



Evaluación y comparación de resistencia a la tracción y flexión de Quiote del Maguey Manso (*Agave Salmiana*) contra bambú Guadua

Evaluation and comparison of tensile and flexural strength of Quiote from Maguey Manso (*Agave Salmiana*) against Guadua bamboo

Pérez-González Diego Isaac

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

Departamento de Ingeniería Mecatrónica

Correo: diegopg316@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-3453-2537>

Castro-Olivares Jesús Eduardo

Departamento de Ingeniería Mecatrónica

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

Correo: jesus_eduardo25@hotmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-2478-8563>

Flores-Méndez Javier

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

Departamento de Ingeniería Mecatrónica

Correo: javier.floresme@correo.buap.mx

<https://orcid.org/0000-0002-8815-7015>

Mendoza-Quíñonez Jesús Alberto

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

Departamento de Ingeniería Mecatrónica

Correo: jesus.mendozaq@correo.buap.mx

<https://orcid.org/0000-0003-1201-9967>

Michua-Camarillo Antonio

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

Departamento de Ingeniería Mecatrónica

Correo: antonio.michua@correo.buap.mx

<https://orcid.org/0000-0003-2792-2307>

Aparicio-Razo Manuel

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

Departamento de Ingeniería Mecatrónica

Correo: epouvanter@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-9216-8203>

Resumen

Debido a las tendencias actuales de desarrollo sostenible, el bambú Guadua ha desarrollado un amplio estudio y aplicaciones técnicas en el área de la construcción, que incluye su distribución y exportación en regiones donde no existe. En México (considerado como centro de origen de más de 200 especies de maguey pulquero), principalmente en las comunidades rurales, el Quiote de Maguey Manso maduro es ampliamente utilizado para el mismo fin. El presente trabajo de investigación tiene como objetivo evaluar las propiedades mecánicas de tracción y flexión, basándose respectivamente en las normas ASTM E8M-11 y DIN 52-186, para estas dos clases de pedúnculos. La comparación de los resultados obtenidos en estas pruebas muestra que el Quiote presenta un valor de esfuerzo máximo de flexión 2.83 veces la del bambú Guadua, por consiguiente, un módulo de flexión mayor. Por lo tanto, en las pruebas de tracción, el bambú tiene una menor resistencia, pero una mayor capacidad de deformación respecto al Quiote. Hasta ahora no existen reportes técnicos sobre las propiedades mecánicas de ningún tipo de maguey, por lo tanto, los resultados reportados en esta investigación son temas de interés tanto en la física como en la ingeniería de materiales y sientan las bases para el desarrollo de proyectos técnicos, que posteriormente con una adecuada gestión de comercialización permitirán contribuir al desarrollo sostenible de las comunidades rurales productoras de agave.

Descriptores: Quiote de maguey manso, bambú guadua, tracción, deformación, flexión, módulo de flexión.

Abstract

Due to current trends in sustainable development, Guadua bamboo has developed an extensive study and technical applications in the construction area, which includes its distribution and export in regions where it does not exist. In Mexico (considered as the center of origin of more than 200 species of maguey pulquero), mainly in rural communities, the mature Quiote de Maguey Manso is widely used for the same purpose. The present research work has as objective to evaluate the mechanical properties of traction and flexion, based respectively on ASTM E8M-11 and DIN 52-186 standards, for these two classes of peduncles. The comparison of the results obtained in these tests shows that the Quiote presents a maximum bending stress value 2.83 times that of Guadua bamboo, hence, a greater flexural modulus. Therefore, in tensile tests, bamboo has a lower resistance, but a greater deformation capacity compared to Quiote. Until now there are no technical reports on the mechanical properties of any type of maguey, therefore, the results reported in this research are topics of interest in both physics and materials engineering and lay the foundations for the development of technical projects, which later, with the proper marketing management, will contribute to the sustainable development of rural agave-producing communities.

Keywords: Maguey manso quiote, guadua bamboo, traction, deformation, flexion, flexural modulus.

INTRODUCCIÓN

El estudio de los esfuerzos en los sistemas mecánicos es un tema de interés para el área de ingeniería. Los componentes mecánicos en general están sujetos a diversos esfuerzos y deformaciones que los materiales deben ser capaces de soportar (González & Mesa, 2004).

Tradicionalmente, la manera de caracterizar las propiedades de un material es por medio de diferentes pruebas mecánicas destructivas normalizadas, en las cuales destacan los ensayos tracción, flexión, compresión, dureza, etcétera. Estas pruebas son importantes debido a que permiten evaluar las cargas y deformaciones máximas que puede soportar un material (Faraldos & Goberna, 2011).

En la prueba destructiva de flexión (DIN 52-186, 1976), el objetivo principal es someter una probeta de un material a una carga controlada en dirección perpendicular a su eje longitudinal para evaluar el comportamiento esfuerzo-deformación y la resistencia a la flexión (DeWolf *et al.*, 2018). Por otra parte, la prueba de tracción (ASTM E8/E8M-11, 2011) somete la probeta del material a una carga axial controlada, midiendo el límite elástico, resistencia al alargamiento o carga de rotura (DeWolf *et al.*, 2018).

Una de las líneas de investigación con mayor interés en la ingeniería mecánica es la evaluación de las propiedades mecánicas de materiales que provienen de la naturaleza, tales como las fibras (Juárez *et al.*, 2006; Carrasco, 2015), hongos (Sánchez, 2004), de origen animal (Shubhra *et al.*, 2011) y tallos (Chaowana, 2013).

Hablando específicamente de los materiales provenientes de tallos, el estudio y la aplicación del bambú en los últimos años ha crecido gracias a las bioconstrucciones para crear viviendas (Ordóñez, 1999), y a las aplicaciones en la industria farmacéutica, cosmética, alimenticia y aeronáutica (Cedeño *et al.*, 2011).



Figura 1. Bambú Guadua seco

En México, el bambú de mayor uso es de la especie Guadua, el cual se produce en la región de Veracruz (Dávila *et al.*, 2012). Esta especie de bambú ha sido sometida a diferentes estudios, donde se destacan sus propiedades a tracción, compresión, corte y flexión (López & Correal, 2009; Estrada, 2010; Osorio *et al.*, 2010). En la Figura 1, se aprecia el bambú Guadua cortado y seco.

El bambú Guadua presenta magníficas propiedades mecánicas, sin embargo, aún falta por estudiar un gran número de especies. Por otra parte, el tallo o pedúnculo conocido como Quiote del Maguey, es un género de plantas *monocotiledóneas*, generalmente suculentas, pertenecientes a la antigua familia *Agavaceae* que crece en la mayor parte de México (León, 2014) como se muestra en la Figura 2.

A lo largo de la historia, el Quiote se ha utilizado en diversas tareas, entre las que destacan la construcción de estructuras y elaboración de nidos para aves, siempre que esté seco. Sin embargo, su uso no solo se limita a emplearlo cuando está seco. En estado verde se utiliza para consumo humano, produciendo principalmente golosinas (Alanís *et al.*, 2011).

Tradicionalmente, en las comunidades antiguas, el Quiote seco se empleaba como vigas en la construcción de casas o cercas para limitar distintos territorios, gracias a su alta resistencia y dureza, así como el uso de su fibra para diferentes aplicaciones (Ramsay, 2015).

Los usos tradicionales del Quiote lo hacen un material interesante. Su tallo es un tronco vertical con alta envergadura y ortogonalidad respecto al suelo, lo cual hace intuir una alta resistencia a la flexión.

Actualmente, a diferencia del bambú Guadua, no hay reportes técnicos sobre pruebas mecánicas de flexión para el pedúnculo Quiote, el cual presenta una

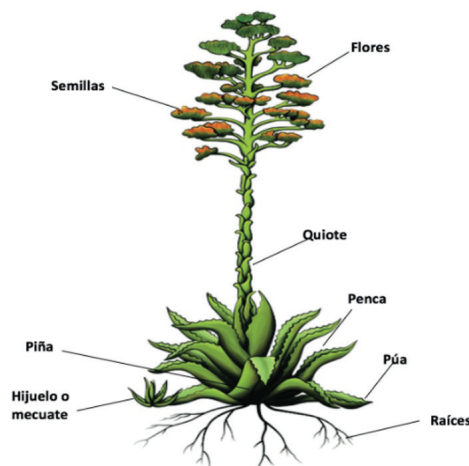


Figura 2. Maguey y sus partes (León, 2014)

morfología similar. Por lo tanto, en este trabajo, mediante el uso de probetas normalizadas se establece la metodología experimental para realizar las pruebas mecánicas normalizadas de resistencia a la tracción y flexión para estos dos materiales. Resulta muy interesante el hallazgo de que el Quiote de Maguey Manso presenta una resistencia a la flexión prácticamente al doble de la del bambú Guadua, así como su módulo de flexión. En lo que respecta a la tracción, el esfuerzo máximo del bambú es menor que el del Quiote y por lo tanto, presenta una mayor deformación máxima.

La originalidad de este trabajo es muy pertinente y puede sentar las bases para futuras investigaciones en la ciencia e ingeniería de materiales, así como el desarrollo sustentable de las comunidades rurales productoras de agave

METODOLOGÍA PARA LAS PRUEBAS DE TRACCIÓN Y FLEXIÓN

La metodología de este estudio se centralizó en realizar una serie de ensayos de tracción y flexión, basados en normas internacionales. Para poder efectuar estas pruebas se obtuvieron especímenes de bambú Guadua y Quiote con diámetros en el rango de 4 – 4.5 in. En el caso del bambú se seleccionaron dos tallos de una altura de 3 m provenientes de la comunidad de La Perla-Veracruz-México, los cuales se dejaron secar por un periodo de 5 meses. En el caso de Quiote se obtuvo un espécimen de Maguey Manso con una longitud de 6 m cortado de la región de Santa Cruz-Tlaxcala-México, el cual se dejó secar por un periodo de 7 meses. El proceso de secado es necesario, debido a la alta concentración de líquidos que retienen debido a su morfología.

Para el bambú y el Quiote se aseguró que la concentración de humedad relativa en el medio ambiente fuera lo más bajo posible (35-40 %), manteniendo una temperatura de secado de 25 °C. En la Figura 3, se observan los especímenes de tallos de bambú Guadua y Quiote utilizados.



Figura 3. a) Tallos de Quiote y b) bambú Guadua utilizados

Para cada una de las pruebas se ensayaron 10 probetas de los especímenes de bambú Guadua y Quiote, en una configuración plana basadas en la norma ASTM E8M-11 (Tracción) y DIN 52-186 (Flexión), ver Figuras 4 y 5.

Las probetas se evaluaron por medio de una máquina universal de ensayos mecánicos de la marca Shimadzu AG-IC 100kN, con parámetros de velocidad de desplazamiento de 1mm/s y resolución de los gráficos de 0.01 unidades. Las propiedades mecánicas de interés medidas (resistencia máxima a la tracción y flexión) en cada probeta fueron calculadas con base en los datos suministrados al Software Trapezium®, donde se especifican las condiciones del ensayo según las recomendaciones de cada una de las normas (Tabla 1).

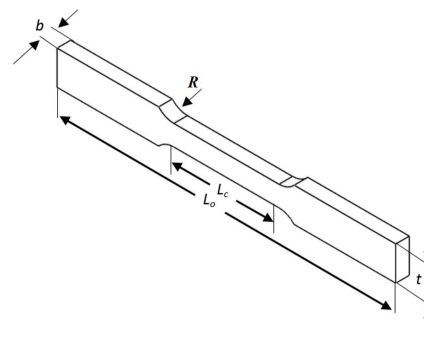


Figura 4. Parámetros geométricos con base en la norma ASTM E8M-11 para el cálculo de la Resistencia a la tracción [L_0 : Longitud total (m), L_c : Longitud de sección reducida (m), b : Grosor de la muestra (m), t : Ancho de la muestra (m), R : Radio del filete (m) y wt : Ancho de zona de ensayo (m)]

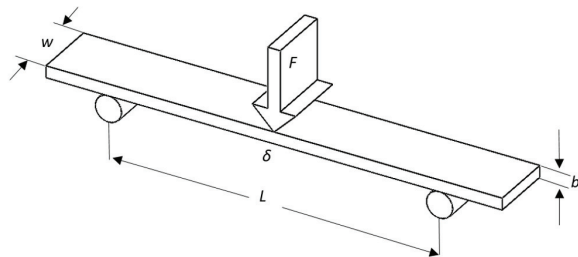


Figura 5. Parámetros geométricos con base en la norma DIN 52-186 para el cálculo del módulo de flexión [F : Carga de flexión (N), L : Distancia entre rodillos (m), w : Ancho de la muestra (m), b : Grosor de la muestra (m) y d : Deformación de deflexión por carga (m)]

Tabla 1. Condiciones geométricas en las probetas según las normas ASTM E8M-11 y DIN 52-186

ASTM E8M-11	DIN 52-186
$L_0 = 0.2 \text{ m}$	$L = 0.127 \text{ m}$
$L_c = 0.057 \text{ m}$	$w = 0.025 \text{ m}$
$b = 0.0045 \text{ m}$	$b = 0.0045 \text{ m}$
$t = 0.02 \text{ m}$	$F = \text{variable}$
$R = 0.0125 \text{ m}$	$\delta = \text{variable}$
$wt = 0.0125 \text{ m}$	

En la Figura 6, se puede apreciar el montaje de los ensayos de tracción y flexión para cada probeta de Quiote y bambú en la máquina universal de ensayos mecánicos.

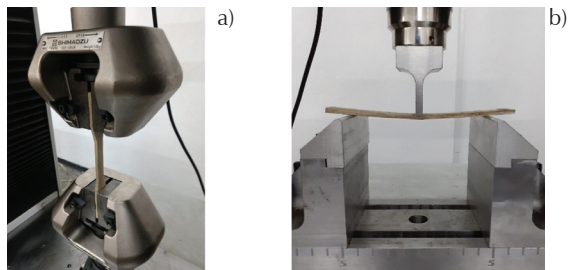


Figura 6. a) Ensayo de tracción y b) de flexión en la máquina universal de ensayos mecánicos

Las probetas se maquinaron de tal forma que las fibras fueran paralelas a la dirección de la carga y que la zona de trabajo fuese la región intermedia de las caras del tallo (cámbium y duramen), por consiguiente, las pruebas realizadas en este trabajo no consideran las fibras exteriores ni interiores del tallo. Es importante mencionar que las regiones del Quiote y bambú utilizadas para fabricar las probetas fueron aquellas desprovistas de nudos (o entre-nudos), es decir, las fracciones centrales del tallo (Figura 7).

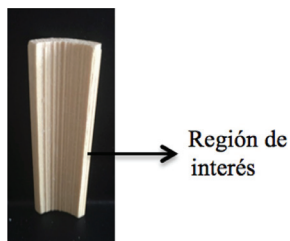


Figura 7. Zona entre nudo del tallo

Finalmente, las medidas estadísticas usadas para la evaluación de los resultados fueron la media y la desviación estándar.

RESULTADOS

Las Figuras 8 y 9, muestran las gráficas promedio “Esfuerzo de tracción (flexión) vs Deformación Unitaria” para los ensayos realizados en las probetas. En ambos casos se puede observar que el Quiote ofrece una mayor resistencia a la tensión. En lo que respecta a las pruebas de flexión, la deformación en ambos materiales tiene prácticamente el mismo valor, a diferencia de la tracción, donde el bambú presenta mayor deformación. Por lo tanto, ambos gráficos sugieren que el Quiote presenta una mayor capacidad de absorción de energía antes de fracturarse.

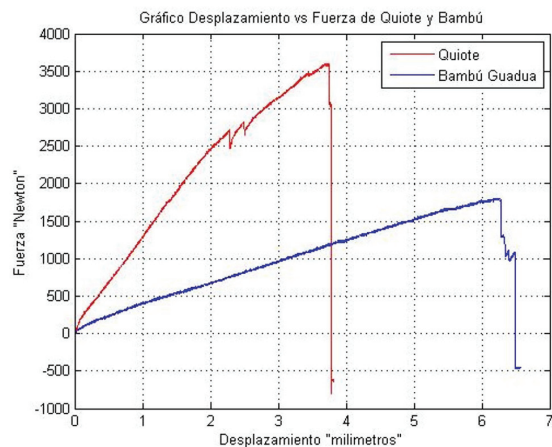


Figura 8. Gráfico Esfuerzo de tracción vs Deformación Unitaria del bambú Guadua y Quiote

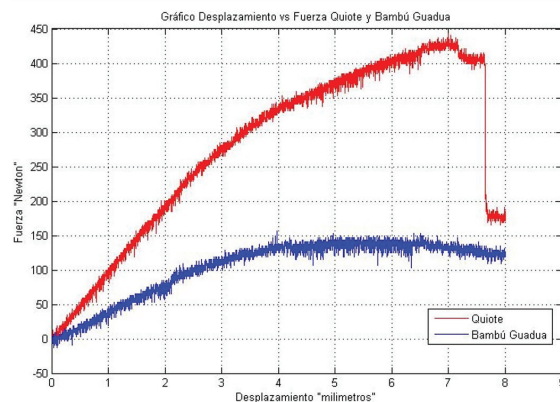


Figura 9. Gráfico Esfuerzo de flexión vs Deformación unitaria del bambú Guadua y Quiote

De manera más explícita, los resultados promedio de ambas pruebas se muestran en las Tablas 2 y 3.

De los resultados de la Tabla 2, se puede apreciar que el Quiote presenta un valor de esfuerzo máximo de flexión 2.83 veces mayor que el del bambú, lo que sugiere que este tipo de pedúnculo presenta mejores propiedades mecánicas en condiciones de flexión pura. Por otra parte, la Tabla 3 indica un valor de esfuerzo máximo de tracción mayor para el Quiote respecto al bambú (2 veces más). Sin embargo, en el caso de la deformación se puede observar que el bambú presenta mejores cualidades (1.52 veces más).

Dentro del mismo marco de la norma DIN 52-186, se determinó el módulo de flexión para los dos pedúnculos, calculado a través de la ecuación (1).

$$Eb = FL^3 / 4wb^3\delta \tag{1}$$

Tabla 2. Comparación de esfuerzo máximo de flexión del Quiote y bambú Guadua

	Esfuerzo Máximo Promedio (MPa)	Desviación estándar
Quiote	167	3.82
Bambú Guadua	59	2.35

Tabla 3. Comparación de esfuerzo máximo de tracción y deformación del Quiote y bambú Guadua

	Esfuerzo máximo Promedio (MPa)	Desviación estándar	Deformación promedio máxima (%)	Desviación estándar
Quiote	63	3.02	7.88	1.38
Bambú Guadua	33	2.61	12.04	1.69

La Tabla 4, muestra los valores promedio del módulo de flexión, donde se indica que el del Quiote es 2.04 veces superior al del bambú Guadua, tal y como se observa en el comportamiento gráfico de la Figura 9.

Tabla 4. Comparación de módulo de flexión del Quiote y bambú Guadua

	Módulo de Flexión "GPa"
Quiote	21.07
Bambú Guadua	10.30

Para relacionar el peso de cada uno de estos materiales con el volumen que ocupan, se evaluó su densidad. La Tabla 5 muestra los valores calculados de forma experimental.

Tabla 5. Valor de densidad de los tallos de bambú y Quiote

	Densidad (g/cm ³)
Quiote	0.4606
Bambú Guadua	0.2728

Es importante señalar que los resultados obtenidos para las propiedades mecánicas del bambú Guadua coinciden con los reportados en diferentes estudios (González *et al.*, 2007; Sapuyes *et al.*, 2018), lo cual valida esta metodología de trabajo y medición.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La evaluación de los esfuerzos de tracción y flexión en las dos especies de tallos es bastante interesante, principalmente se han logrado documentar técnicamente las propiedades mecánicas de un tallo que es desconocido en la mayoría de las regiones de México y el mundo.

En el caso del bambú Guadua, los resultados obtenidos son semejantes a estudios ya reportados, lo cual es una buena referencia para la validez de esta metodología experimental. Sin embargo, es muy importante considerar que la evaluación de estas propiedades me-

cánicas puede presentar importantes fluctuaciones debido al tipo y calidad de las fibras presentes en cada pedúnculo. Esencialmente, estas variaciones residen en la composición molecular de las fibras que componen el tallo y que están íntimamente ligados a parámetros complejos como la geografía, calidad del suelo y clima donde crecen.

El Quiote es un tallo completamente desconocido en la sociedad para aplicaciones en el área de ingeniería. Con base en los estudios realizados en este trabajo se demuestra que presenta propiedades muy atractivas, ya que lo pueden hacer un material altamente eficaz en resistencia mecánica porque posee características superiores a la tracción, tenacidad y flexión respecto al bambú Guadua.

Adicionalmente a los resultados presentados, se propone realizar ensayos referentes a la resistencia cortante, fatiga y compresión para obtener un panorama más general de las características del Quiote. De los 285 tipos de Maguey que hay descritos en el mundo, 200 se encuentran en México y su ecosistema varía en regiones áridas, semiáridas y templadas, por lo tanto, es muy conveniente realizar más investigaciones que incluyan los índices de crecimiento del tallo de Quiote, ya que su patrón de crecimiento pudiera ser semejante al bambú.

Finalmente, la presente investigación es tema de interés tanto en la física como en la ingeniería de materiales y sienta las bases para el desarrollo de proyectos técnicos, que posteriormente con una adecuada gestión de comercialización es una opción para contribuir al desarrollo sustentable de las comunidades rurales que dependen del aprovechamiento integral del maguey pulquero.

REFERENCIAS

- Alanís, G. & González, M. (2011). Formas de uso de los Magueyes (Agave spp.) en Nuevo León, México. *Revista Salud Pública y Nutrición*, 5, 287-299. [http://respyn2.uanl.mx/especiales/2011/ee-05-2011/documentos/\(31\)_glafiro_alanis-el_uso_de_magueyes_nl.pdf](http://respyn2.uanl.mx/especiales/2011/ee-05-2011/documentos/(31)_glafiro_alanis-el_uso_de_magueyes_nl.pdf)

- ASTM E8/E8M-11. (2011). Standard test methods for tension testing of metallic materials. ASTM book of standards.
- Carrasco, P. (2015). *Elaboración de un material compuesto y caracterización de sus propiedades mecánicas, para la posible fabricación de auto partes* (Tesis de grado), Instituto Politécnico Nacional. https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/18586/Tesis_Pablo%20A.%20Bravo%20Carrasco.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Cedeño, A. & Irigoyen, J. (2011). El Bambú en México. *Usjt. arq. urb*, 6(2), 223-243. <https://doi.org/10.37916/arq.urb.vi6.317>
- Chaowana, P. (2013). Bamboo: An alternative raw material for wood and wood-based composites. *Journal of Materials Science Research*, 2(2), 90-102. <https://doi.org/10.5539/jmsr.v2n2p90>
- Dávila, M. & Brugger, S. (2012). El Aprovechamiento del Bambú para impulsar el desarrollo económico sustentable en México. *Observatorio de la Economía Latinoamericana*, 176, 1-25. <https://www.eumed.net/cursecon/ecolat/mx/2012/desarrollo-economico-sustentable-mexico.html>
- DeWolf, J., Beer, F. & Johnston, R. (2018). *Mecánica de materiales*. España: McGraw-Hill.
- DIN 52-186. (1976). Prüfung von Holz Biegeversuch-Deutsches Institut für Normung e. V. 3.
- Estrada, M. (2010). *Extracción y caracterización mecánica de las fibras de bambú (Guadua angustifolia) para su uso potencial como refuerzo de materiales compuestos* (Tesis, Universidad de los Andes). <https://www.yumpu.com/es/document/read/16123102/tesis-extraccion-y-caracterizacion-mecanica-de-las-fibras-de>
- Faraldos, M. & Goberna, C. (2011). *Técnicas de análisis y caracterización de materiales*. Madrid: Editorial CSIC.
- González, H. Á. & Mesa-G., D. H. (2004). La importancia del método en la selección de materiales. *Scientia et Technica*, 10(24), 175-180. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84912053029>
- González, H., Montoya, J. & Bedoya, J. (2007). Resultados del ensayo a flexión en muestras de bambú de la especie Guadua angustifolia Kunth. *Scientia et Technica*, 1(35), 503-508. <https://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/5507/2837>
- Juárez, C., Valdez, P. & Durán, A. (2006). Fibras naturales de lechuguilla como refuerzo en materiales de construcción. *Revista Ingeniería de Construcción*, 21(3), 225-234. <http://www.ing.puc.cl/ric>
- León, C. A. (2014). El Maguey. *Arqueología mexicana*, 57, 1-56. <https://raices.com.mx/tienda/revistas-el-maguey-ES057>
- López, L. & Correal, J. (2009). Estudio exploratorio de los laminados de bambú Guadua angustifolia como material estructural. *Maderas, Ciencia y tecnología*, 11(3), 171-182. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2009000300001>
- Ordóñez, V. (1999). Perspectivas del bambú para la construcción en México. *Madera y Bosques*, 5(1), 3-12. <https://doi.org/10.21829/myb.1999.511350>
- Osorio, L., Trujillo, E., Van Vuure, A., Lens, F., Ivens, J. & Verpoest, I. (2010). The relationship between the bamboo fibre microstructure and mechanical properties. Proceedings 14th European conference on composite materials (on cd-rom), Paper ID: 982-ECCM14, 1-10. Recuperado de <https://irias.kuleuven.be/retrieve/215393>
- Ramsay, R. (2015). El Maguey en Gundhó, Valle del Mezquital (Hidalgo, México): Variedades, propagación y cambios en su uso. *Etnobiología*, 4(1), 54-66. <https://revistaetnobiologia.mx/index.php/etno/article/view/245/246>
- Sánchez, C. (2004). Modern aspects of mushroom culture technology. *Microbiology and Biotechnology*, 64(6), 756-762. <https://doi.org/10.1007/s00253-004-1569-7>
- Sapuyes, E., Osorio, J., Takeuchi, C., Duarte, M. & Erazo, W. (2018). Resistencia y elasticidad a la flexión de la guadua angustifolia Kunth de Pitalito, Huila. *Revista de Investigación*, 11(1), 97-111. <https://revistas.uamerica.edu.co/index.php/rinv/article/view/182>
- Shubhra, Q., AKMM, A. & MDH, B. (2011). Mechanical and degradation characteristics of natural silk fiber reinforced gelatin composites. *Materials letters*, 65(2), 333-33. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2010.09.059>
- Cómo citar:** Pérez-González D., Castro-Olivares J.E., Flores-Méndez J., Mendoza-Quiñonez J.A., Michua-Camarillo A. & Aparicio-Razo M. (2021). Evaluación y comparación de resistencia a la tracción y flexión de Quiote del Maguey Manso (*Agave Salmiana*) contra bambu Guadua. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 22 (03), 1-6. <https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2021.22.3.019>