduas* (*G. aculeata*, *G. angustifolia*) y otras especies. Esta variación tan amplia de la densidad básica entre las especies se explica por las características anatómicas del bambú,<sup>13</sup> aunado a la mayor heterogeneidad que hay en individuos provenientes de bosques naturales.

## Conclusiones

Los valores encontrados en la prueba de compresión paralela de la fibra de *O. fimbriata* Soderstrom se enmarcan en los parámetros de resistencia reportados para las *Guaduas* mexicanas (*G. aculeata*, *G. amplexifolia*, *G. velutina*, *G. paniculata*) y la *Guadua* colombiana (*G. angustifolia*). En general, los resultados encontrados en esta investigación confirman que la resistencia y densidad básica de los culmos se incrementan casi siempre de la parte inferior (cepa) a la parte superior (sobrebasa).<sup>14</sup>

13 I. Zaragoza, V. R. Ordóñez, G. M. Bárcenas, A. M. Borja y F. J. Zamudio, "Propiedades físico-mecánicas..."

14 L. A. Cely Moreno, W. G. Hernández Rojas y O. J. Gutiérrez Junco, "Caracterización de la *Guadua angustifolia* Kunth cultivada en Miraflores (Boyacá) de acuerdo con la NSR-10", *Revista Facultad de Ingeniería* 21(33): 53-71; H. J. V. Ciro, J. A. O. Saraz y J.

El valor promedio de resistencia a compresión paralela de la fibra en porciones con nudo fue de 44.71 Mpa y 45.85 Mpa para las porciones sin nudo. Por su parte, la densidad básica promedio de la porción con nudo fue de 909.10 kg/m<sup>3</sup> y de 892.08 kg/m<sup>3</sup> para la porción sin nudo. Estos resultados muestran las extraordinarias propiedades de la especie nativa *O. fimbriata Soderstrom*, las cuales la dotan de un alto potencial para ser empleada en diferentes componentes de la vivienda (muros y cubierta), y así mejorar las técnicas constructivas echando mano de un material local altamente renovable.

Por lo demás, el presente trabajo demuestra la importancia de generar más investigaciones respecto a ésta y otras especies que nacen de forma silvestre a lo largo del territorio mexicano, y así conformar bases de información sobre sus características tecnológicas para su mejor aprovechamiento.

### Contribuciones y agradecimientos

Héctor D. Llaven-José. Análisis y evaluación de características y aspectos constructivos de la especie de bambú nativa de Chiapas, México.

Gabriel Castañeda Nolasco. Análisis y evaluación de los resultados de los diferentes ensayos para la determinación de propiedades físicas y mecánicas del material.

César Armando Guillén-Guillén. Revisión y experimentación de las probetas de cada ensayo conforme a los requerimientos de las máquinas de pruebas y normatividad.

Yann Barnet. Control y cumplimiento de la normatividad de los ensayos para la evaluación de las propiedades físicas y mecánicas.

Este proyecto fue realizado gracias al apoyo y colaboración del Laboratorio de Materiales y Sistemas Estructurales (LMSE) de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Nacional Autónoma de México, así como de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas y al Conacyt, instituciones que han brindado todo su apoyo y equipo especializado para el cumplimiento del objetivo propuesto.

---

M. V. Restrepo, "Determinación de la resistencia mecánica a tensión y cizalladura de la guadua angustifolia kunth", *Revista de la Facultad Nacional de Agronomía de Medellín* (enero, 2005); J. F. Correal y C. J. Arbeláez, "Influence of Age and Height Position on Colombian Guadua Angustifolia Bamboo Mechanical Properties", *Maderas: Ciencia y Tecnología* 12(2): 105-113, <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2010000200005>; E. García, E. Silva, J. Reyes, E. Arcocha, C. Buenfil, N. Bolívar y G. Cortés, "Caracterización físico-mecánica del recurso natural Bambú presente en el Estado de Campeche, México", *Revista Iberoamericana de Ciencias* 2(7), 14; P. Luna, J. Lozano y C. Takeuchi, "Determinación experimental de valores característicos de resistencia para *Guadua angustifolia*", *Maderas. Ciencia y tecnología* 16(1): 77-92. <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2014005000007>; M. T. Sánchez Medrano, J. A. Espuna Mújica y R. S. Roux Gutierrez, "El bambú como elemento estructural: la especie *Guadua amplexifolia*", *Nova scientia* 8(17): 657-677; C. P. Takeuchi y C. E. González, "Resistencia a la compresión paralela a la fibra de la Guadua angustifolia y determinación del módulo de elasticidad", *Ingeniería y Universidad* 11(1): 89-103; I. Zaragoza, V. R. Ordóñez, G. M. Bárcenas, A. M. Borja y F. J. Zamudio, "Propiedades físico-mecánicas..."

## Referencias

- APONTE, A. F. G. (Caracterización físico-mecánica de la guadua en el municipio de Guaduas-Cundinamarca). Tesis de Magister en Construcción, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia, 2016.
- ARISTA-GONZÁLES, G., A. Cataño-Barrera y R. Ortiz-Ramírez. "Exploración de nuevas especies de bambú y su aplicación en el campo de la construcción". *Memorias de las Asambleas Nacionales*, 2014.
- CEIEG. "Perfiles 2015". Perfiles Municipales. Consultado el 21 de abril de 2018, <http://www.ceieg.chiapas.gob.mx/perfiles/Inicio>.
- CELY Moreno, L. A., W. G. Hernández Rojas y O. J. Gutiérrez Junco. "Caracterización de la *Guadua angustifolia* Kunth cultivada en Miraflores (Boyacá) de acuerdo con la NSR-10," *Revista Facultad de Ingeniería* 21(33): 53-71.
- CIRO, H. J. V., J. A. O. Saraz y J. M. V. Restrepo "Determinación de la resistencia mecánica a tensión y cizalladura de la *Guadua angustifolia* Kunth", *Revista de la Facultad Nacional de Agronomía de Medellín* (enero, 2005).
- CORREAL, J. F. y C. J. Arbeláez. "Influence of Age and Height Position on Colombian *Guadua Angustifolia* Bamboo Mechanical Properties", *Maderas: Ciencia y Tecnología* 12(2): 105-113. <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2010000200005>
- CORTÉS, G. R. "Los bambúes nativos de México". *Conabio. Biodiversitas* 30 (2000): 12-15.
- GARCÍA, E., E. Silva, J. Reyes, E. Arcocha, C. Buenfil, N. Bolívar y G. Cortés. "Caracterización físico-mecánica del recurso natural Bambú presente en el Estado de Campeche, México", *Revista Iberoamericana de Ciencias* 2(7).
- GUERRERO-CORREA, J. J., A. Quiroz-Soto, y A. Terán-Gilmore. "Propiedades mecánicas del bambú". *XIX Congreso Nacional de Ingeniería Estructural*. Puerto Vallarta, Jalisco: Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, 2014.
- INAFED. "Chiapas-Suchiapa". Enciclopedia de los Municipios y delegaciones de México, 2010. Consultado el 22 de abril de 2018, <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM07chiapas/municipios/07086a.html>.
- INEGI. "Principales resultados por localidad 2010 (ITER)", 2010, <https://www.naturalista.mx/places/wikipedia/Suchiapa#Clima>
- INSTITUTO Colombiano de Normas Técnicas (Icontec). Métodos de ensayo para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la *Guadua angustifolia* Kunth (NTC 5525).
- INSTITUTO Nacional de Ecología (Inecol). "Usos del bambú", 2013. Consultado el 6 de marzo de 2018, <http://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/bienes-muebles-inmuebles/17-ciencia-hoy/137-usos-del-bambu>.
- ISO 22157-1, 2004. Determination of physical and mechanical properties – Part 1: Requirements. International Organization for Standardization.
- ISO TR 22157-2, 2004. Determination of physical and mechanical properties – Part 2: Laboratory manual. International Organization for Standardization.
- LUNA, P., J. Lozano y C. Takeuchi. "Determinación experimental de valores característicos de resistencia para *Guadua angustifolia*", *Maderas. Ciencia y tecnología* 16(1): 77-92. <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2014005000007>.
- MAYA Echeverry, J. M., J. C. Camargo García y O. M. Mosquera. "Characteristics of *Guadua* Culms according to Site and Stage of Maturity", *Colombia Forestal* 20(2): 180-190. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2017.2.a06>.
- MEJÍA-SAULÉS, T. "Colección Nacional de Bambúes Nativos de México: su contribución al conocimiento científico y tecnológico". *1er. Congreso Cambú. Conocimiento, aplicaciones y oportunidades del bambú*, 2016.

- ORDÓÑEZ, V. R. y G. M. Bárcenas. "Propiedades físicas y mecánicas de tres especies de guaduas mexicanas (*Guadua aculeata*, *Guadua amplexifolia* y *Guadua velutina*)", *Madera y Bosques* 20(2): 111-125.
- OSORIO, A. F. C. y W. J. Espinosa. (Resistencia a la compresión paralela a la fibra y determinación del módulo de elasticidad de la guadua angustifolia del municipio de pitalito-huila). Trabajo de grado. Universidad Surcolombiana, Colombia, 2012.
- R Core Team. "R: A Language and Environment for Statistical Computing". R Foundation for Statistical Computing (versión 3.5.1), 2018. Consultado en abril de 2018, <https://www.R-project.org/>.
- RODRÍGUEZ, R. M., L. Galicia, W. Sánchez, L. Gómez, A. Zarco y E. Ceccon. "Usos actuales, distribución potencial y etnolingüística del bambú leñoso en México". En María Lelia Pochettino, Ana H. Ladio y Patricia M. Arenas, editoras. *Tradiciones & transformaciones en Etnobotánica*: 355-363. Argentina: CYTED-Programa Iberoamericano Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, 2010.
- RUIZ-SANCHEZ, E. y L. G. Clark. "Are there Wild Bamboos in Mexico?", *Frontiers for Young Minds* 6(1)(2018), <https://doi.org/10.3389/frym.2018.00001>.
- RUIZ-SANCHEZ, E., L. G. Clark, X. Londoño, T. M. Saulés y G. Cortés. "Morphological keys to the genera and species of bamboos (Poaceae: Bambusoideae) of Mexico", *Phytotaxa* 236(1): 1-24. <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.236.1.1>.
- SÁNCHEZ Medrano, M. T., J. A. Espuna Mújica y R. S. Roux Gutierrez. "El bambú como elemento estructural: la especie *Guadua amplexifolia*", *Nova scientia* 8(17): 657-677.
- TAKEUCHI, C. P. y C. E. González. "Resistencia a la compresión paralela a la fibra de la *Guadua angustifolia* y determinación del módulo de elasticidad", *Ingeniería y Universidad* 11(1): 89-103.
- VORONTSOVA, M. G., L. Clark, J. Dransfield, R. Govaerts y W. Baker. *World Checklist of Bamboos and Rattans*. Beijing: International Network of Bamboo and Rattan, 2016.
- ZARAGOZA, I., V. R. Ordóñez, G. M. Bárcenas, A. M. Borja y F. J. Zamudio. "Propiedades físico-mecánicas de una guadua mexicana (*Guadua aculeata*)", *Maderas. Ciencia y tecnología* 17(3) (2015): 505-516. <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2015005000045>

### Héctor D. Llaven-José

dann.arq10@gmail.mx

Facultad de Ingeniería, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas

Arquitecto y maestro en Ciencias en Desarrollo Sustentable y Gestión de Riesgos por la Universidad Autónoma de Chiapas.

### Gabriel Castañeda Nolasco

gnolasco2@gmail.com

Componentes y Condicionantes de la Vivienda, Universidad Autónoma de Chiapas

Arquitecto por la Universidad Autónoma de Chiapas (México), doctor en Ciencias de la Ingeniería Ambiental por la Universidad de San Pablo (Brasil).

**César Armando Guillén-Guillén**

cesar\_guillen@comunidad.unam.mx

Laboratorio de Materiales y Sistemas Estructurales de la Facultad de Arquitectura, Universidad Nacional Autónoma de México

Arquitecto por la Universidad Nacional Autónoma de México. Maestro en Arquitectura y Urbanismo con Especialidad en Arquitectura Sustentable, UNACH (México). Doctorando en Arquitectura en Pensamiento y Producción Científico-Tecnológica en la Universidad Nacional Autónoma de México (México). Colaborador del Laboratorio de Materiales y Sistemas Estructurales (LMSE) de la Facultad de Arquitectura en la UNAM y del Laboratorio Nacional de Vivienda y Comunidades Sustentables (LNVCS) Región Centro. Profesor asociado tiempo completo

**Yann Barnet**

ybarnetc@usmp.pe

Instituto de Vivienda Urbanismo y Construcción de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de San Martín de Porres, Perú

Diplomado en Francia. Director del Instituto de Vivienda Urbanismo y Construcción (IVUC) de la Universidad de San Martín de Porres (Perú). Diseñador y constructor especializado en bambú. Miembro del comité de la elaboración de la norma E100 Bambú del Reglamento de Edificación (Perú). Miembro del TaskForce sobre construcción de la Red Internacional de Bambú y Ratán.