PROPIEDADES MECÁNICAS DEL BAMBÚ DENDROCALAMUS STRICTUS DEL SURESTE DE MÉXICO

Jorge L. Varela Rivera*, Luis E. Fernández Baqueiro, Janette A. Oliva Moreno y Wilberth G. Gómez Ceballos

Fecha de recepción: 11 de octubre de 2021 - Fecha de aceptación: 3 de mayo de 2022

Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, A.P. 150, Cordemex, Mérida, Yucatán, México.

Resumen

El bambú se utiliza en muchos países del mundo como material de construcción. Sus usos abarcan la construcción de trabes, muros, cubiertas, armaduras y cercas, entre otros. En este trabajo de investigación se evaluaron las propiedades mecánicas del bambú Dendrocalamus *strictus* del sureste de México para su uso estructural. Se determinó la resistencia a compresión, tensión, cortante y flexión paralela a las fibras, así como los correspondientes módulos de elasticidad a compresión y flexión. Las propiedades mecánicas se determinaron utilizando la norma ISO 22157. Con base en los resultados experimentales se observó que las propiedades mecánicas promedio del bambú no dependen de la presencia de nudos ni varían a lo largo de la longitud del culmo. Se determinan propiedades mecánicas para el bambú correspondientes al 5, 50 y 95 percentil. Se reportan los tipos de falla observados durante los ensayes. Las propiedades mecánicas obtenidas en este trabajo de investigación pueden utilizarse para el diseño de estructuras de bambú construidas con la especie estudiada.

Palabras Clave: bambú, Dendrocalamus strictus, resistencia, módulo de elasticidad.

MECHANICAL PROPERTIES OF THE DENDROCALAMUS STRICTUS BAMBOO FROM THE SOUTHEAST PART OF MEXICO

Abstract

Bamboo is used in many countries of the world as a building material. Its uses include the construction of beams, walls, roofs, trusses, and fences, among others. In this research study, the mechanical properties of the Dendrocalamus *strictus* bamboo from the southeast part of Mexico were evaluated for structural purposes. The compressive, tensile, shear and flexural strengths

*vrivera@correo.uady.mx

Nota: Este artículo de investigación es parte de Ingeniería–Revista Académica de la Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, Vol. 26, No. 2, 2022, ISSN: 2448-8364

parallel to fibers were determined together with corresponding compressive and flexural moduli of elasticity. Mechanical properties were determined using the ISO 22157 norm. Based on the experimental results it was observed that the average mechanical properties do not depend on the presence of nodes and do not vary along the culm length. Mechanical properties based on 5 %, 50 % and 95 % fractile are determined. Failure types observed during testing are reported. Mechanical properties determined in this research work can be used for the design of bamboo structures constructed with the specie studied.

Keywords: bamboo, Dendrocalamus strictus, strength, modulus of elasticity.

1. Introducción

El bambú es una planta de tronco leñoso ligero, fácil de cultivar y de crecimiento rápido. Se compone de dos partes principales, el rizoma que se encarga de la propagación del bambú y el culmo que es un tallo largo, redondo y hueco. El culmo está dividido por nudos, en cada nudo existe un diafragma. Las secciones entre los nudos se denominan entrenudos. El culmo se compone, entre otros, de fibras largas y resistentes que crecen en la dirección longitudinal del culmo. La concentración de fibras en el espesor del culmo es mayor en la parte externa comparada con la interna. El bambú es anisotrópico ya que sus propiedades mecánicas son diferentes en dirección paralela y perpendicular a las fibras. El bambú es higroscópico ya que absorbe o expulsa agua para lograr una humedad de equilibrio con el ambiente. Dicha propiedad hace que el bambú se expanda o contraiga con la humedad.

El bambú se utiliza en muchas partes del mundo como material de construcción. El bambú se utiliza en la construcción de trabes, muros y cubiertas de edificios (Stamm 2008). También se utiliza en la construcción de cercas, fachadas falsas y armaduras (Martínez García 2015). En México el bambú se utiliza para la construcción de viviendas vernáculas y rurales (Ordóñez et al. 2002). También se utiliza para la construcción de cubiertas y pabellones (Cedeño-Valdiviezo e Irigoyen-Castillo 2011).

En México existen al menos 52 especies nativas de bambú, de las cuales 34 son endémicas (Ruiz-Sánchez 2019). Entre las especies nativas más comunes se encuentran la Guadua *aculeata*, Guadua *amplexifolia*, Guadua *velutina* (Ordóñez y Bárcenas 2014), Guadua *angustifolia* (Sánchez-Tizapa et al. 2019) y Bambusa *oldhamii* (Hernández Átzin 2018). En México, existen recomendaciones de diseño exclusivamente para la Guadua *aculeata*, Guadua *angustifolia* y Bambusa *oldhamii* (Gobierno de la Ciudad de México 2017). Existen otras especies de bambú que no han sido estudiadas entre la que se encuentra el Dendrocalamus *strictus*. Esta especie se utiliza en otros países como son la India, Nepal, Bangladesh, Birmania y Tailandia (Vorontsova et al. 2016). El Dendrocalamus *strictus* es una especie introducida en el sureste de México, específicamente en el estado de Yucatán (Rodríguez Marín 2005).

Existen diversos estudios relacionados con la caracterización de diferentes especies de bambú alrededor del mundo. Las propiedades mecánicas del bambú se estudian en dirección paralela y perpendicular a las fibras (Trujillo y López 2016). En el primer caso se estudian, principalmente, la resistencia a compresión, tensión, cortante, flexión, módulo de elasticidad a compresión y módulo de elasticidad a flexión (Acevedo Acevedo 2016; Carbonari et al. 2017; Calo Rosales 2018). En el segundo caso se estudian, principalmente, la resistencia a compresión y tensión (Mitch et al. 2010; Sharma et al. 2013). Se observa que

las propiedades físicas y mecánicas de una especie de bambú varían de acuerdo con la región donde se cultiva (Luna et al. 2014; Trujillo y López 2016). Por tanto, es recomendable estudiar una misma especie de bambú en diferentes regiones.

El objetivo de esta investigación fue evaluar las propiedades mecánicas del bambú Dendrocalamus *strictus* del sureste de México. Se determinó la resistencia a compresión, tensión, cortante y flexión paralela a las fibras, así como el módulo de elasticidad a compresión y flexión correspondientes.

2. Metodología

2.1 Selección, desplazamientos y humedad de culmos

La selección de los culmos del bambú Dendrocalamus *strictus* se realizó mediante un muestreo irrestricto aleatorio en un área aproximada de 20 hectáreas ubicadas en el sureste de México. Se consideraron culmos con una edad comprendida entre 3 y 5 años. Se cortaron 50 culmos con un diámetro entre 4.5 y 5.0 cm a la altura de corte. Esta altura fue de aproximadamente 1 m sobre el nivel del terreno. Los culmos se dividieron en dos muestras de acuerdo con su ubicación a lo largo de su altura, una inferior (muestra A) y una superior (muestra B). La longitud promedio de los culmos de ambas muestras fue de 283 cm. Los culmos cortados se mantuvieron almacenados en el plantío al aire libre por 30 días. Posteriormente se mantuvieron almacenados en el laboratorio por otros 40 días. Se midieron los desplazamientos al centro del claro de los culmos de ambas muestras. Se cortaron 25 especímenes con y sin nudo de ambas muestras para determinar la variación de la humedad con el tiempo. Los especímenes tuvieron una longitud igual a su diámetro exterior. Los nudos estuvieron ubicados en la longitud media de los especímenes. La humedad de los especímenes se determinó con base en la norma ISO 22157 (International Organization for Standardization 2019). Las humedades se determinaron a partir del día 71 y se midieron, en general, a cada 4 días durante un período aproximado de 30 días. Se esperó hasta que los culmos alcanzaron su humedad de equilibrio con el ambiente para comenzar los ensayes.

2.2 Determinación de las propiedades mecánicas del bambú

Las propiedades mecánicas del bambú se determinaron utilizando la norma ISO 22157. Se determinó la resistencia a compresión, tensión, cortante y flexión paralela a las fibras. Adicionalmente, se determinaron los módulos de elasticidad a compresión y flexión correspondientes. Se determinó la densidad de los especímenes utilizados en los diferentes ensayes. Las densidades se determinaron utilizando la norma ISO 22157. Para el caso de los especímenes de flexión, se determinó la densidad por metro lineal utilizando la longitud total de dichos especímenes.

La resistencia a compresión se determinó utilizando 60 especímenes con una longitud igual a 2 veces su diámetro exterior. Las dimensiones de los especímenes fueron similares a los utilizados para determinar el módulo de elasticidad a compresión. Se consideraron 30 especímenes de la muestra A y 30 de la muestra B. Para cada caso, se consideraron 15 especímenes con nudo y 15 sin nudo. Los nudos estuvieron ubicados en la longitud media de los especímenes. El ensaye de los especímenes se realizó en una máquina universal con una capacidad de 60 ton. La resistencia a compresión (F_c) se determinó utilizando el área neta promedio de cada espécimen.

La resistencia a tensión se determinó utilizando 60 especímenes, 30 de la muestra A y 30 de la muestra B. Las dimensiones promedio de los especímenes fueron de 1.11 cm x 1.26 cm x 60 cm y 0.90 cm x 1.19 cm x 60 cm (espesor x ancho x longitud), respectivamente. Los especímenes tuvieron

un nudo ubicado en su longitud media. Los espesores de los especímenes fueron iguales a los espesores de los culmos utilizados para su preparación. Los anchos de los especímenes fueron los recomendados en la versión 2004 de la norma ISO 22157 (International Organization for Standardization 2004). Se utilizaron estos anchos para facilitar la sujeción de los extremos de los especímenes. El ensaye de los especímenes se realizó en la misma máquina universal descrita anteriormente. La resistencia a tensión (F_t) se determinó utilizando el área promedio sin nodo de cada espécimen.

La resistencia a cortante se determinó utilizando 60 especímenes con una longitud igual a su diámetro exterior. Se consideraron 30 especímenes de la muestra A y 30 de la muestra B. Para cada caso, se consideraron 15 especímenes con nudo y 15 sin nudo. Los nudos estuvieron ubicados en la longitud media de los especímenes. El ensaye de los especímenes se realizó en la máquina universal descrita anteriormente. Se utilizaron dos placas de corte, una en la parte superior y otra en la parte inferior de cada espécimen. La resistencia a cortante (F_v) se determinó utilizando la Ecuación (1), donde F_{ult} es la carga máxima aplicada y $\sum Ac$ es la es la suma de las áreas medidas en los 4 planos de corte de cada espécimen.

$$F_v = \frac{F_{ult}}{\sum Ac} \quad (1)$$

La resistencia a flexión se determinó utilizando 30 especímenes, 20 con una longitud de 150 cm y 10 con una longitud de 230 cm. En el primer caso, se consideraron 10 especímenes de la muestra A y 10 de la muestra B. En el segundo caso, 5 especímenes de la muestra A y 5 de la muestra B. Los ensayes se realizaron utilizando un sistema de carga a cuatro puntos (Figura 1). Se mantuvo constante la distancia entre los puntos de carga superior de 40 cm y se consideraron dos claros de cortante de 40 cm y 80 cm, respectivamente (Figura 1). El propósito fue estudiar el efecto del claro de cortante en la resistencia a flexión. Se utilizaron conexiones articuladas en los puntos de carga y apoyo. El ensaye de los especímenes se realizó en un marco de carga. Las cargas se aplicaron utilizando un actuador hidráulico con una capacidad de 30 ton. Las cargas se midieron utilizando una celda de carga con una capacidad de 22.67 ton. Los desplazamientos se midieron utilizando dos potenciómetros lineales con una capacidad de 38.1 cm.

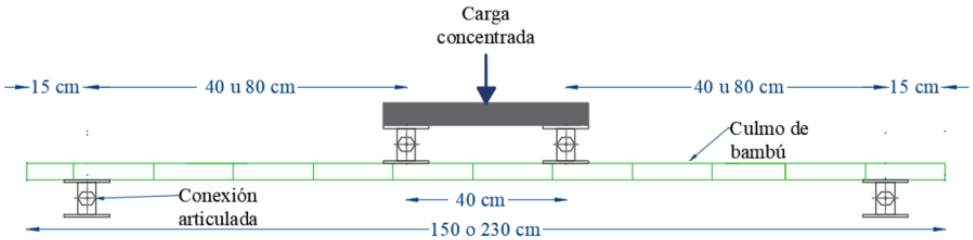

Figura 1. Sistema de carga a cuatro puntos para ensayes a flexión.

La resistencia a flexión (F_f) se determinó con la Ecuación (2), donde M_{ult} es el momento flexionante máximo, D es el diámetro exterior promedio del espécimen e I_B es el momento de inercia promedio de la sección transversal neta del espécimen.

$$F_f = \frac{M_{ult} \times D}{2 \times I_B} \quad (2)$$

El módulo de elasticidad a compresión se determinó utilizando 16 especímenes con una longitud igual a 2 veces su diámetro exterior. Se consideraron 8 especímenes de la muestra A y 8 de la muestra B. Para cada caso, se consideraron 4 especímenes con nudo y 4 sin nudo. Los nudos estuvieron ubicados en la longitud media de los especímenes. El ensaye de los especímenes se realizó en la máquina universal descrita anteriormente. Las cargas se midieron utilizando una celda de carga de 22.7 ton. Los desplazamientos se midieron utilizando tres potenciómetros lineales con una capacidad de 1.2 cm. La longitud de los especímenes fue mayor que la recomendada en la norma ISO 22157 para poder colocar los arillos de sujeción y los potenciómetros descritos anteriormente. El módulo de elasticidad a compresión (E_C) se determinó utilizando la Ecuación (3), donde F_{20} y F_{60} son las cargas correspondientes al 20 % y 60 % de la carga máxima aplicada. A su vez, ε_{20} y ε_{60} son las deformaciones unitarias correspondientes a F_{20} y F_{60}, respectivamente.

$$E_C = \frac{F_{60}-F_{20}}{A(\varepsilon_{60}-\varepsilon_{20})} \quad (3)$$

El módulo de elasticidad a flexión se determinó con los mismos especímenes y el mismo sistema de carga descritos para la prueba de resistencia a flexión. El módulo de elasticidad a flexión (E_f) se determinó con la Ecuación (4), donde a es la longitud del claro de cortante, L es la distancia entre apoyos, Δ_{20} y Δ_{60} son los desplazamientos correspondientes a F_{20} y F_{60}, respectivamente.

$$E_f = \frac{(F_{60}-F_{20}) \times a(3L^2-4a^2)}{48(\Delta_{60}-\Delta_{20})\, I_B} \quad (4)$$

En la Figura 2 se presentan vistas de los ensayes de especímenes a compresión, tensión, cortante, flexión y módulo de elasticidad a compresión.

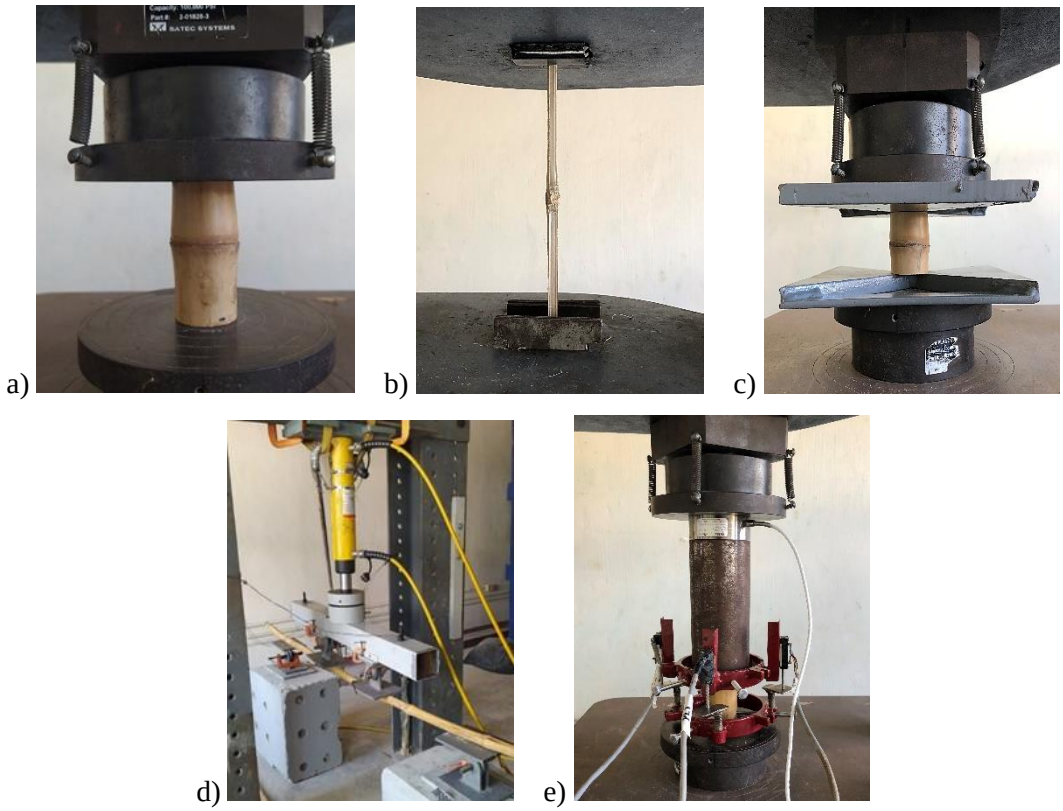

Figura 2. Ensaye de especímenes a) compresión, b) tensión, c) cortante, d) flexión y e) módulo de elasticidad a compresión.

3. Resultados

3.1 Características de culmos y especímenes

La longitud promedio de los culmos de la muestra A fue de 284 cm con un coeficiente de variación (CV) de 6.04 %. El desplazamiento promedio al centro del claro de dichos culmos fue de 6.10 cm con un CV de 46.31 %. A su vez, la longitud promedio de los culmos de la muestra B fue de 282 cm con un CV de 6.59 %. El desplazamiento promedio al centro del claro de dichos culmos fue de 4.30 cm con un CV de 57.10 %. Se observó que la parte inferior de los culmos (muestra A) presentó en promedio una mayor curvatura que su parte superior (muestra B). La relación entre el desplazamiento promedio al centro del claro de los culmos de las muestras A y B fue de 1.42.

El diámetro promedio de los especímenes de la muestra A fue de 4.20 cm con un CV de 5.72 %. El espesor promedio de dichos especímenes fue de 1.03 cm con un CV de 18.58 %. A su vez, el diámetro promedio de los especímenes de la muestra B fue de 3.92 cm con un CV de 7.39 %. El espesor promedio de dichos especímenes fue de 0.74 cm con un CV de 20.86 %. La relación entre el diámetro promedio de los culmos de las muestras A y B fue de 1.07. La relación entre el espesor promedio de los culmos de las muestras A y B fue de 1.34.

En la Figura 3 se presenta la variación de la humedad de los especímenes con el tiempo. Se consideró que la humedad de equilibrio de los culmos se encuentra entre el 10 y el 16 % para el bambú estudiado. Entre el día 92 y 102 la humedad se mantuvo dentro de dicho intervalo. Se consideró, por tanto, que la humedad de equilibrio se alcanzó a partir del día 92 después de haber cortado los culmos (Figura 3), de acuerdo con las características de almacenaje descritas anteriormente. La humedad de equilibrio se encuentra cercana a la humedad en estado seco de 12 % ± 3 % especificada en la norma ISO 22157.

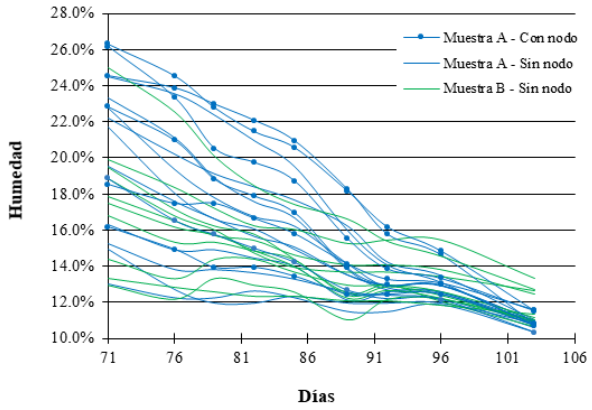

Figura 3. Variación de la humedad de los especímenes con el tiempo.

3.2 Resistencia a compresión, tensión, cortante y flexión

En la Figura 4a se presenta la variación de la resistencia a compresión (F_c) de los especímenes de la muestra A con y sin nudo. En el primer caso, la resistencia a compresión

promedio fue de 381 kg/cm² con un coeficiente de variación (CV) de 23.76 %. En el segundo caso, fue de 377 kg/cm² con un CV de 23.38 %. En la Figura 4b se presenta la variación de la resistencia a compresión (F_c) de los especímenes de la muestra B con y sin nudo. En el primer caso, la resistencia a compresión promedio fue de 371 kg/cm² con un CV de 35.18 %. En el segundo caso, fue de 383 kg/cm² con un CV de 33.32 %. La falla de los especímenes de ambas muestras se asoció con el aplastamiento del bambú.

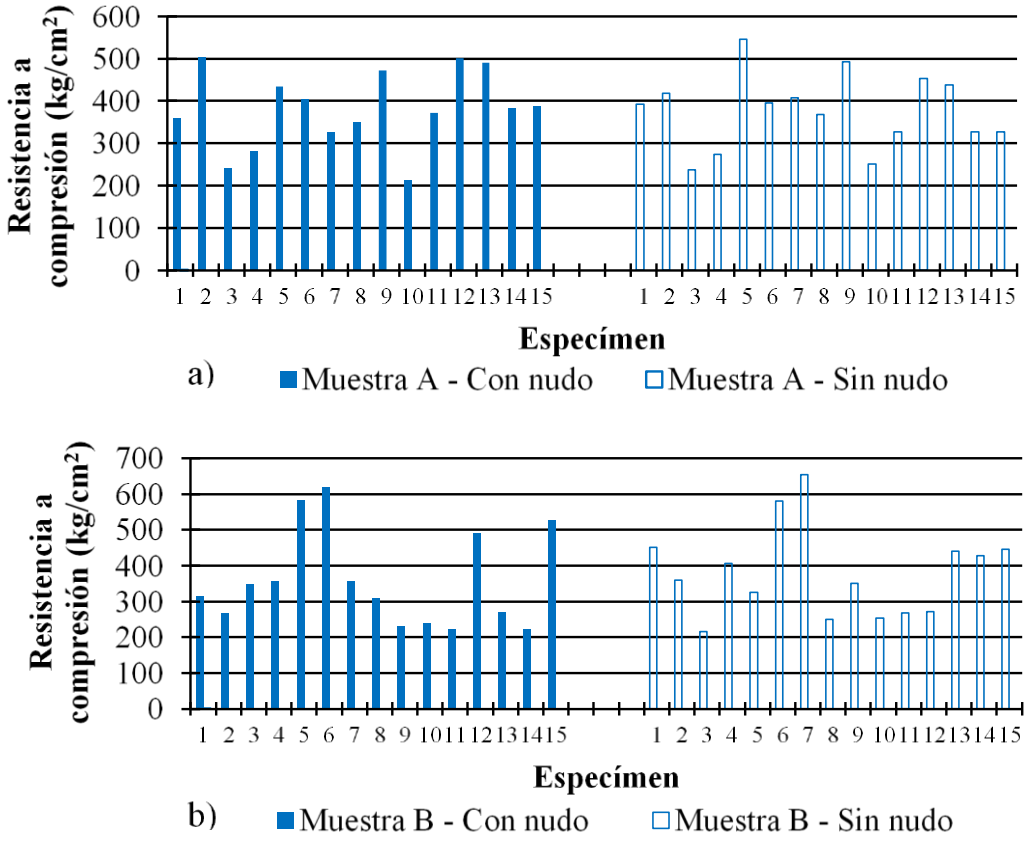

Figura 4. Resistencia a compresión: a) muestra A con y sin nudo, b) muestra B con y sin nudo.

En la Figura 5 se presenta la variación de la resistencia a tensión (F_t) de los especímenes de la muestra A y B. En el primer caso, la resistencia a tensión promedio fue de 1146 kg/cm² con un CV de 22.70 %. En el segundo caso, fue de 1156 kg/cm² con un CV de 24.17 %. La falla se asoció con la fractura de los especímenes cerca del nudo para ambas muestras.

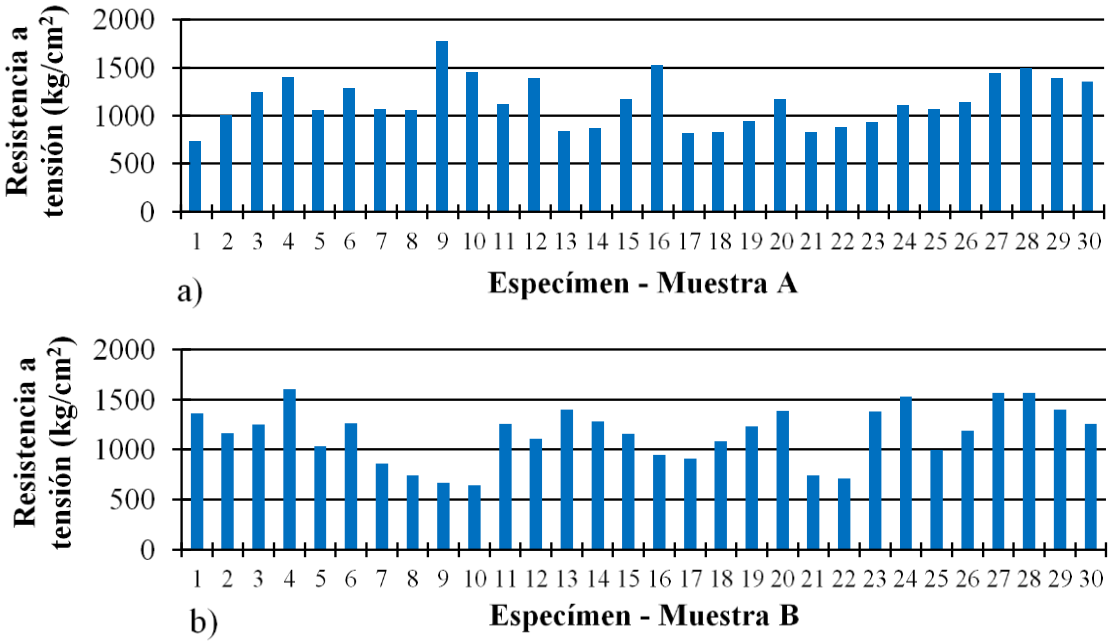

Figura 5. Resistencia a tensión: a) muestra A, b) muestra B.

En la Figura 6a se presenta la variación de la resistencia a cortante (F_v) de los especímenes de la muestra A con y sin nudo. En el primer caso, la resistencia a cortante promedio fue de 93 kg/cm² con un CV de 21.67 %. En el segundo caso, fue de 90 kg/cm² con un CV de 22.99 %. En la Figura 6b se presenta la variación de la resistencia a cortante (F_v) de los especímenes de la muestra B con y sin nudo. En el primer caso, la resistencia a cortante promedio fue de 92 kg/cm² con un CV de 18.51 %. En el segundo caso, fue de 90 kg/cm² con un CV de 12.85 %. La falla se asoció con agrietamientos verticales en los especímenes de ambas muestras.

En la Figura 7 se presenta la variación de la resistencia a flexión (F_f) de los especímenes de la muestra A y B. En el primer caso la resistencia a flexión promedio fue de 1248 kg/cm² con un CV de 16.05 %. En el segundo caso, fue de 1188 kg/cm² con un CV de 18.28 %. La falla de los especímenes se asoció con el aplastamiento del bambú en los apoyos o dentro de la zona de momentos flexionantes máximos.

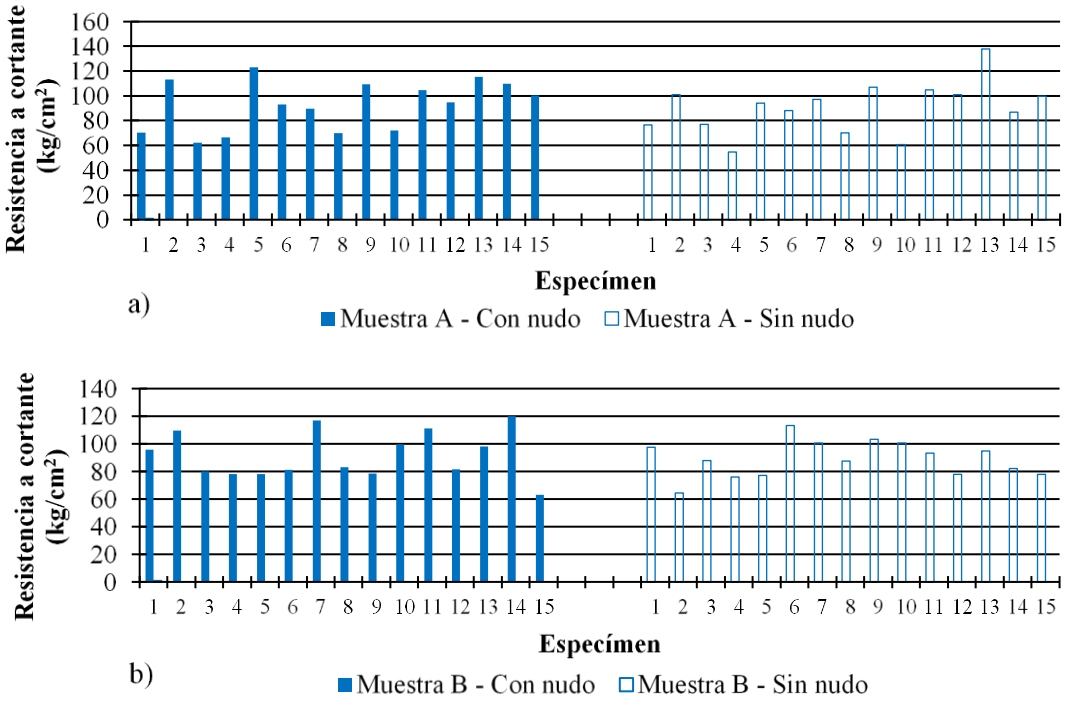

Figura 6. Resistencia a cortante: a) muestra A con y sin nudo, b) muestra B con y sin nudo.

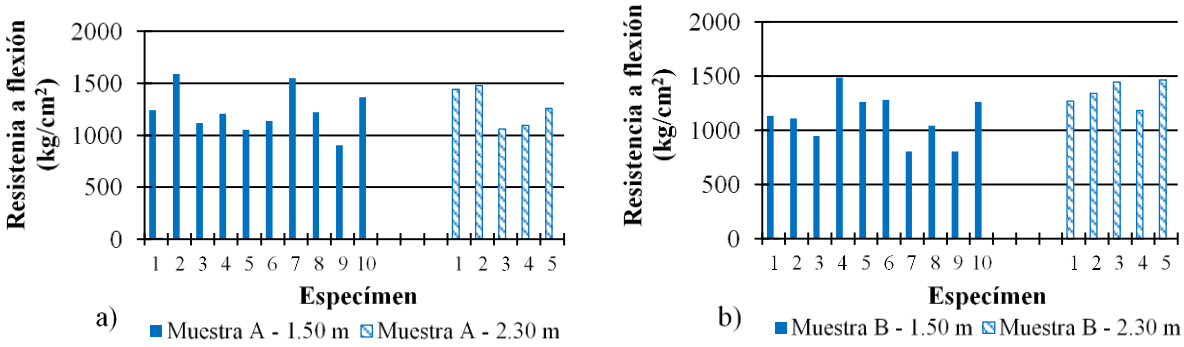

Figura 7. Resistencia a flexión de las muestras A y B.

3.3 Módulo de elasticidad a compresión y flexión

En la Figura 8a se presenta la variación del módulo de elasticidad a compresión (E_c) de los especímenes de la muestra A y B. En el primer caso el módulo de elasticidad a compresión promedio fue de 124,079 kg/cm² con un CV de 20.60 %. En el segundo caso, fue de 133,261 kg/cm² con un CV de 17.50 %. En la Figura 8b se presenta la variación del módulo de elasticidad a flexión (E_f) de los especímenes de la muestra A y B. En el primer caso el módulo de elasticidad a flexión promedio fue de 209,733 kg/cm² con un CV de 19.42 %. En el segundo caso, fue de 227,725 kg/cm² con un CV de 9.26 %.

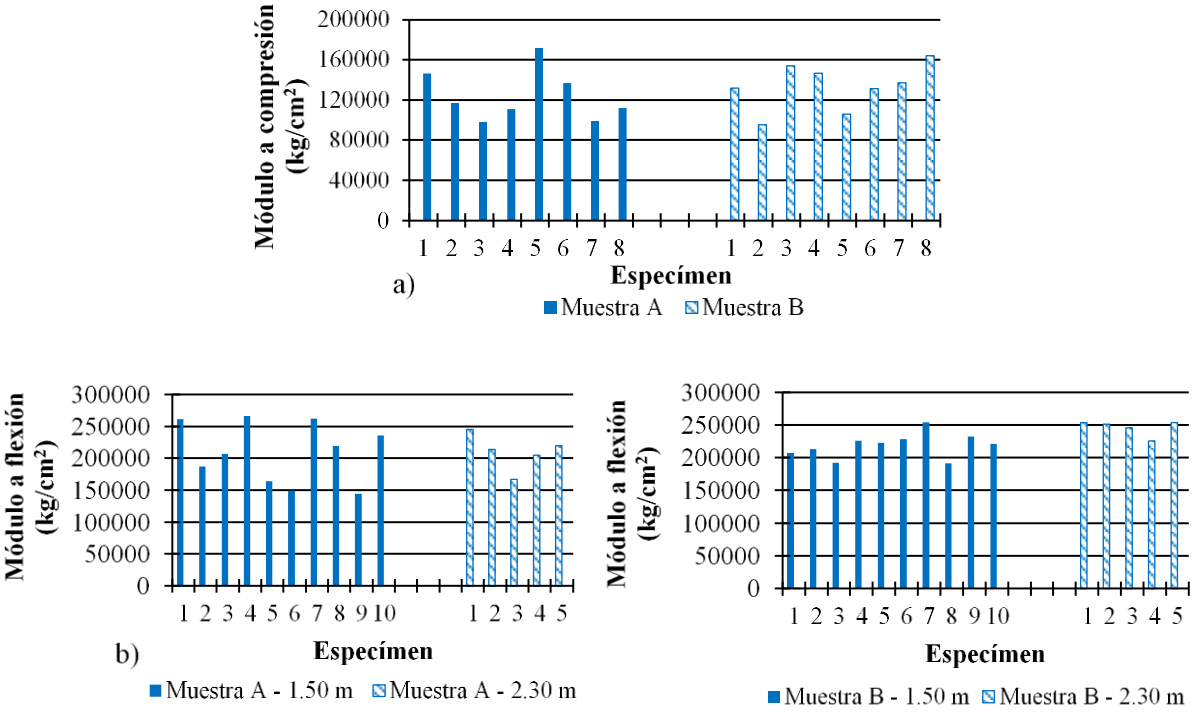

Figura 8. Módulo de elasticidad muestras A y B: a) compresión, b) flexión.

3.4 Densidad de especímenes

En la Tabla 1 se presentan las densidades promedio de los diferentes especímenes junto con los correspondientes coeficientes de variación.

Tabla 1. Densidades promedio de especímenes (kg/m^3).

Propiedad	F_c	F_t	F_v	F_f	E_c
Promedio	925	626.72	937	792	887
CV (%)	14.66	10.35	17.24	9.26	13.98

4. Discusión de resultados

4.1 Propiedades mecánicas del bambú

En la Tabla 2 se presentan las propiedades mecánicas promedio obtenidas para el bambú estudiado. Se observa que la resistencia a compresión, tensión, cortante y flexión promedio correspondientes de las muestras A y B con nudo y sin nudo, en su caso, fueron similares. A su vez, se observa que los módulos de elasticidad a compresión y flexión promedios correspondientes de las muestras A y B fueron también similares. Con base en lo anterior se observó que las propiedades mecánicas anteriores no dependen de la presencia de nudos ni varían con la longitud del culmo para el bambú estudiado.

Tabla 2. Propiedades mecánicas promedio para muestras A y B (kg/cm^2).

Muestra	Nudo	F_c	F_t	F_v	F_f	E_c	E_f
A	con	381	1146	93	1248	124,079	209,733
	sin	377	-	90	-	-	-
B	con	371	1156	92	1188	133,261	227,725
	sin	383	-	90	-	-	-

En la Tabla 3 se presentan las propiedades mecánicas del bambú estudiado considerando que los especímenes de las muestras A y B con y sin nudo, pertenecen a la misma muestra. Se presentan las propiedades mecánicas correspondientes al 5, 50 y 95 percentil considerando una distribución normal. En la Tabla 3, NE representa el número de especímenes. Las densidades reportadas en la Tabla 3 son densidades por metro lineal obtenidas para los especímenes a flexión.

La relación entre la resistencia a tensión promedio y compresión promedio fue de 3.18. La relación entre la resistencia a cortante promedio y compresión promedio fue de 0.25. La relación entre la resistencia a flexión promedio y compresión promedio fue de 3.38. La relación entre el módulo de elasticidad a flexión promedio y compresión promedio fue de 1.69.

Tabla 3. Propiedades mecánicas para el bambú.

Propiedad	Unidad	NE	5 percentil	50 percentil	95 percentil	CV (%)
Resistencia a compresión (F_c)	kg/cm2	60	200	378	556	29.20
Resistencia a tensión (F_t)	kg/cm^2	60	710	1151	1592	23.28
Resistencia a cortante (F_v)	kg/cm^2	60	63	91	120	19.36
Resistencia a flexión (F_f)	kg/cm^2	30	876	1218	1560	17.04
Módulo elasticidad compresión (E_c)	kg/cm^2	16	88,965	128,670	168,375	18.74
Módulo elasticidad flexión (E_f)	kg/cm^2	30	164,132	218,729	273,327	15.16
Densidad por metro lineal (ρ)	kg/m^3	30	671	792	912	9.26

En un estudio, Navin et al. (2008) presentan la resistencia a compresión, tensión, cortante y flexión promedio paralelo a las fibras del bambú Dendrocalamus *strictus* de la India (Tabla 4). Se observa que las propiedades mecánicas obtenidas en este trabajo fueron menores que las obtenidas para el bambú en la India (Tabla 4). Lo anterior refuerza la importancia de estudiar la misma especie de bambú en diferentes regiones. En otro estudio, Ordóñez y Bárcenas (2014) determinaron la resistencia a compresión, cortante y flexión, así como el módulo de elasticidad a compresión promedio de tres tipos de Guaduas cultivados en México (Tabla 4). Se observa que las propiedades mecánicas promedio obtenidas en este trabajo son similares con las obtenidas para las Guaduas estudiadas en México. Lo anterior demuestra que el bambú estudiado presenta propiedades mecánicas adecuadas para ser considerado como un bambú de uso estructural.

Tabla 4. Propiedades mecánicas para diferentes especies de bambú.

Especie	F_c	F_t	F_v	F_f	E_c
Dendrocalamus *strictus* India	510	1999	128	1479	--
Guadua *aculeata*	548	--	101	--	175052
Guadua *amplexifolia*	342	--	59	--	127125
Guadua *velutina*	377	--	58	850	147180
Dendrocalamus *strictus* sureste de México	378	1151	91	1218	128,670

5. Conclusiones

En este trabajo se determinaron las propiedades mecánicas del bambú Dendrocalamus *strictus* del Sureste de México. Se determinó la resistencia a compresión, tensión, cortante y flexión, así como el módulo de elasticidad a compresión y flexión. Con base en los resultados obtenidos se presentan las siguientes conclusiones:

- Las propiedades mecánicas estudiadas no dependen de la presencia de nudos ni varían con la longitud del culmo para el bambú estudiado.
- La resistencia a compresión promedio fue de 378 kg/cm². La resistencia a tensión promedio fue de 1151 kg/cm². La resistencia a cortante promedio fue de 91 kg/cm². La resistencia a flexión promedio fue de 1218 kg/cm². La relación entre la resistencia a tensión promedio y compresión promedio fue de 3.04. La relación entre la resistencia a cortante promedio y compresión promedio fue de 0.24. La relación entre la resistencia a flexión promedio y compresión promedio fue de 3.22.
- El módulo de elasticidad a compresión promedio fue de 128,670 kg/cm². El módulo de elasticidad a flexión promedio fue de 218,729 kg/cm². La relación entre el módulo de elasticidad a flexión promedio y compresión promedio fue de 1.69.
- La densidad por metro lineal promedio fue de 792 kg/m^3. Esta densidad se

obtuvo para los especímenes ensayados a flexión.

- Las propiedades mecánicas del bambú correspondientes al 5, 50 y 95 percentil, obtenidas en este trabajo, pueden ser utilizados para el diseño de estructuras de bambú construidas con la especie estudiada.
- El bambú estudiado tiene propiedades mecánicas similares a las de otras especies estudiadas en México. Por tanto, puede ser considerado para su uso estructural.

Agradecimientos

La segunda autora agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca otorgada para realizar sus estudios de Maestría en Ingeniería en la Universidad Autónoma de Yucatán. Se agradece a la empresa Bambú Xixim por las facilidades y el bambú proporcionado para la realización de este trabajo.

Referencias

Acevedo Acevedo P. J. (2016). "Evaluación de propiedades físicas y mecánicas de algunos bambús tropicales cultivados en Mayagüez, Puerto Rico". Tesis de Maestría, Universidad de Puerto Rico, Mayagüez, Puerto Rico.

Calo Rosales N. E. (2018). "Caracterización física y mecánica de tres especies de bambú aptas para la construcción en Guatemala". Tesis de Licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, Guatemala.

Carbonari G., da Silva Junior N. M., Henrique-Pedrosa N., Hiromi-Abe C., Ferreira-Scholtz M., Veloso-Acosta C. C. y Toralles-Carbonari L. (2017). Bambu – o aço vegetal. "Mix Sustentável", 3(1), 17-25.

Cedeño-Valdiviezo A. e Irigoyen-Castillo J. (2011). El bambú en México. "arq. urb", (6), 223-243.

Gobierno de la Ciudad de México. (2017). "Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Estructuras de Madera". Gaceta Oficial de la Ciudad de México, México.

Hernández Átzin J. A. (2018). "Determinación de las propiedades mecánicas compresión, cortante, tensión paralela a la fibra y flexión estática de la especie Bambusa oldhamii, de la región de Papantla Veracruz, bajo los procedimientos de la norma ISO-22157,2004". Tesis de licenciatura, Universidad Veracruzana, Veracruz, México.

International Organization for Standardization (2004). "Bamboo structures — Determination of physical and mechanical properties of bamboo culms — Test methods (ISO-22157:2004)".

International Organization for Standardization (2019). "Bamboo structures — Determination of

physical and mechanical properties of bamboo culms — Test methods (ISO-22157:2019)".

Luna P., Lozano J. y Takeuchi C. (2014). Determinación experimental de valores característicos de resistencia para Guadua angustifolia. "Maderas. Ciencia y tecnología", 16(1), 77-92.

Martínez García S. (2015). "Bambú como material estructural: generalidades, aplicaciones y modelización de una estructura tipo". Tesis de Maestría, Universitat Politécnica de Valéncia, Valencia, España.

Mitch D., Harries K. y Sharma B. (2010). Characterization of Splitting Behavior of Bamboo Culms. "Journal of Materials in Civil Engineering", ASCE, 22(11), 1195-1199.

Navin C., Mukul S. y Manoj K. (2008). Analysis of Mechanical Behaviour of Bamboo (Dendrocalamus strictus) by Using FEM. "Journal of Natural Fibers", 5(2), 127-137.

Ordóñez C. V., Mejía S. T. y Bárcenas P. G. (2002). "Manual para la construcción sustentable con bambú". Comisión Nacional Forestal, México.

Ordóñez C. y Bárcenas P. (2014). Propiedades físicas y mecánicas de tres especies de guaduas mexicanas (Guadua aculeata, Guadua amplexifolia y Guadua velutina). "Madera y bosques", 20(2), 111-125.

Rodríguez Marín R. M. (2005). "Determinación de la distribución potencial de las especies nativas e introducidas de bambú". Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.

Ruiz-Sánchez, E. (2019). Los bambúes de México: diversidad, conservación y uso. "Biodiversitas", CONABIO, 143, 13-16.

Sánchez-Tizapa S., Vázquez Jiménez R. y Cuevas Sandoval A. (2019). Curvas esfuerzo-deformación axial calculadas para las especies de bambú Guadua Angustifolia Kunth y Bambusa Oldhamii. "Espacio I+D, Innovación más Desarrollo", 8(21), 97-117.

Sharma B., Harries K. y Ghavami K. (2013). Methods of determining transverse mechanical properties of full-culm bamboo. "Construction and Building Materials", 38, 627-637.

Stamm J. (2008). La evolución de los métodos constructivos en bambú. En "Segundo Congreso Mexicano del Bambú", Puebla, México.

Trujillo D. y López L. F. (2016). Bamboo material characterization. En "Nonconventional and Vernacular Construction Materials", 365-392, Woodhead Publishing.

Vorontsova M. S., Clark L. G., Dransfield J., Govaerts R. y Baker W. J. (2016). "World Checklist of Bamboos and Rattans". International Network for Bamboo and Rattan and the Board of Trustees of the Royal Botanic Gardens, Kew, China.