

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA *GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH* COMO MATERIAL ESTRUCTURAL DE EJE PARA PROTESIS TRANSTIBIAL

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF THE *GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH* AS AN AXIS MATERIAL FOR TRANSTIBIAL PROTESIS

Edwin Blasnilo Rúa Ramírez¹
Nelson Iván Villamizar Cruz²
Luis Miguel González Torres³
Anyi Katherine Aperador Tovar⁴

¹ Est. Doctorado en Proyectos. Universidad Santo Tomas, Tunja, Colombia.

^{2, 3, 4} Universidad Santo Tomás, Tunja, Colombia.

¹ Est. Doctorado en Proyectos. Universidad Santo Tomas, Tunja, Colombia.

^{2, 3, 4} Universidad Santo Tomás, Tunja, Colombia.

Resumen

La guadua es conocida como "el acero vegetal" por su alta resistencia, utilizada generalmente en construcciones de viviendas, puentes y edificaciones. En este proyecto se realizó un estudio de la variedad *Angustifolia Kunth* procedente de Moniquirá-Boyacá, para determinar sus propiedades mecánicas y analizar su viabilidad como material estructural de eje para prótesis transtibial; lo anterior, con el propósito de brindar una ayuda técnica alternativa con un material poco convencional, dirigido a aquella población vulnerable con ausencia de alguno de sus miembros inferiores por debajo de la rodilla, a quienes no les es posible acceder a prótesis de última tecnología por su alto costo. Se realizaron ensayos de

compresión en la máquina universal SHIMADZU 50KNI, se tomaron como muestra 6 probetas, se sometieron a ensayo de compresión bajo la Norma Técnica Colombiana 5525 y se determinó su esfuerzo último a compresión. Se pudo concluir que la *Guadua Angustifolia Kunth* presenta un buen comportamiento a esfuerzos a compresión y resiste una carga máxima promedio de 28,1068 KN, desplazamiento máximo 1,216mm y una presión máxima de 32,7509 MPa. Estos valores en comparación respecto al estudio encontrado en probetas de hueso, la guadua es superior, pero entrando en comparación respecto a valores de materiales comerciales no es viable como alternativa para la implementación de eje para prótesis

transtibial. A pesar que con los valores obtenidos y la información encontrada acerca de este material presenta excelentes referencias de durabilidad hasta de 60 años con un proceso de inmunización.

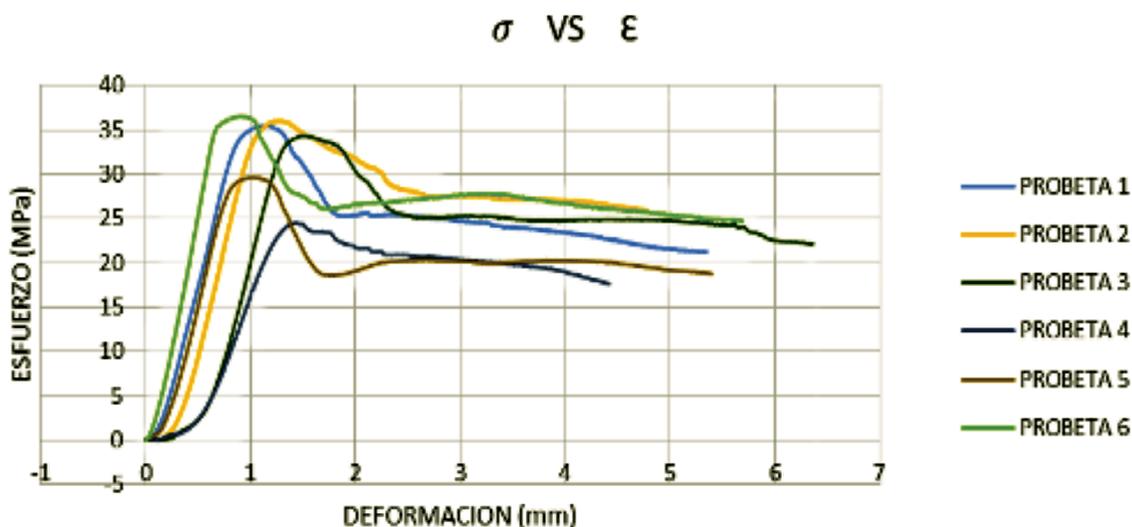
Palabras clave: Compresión, *Guadua Angustifolia Kunth*, hueso, prótesis transtibial.

Abstract

The *Guadua* is known as “vegetable steel” because of its high resistance, usually used in housing constructions, bridges and buildings. This project conducted a study of the variety *Angustifolia Kunth* from Moniquirá-Boyacá, to determine their mechanical properties and to analyze its viability as a structural material of shaft to prosthesis transtibial. These with the purpose of providing an alternative technical assistance with unconventional material focused on that disabled vulnerable population, for whom it is not possible to access prosthesis of latest technology because of its excessive

cost. Compression tests were performed on the universal Machine SHIMADZU 50KNI; 6 specimens were taken as sample and compression test were made under the Colombian Technical Standard 5525 and determined their last effort to compression. It was concluded that *Guadua Angustifolia Kunth* presents a good behavior to compression stresses and resists a maximum load average of 28,1068 KN, maximum displacement 1,216mm and maximum pressure of 32,7509 MPa. These values compared to the study found in bone specimens, *guadua* is superior, but compared to values of commercial materials is not viable as an alternative for the implementation of transtibial prosthesis shaft. Despite the fact that with the values obtained and the information found about this material, we present the references of durability up to 60 years with an immunization process.

Keywords: Compression, *Angustifolia Kunth* *Guadua*, bone, prostheses transtibial.



Resumen gráfico: Esta grafica presenta los resultados de la investigación acerca de las propiedades mecánicas de la *guadua Angustifolia Kunth* procedente al municipio de Moniquira Boyacá. El diagrama esfuerzo – deformación permite analizar y confirmar su viabilidad en el uso como eje para prótesis transtibial.

Introducción

Hasta un miembro artificial sencillo puede producir un gran cambio, afirma Werner (1990); quien diseñó una guía de salud para la población más vulnerable en condición de discapacidad, en la que se presenta entre otras, una manera artesanal para construir una prótesis transtibial en bambú o guadua, pues a pesar de la tecnología avanzada con la que se cuenta, aun no se logra satisfacer completamente la demanda de prótesis a sectores de recursos limitados por lo que se buscan alternativas como la planteada por Werner.

Una prótesis transtibial es una ayuda técnica diseñada para una persona con ausencia de la extremidad inferior por debajo de la rodilla (Figura 1) su propósito es tanto estético como funcional (Doberti, 2015), es decir, que permite y ayuda en el desplazamiento. En el mercado se encuentran prótesis fabricadas según Parra (2010) con aluminio, titanio y polietileno entre otros, debido a que son materiales con excelentes propiedades mecánicas y son livianos; por ejemplo en el artículo, Bioingeniería: "prótesis", se menciona que al aplicar un procedimiento al titanio se obtiene una variación de 0.000001mm al comparar la deformación de este con el aluminio; además, el aluminio laminado generalmente usado en prótesis, posee una resistencia a la tensión, 115-154 (MPa) y un límite de elasticidad, 197.23 (MPa). Sin embargo, tiene una desventaja ya que este presenta muy baja resistencia a la corrosión, mientras que el polietileno cuenta con buena resistencia al desgaste y presenta una apropiada estabilidad química. La combinación de estos materiales mejora la funcionalidad y resistencia de las prótesis, pero a su vez se incrementa el valor económico a causa de los procesos de manufactura que requieren la construcción y elaboración de este tipo de materiales.



Figura 1. Amputación transtibial.

Fuente: Ospina, J., & Serrano, F. (2009). El paciente amputado: complicaciones en su proceso de rehabilitación. *Revista Ciencias de la Salud*, 7(2).

Actualmente se ha visto un auge en la búsqueda e implementación de materiales nuevos y en el aprovechamiento de otros ya existentes, procurando una reducción en costos de fabricación y en un impacto ambiental positivo. En esta oportunidad se evaluó las propiedades mecánicas de la Guadua *Angustifolia Kunth* (GAK) procedente del municipio de Monquirá Boyacá, ya que por su cercanía con la capital boyacense (Tunja) se facilitó la obtención del material.

La GAK es considerada en varias regiones del país como un pasto gigante y ha sido utilizada según Castro (2014) como material estructural en casas, puentes y otros, por ser un material de alta resistencia, con los valores calculados a compresión obtuvo un esfuerzo admisible de 3.71 MPa y un módulo de elasticidad promedio de 4438.98 MPa, con los que afirmó que la Guadua *Angustifolia* es un material con características, físicas y mecánicas favorables para ser utilizados como elemento estructural.

Estudios realizados de la caracterización de la GAK cultivada en Miraflores (Boyacá) de acuerdo con la NSR-10, demuestra valores de esfuerzos de compresión paralela a la fibra en probetas con nudo y sin nudo, con resultados que van desde los 36-44 MPa para secciones con nudo y de 33.3-42.3 MPa para secciones sin nudo, estudio realizado con la finalidad de determinar si es apta para ser utilizada como material en construcciones sismo-resistentes. (Moreno, Rojas & Junco, 2012).

La GAK es un material renovable y sostenible de fácil obtención, esta Guadua entre 8 a 9 cm y de 10 a 12 cm de diámetro, por 6 metros de largo tiene un costo de 8000 pesos la unidad según pobladores de la zona. Con un tiempo de crecimiento y madurez entre 3-5 años, en sólo 6 meses consigue una altura hasta de 12 m, su diámetro exterior tiene un promedio de 12cm y un diámetro interior entre 8-10 cm (Obermann & Laude, 2003).



Figura 2. Guadua seca.

Fuente: Delgado, E. S. (2008). Actualidad y futuro de la arquitectura de bambú en Colombia (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de Catalunya).

El valor del esfuerzo cortante es muy importante a la hora de diseñar conexiones para unir elementos estructurales. Se recomienda que el traslape de elementos ya sea a compresión o a flexión, se haga en el nudo para evitar el cizallamiento (Cely moreno *et al.*, 2012).

La innovación en la construcción ha evolucionado notablemente en los últimos años, pasando de casas artesanales en guadua a grandes edificaciones gracias a sus propiedades mecánicas, se ha visto su implementación en obras arquitectónicas como las desarrolladas por el Arquitecto Simón Vélez teniendo como referencia la construcción Nomadic Museum, Zócalo de la Ciudad de México. No obstante, es innegable que su utilización ha tenido gran impacto en el desarrollo tanto estructural como ambiental y además de ser sustentable, el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 dedica un capítulo (G.12) a este material según como lo menciona Cruz (2016).



Figura 3. Puente de guadua en Colombia de Jorge Stamm.

Fuente: Laude, R., & Obermann, T. M. (2003). Bambú: recurso sostenible para estructuras espaciales. Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.

Según la zona donde se cultive esta variedad de guadua sus características cambian, no es lo mismo una guadua de Moniquirá que del Huila, sus características cambian por diversas razones como el clima, la humedad y el suelo.

Fue de gran trascendencia analizar el comportamiento de la GAK, especialmente a compresión, que es el esfuerzo principal al que se verá sometida la prótesis transtibial, para determinar la viabilidad de este material 100% natural como estructural de eje de la ayuda técnica a estudiar.

Materiales y métodos

Se realizó una búsqueda y selección de artículos científicos publicados en revistas de investigación relacionados con el tema de los que se mencionan datos importantes a lo largo de este artículo.

Para la elaboración de ejes de prótesis, la investigación giró en torno a las de tipo transtibial, de las que se investigaron las características mecánicas y materiales más utilizados como son los metálicos, basados en aleaciones de titanio cuyos valores se presentan más adelante.

Los elementos de aleación están disueltos como disoluciones sólidas y les proporcionan mejoras ante la corrosión, el desgaste o bien las propiedades mecánicas. Algunos elementos en estado puro, como el cobalto, el níquel o el vanadio, son en general tóxicos y en muchas ocasiones producen reacciones alérgicas. Sin embargo, estando aleados como disoluciones sólidas la cantidad de iones que se liberan en el medio fisiológico es

insignificante y, por tanto, no suponen riesgo. Estas familias de metales utilizados en clínica se caracterizan por tener una excelente resistencia a la corrosión, debido a que en la superficie se forma una capa de óxido inerte que inhibe el ataque del medio fisiológico al metal y le confiere una extraordinaria protección (Gil, F. J. *et al.*, 1999).

Según Nehler *et al.* (2013) el peso de la prótesis no tiene influencia en el costo energético de la marcha, lo que explicaría que muchas personas se adapten al uso de prótesis pesadas. Esta información es relevante para que los clínicos no se limiten en la prescripción de elementos accesorios como rotadores o adaptadores en ciertas prótesis.

Se realizó una búsqueda de características para determinar el esfuerzo máximo a compresión que soporta la tibia, la cual fue obtenida de la página virtual de la Universidad de Antioquia en el curso de biomecánica, los valores se muestran a continuación:

Tabla 1. Propiedades mecánicas de los huesos corticales

| Hueso cortical | | | |
|---------------------------------|-------------|--------------|------------------|
| Propiedad | Transversal | longitudinal | Hueso trabecular |
| Resistencia en compresión (MPa) | 106-133 | 167-213 | 50 |
| Resistencia en tracción (MPa) | 51-56 | 78-150 | 8 |

Fuente de consulta. Universidad de Antioquia, Facultad de Ingenierías, Biomecánica.

Disponible online: <http://aprendeonline.udea.edu.co/lms/moodle/mod/page/view.php?id=164158>

En este artículo la Universidad de Antioquia presenta una simulación en la que explican cuál es el esfuerzo máximo a compresión que recibe la tibia, para una persona de 75 kg de peso que realiza un salto, donde demuestran

que la carga o fuerza aplicada sobre la tibia es 5 veces el peso de la persona, llegando a obtener un esfuerzo máximo de 17 MPa. Según lo indica Uribe (2016).

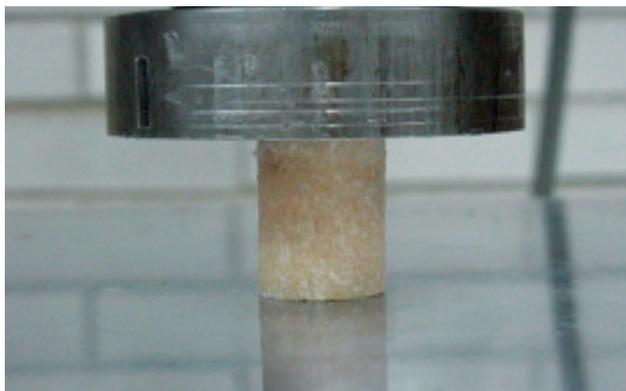


Figura 4. Probeta de hueso para ensayo compresión.

Fuente: Cerrud-Sánchez *et al.* (2005). Modelado del comportamiento mecánico del hueso (análisis de los efectos del grado de hidratación).

En la investigación de Cerrud-Sánchez *et al.* (2005) elaboraron probetas compuestas de hueso de porcino y bovino para realizar

ensayos a compresión, los cuales tienen el comportamiento más parecido al hueso humano en cuanto a huesos esponjosos y corticales se refiere, luego someten a ciertos grados de hidratación con el fin de encontrar el comportamiento más aproximado a las condiciones naturales y de viscosidad que este posee.

Inicialmente se realizaron ensayos de compresión a las probetas sin hidratación. Para efectuar las pruebas se utilizó una máquina electromecánica Instron, modelo 4206 a una velocidad de 0.05 mm/min. Cada espécimen fue colocado entre una placa y un dispositivo cilíndrico para realizar la compresión. La carga se obtuvo con una celda de carga de 5KN (Cerrud-Sánchez *et al.*, 2005).

m*s⁻¹

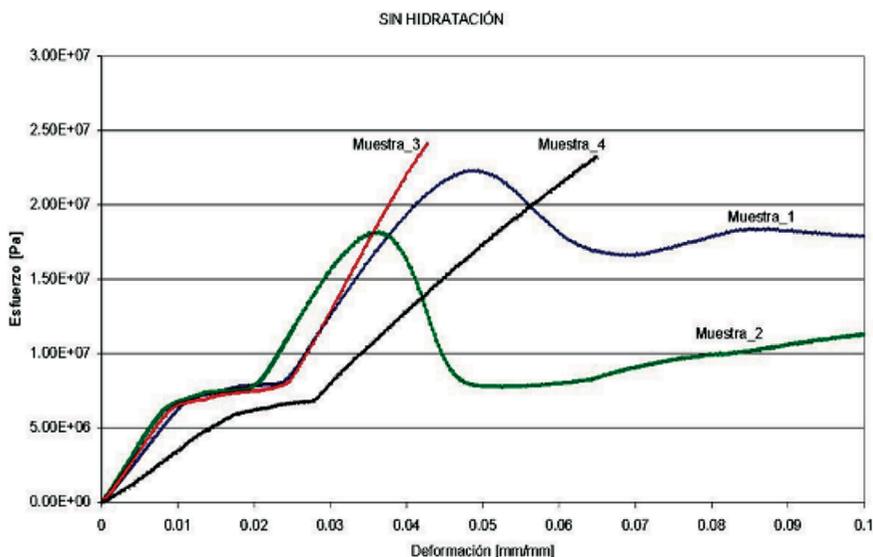


Figura 5. Curva σ vs ϵ del hueso sin hidratación en ensayo de compresión.

Fuente: Cerrud-Sánchez *et al.*, 2005. Modelado del comportamiento mecánico del hueso (análisis de los efectos del grado de hidratación).

La siguiente información fue obtenida de una investigación acerca del estudio del titanio y la aleación Ti6Al4V en el cual su objetivo fue determinar sus propiedades mecánicas y

garantizar una resistencia mecánica suficiente como para soportar cargas en uso, al igual que su rigidez, similar a la soportada por el hueso humano. En el artículo miden diferentes

propiedades mecánicas de materiales porosos de titanio y de la aleación Ti6Al4V, producidos por vía pulvimetalúrgica mediante sinterización con espaciador. Los resultados muestran la relación entre la porosidad y las propiedades

mecánicas, indicando los casos en los que se presenta un compromiso entre la rigidez y la resistencia mecánica cuyos resultados son los siguientes (Tojal *et al.*, 2010).

Tabla 2. Resistencia para flexión y compresión en probetas de titanio.

| % Bicarbonato Sódico | Ti | | |
|-------------------------|------------------|------------------|---------------------|
| | σ_c (MPa) | σ_f (MPa) | σ_f rel. (%) |
| 0 | >2.500 | 1.432±60 | 100 |
| 60 | 670±180 | 249±20 | 17 |
| 70 | 286±180 | 133±12 | 9 |
| 80 | 116±14 | 57±8 | 4 |

Fuente de consulta. Adaptado de: Farak, S. L., & Cabrera, J. B. (2012). *Obtención y caracterización de Ti cp poroso para aplicaciones biomédicas* (Doctoral dissertation, Tesis Doctoral).

Tabla 3. Resistencia para flexión y compresión para probetas de la aleación Ti6Al4V.

| % Bicarbonato Sódico | Ti6Al4V | | |
|-------------------------|------------------|------------------|---------------------|
| | σ_c (MPa) | σ_f (MPa) | σ_f rel. (%) |
| 0 | >2.500 | 1.866±80 | 100 |
| 60 | 848±127 | 318±17 | 15 |
| 70 | 479±36 | 143±19 | 8 |
| 80 | 136±18 | 56±3 | 3 |

Fuente de consulta. Adaptado de: Farak, S. L., & Cabrera, J. B. (2012). *Obtención y caracterización de Ti cp poroso para aplicaciones biomédicas* (Doctoral dissertation, Tesis Doctoral).

La aleación Ti6Al4V es la más utilizada de entre todas las de titanio para aplicaciones biomédicas, ya que presenta excelentes propiedades mecánicas, resistencia a la corrosión, biocompatibilidad y se pueden modificar sus propiedades, mediante tratamiento térmico. Sin embargo, no presenta una buena resistencia al desgaste, pudiendo presentar desgaste incluso con el rozamiento con tejidos blandos. El Ti6Al4V comienza a ser la aleación metálica de mayor utilización para prótesis articulares, mejorándose sus propiedades tribológicas por medio de diferentes procesos de endurecimiento, como son

nitruraciones mediante implantación iónica o mediante difusión de nitrógeno (Ginebra & Planell, 1999).

Investigaciones avanzadas han demostrado que los biomateriales pueden llegar a ser una gran competencia para los materiales ya mencionados con los cuales son elaboradas las prótesis; biomateriales tales como el Bambú de variedad *Guadua Angustifolia Kunth* han demostrado históricamente ser materiales resistentes, ante esfuerzos a compresión y flexión por lo cual se han utilizado bastante en la arquitectura tradicional. (Delgado, 2008)

Se realizó una detallada investigación acerca de las características de la GAK en la que se consultó su proceso de recolección: cortado, secado e inmunización; información importante para lograr un impacto ambiental favorable de esta especie ya que juega un papel fundamental para permitir que la variedad se siga preservando.

El corte de bambú se realizó por encima del nudo (sección del bambú libre de tabiques) ver figura 6, de esta manera no queda una sección en la cual se deposite el agua en la base planta y por lo tanto, se pudra, además es recomendable hacer el corte a una distancia aproximada de 10 cm del suelo en horas de la media noche o un poco después, esto se debe a que en esta hora, la sabia de la planta se encuentra en la parte más baja por lo tanto no habrá problemas tales como separación de fibras en la sección; si no es posible cortar a esta hora también se puede hacer en época de mengüante. Un adecuado secado y proceso de inmunización son esenciales al momento de utilizar el biomaterial.

El proceso de inmunización se realizó mediante el método de inmersión en el cual se utilizó bambú con un contenido de humedad menor al 20% (el secado puede ser natural o por medio de un horno), una solución salina denominada "pentaborato" que consiste en una mezcla de 1 Kg de bórax, 1 Kg de ácido bórico y 50 l de agua. Para realizar el proceso fue necesario

perforar los tabiques de la sección a utilizar y fueron sumergidos en la solución alrededor de 8 horas, luego del proceso de inmunización se dejaron secar nuevamente de manera vertical, aislados de la humedad alrededor de unos 20 días. Estos procesos se llevaron de acuerdo con la Norma Técnica Colombiana 5301 encargada de la preservación y secado de la *Guadua Angustifolia* Kunth y la NTC 5300 del corte de bambú.



Figura 6. Probetas de GAK para ensayo a compresión.

Fuente: Autores.

Ya teniendo la sección de bambú a utilizar, se elaboraron 6 probetas como se muestran en la figura 6 para realizar el ensayo a compresión. El tamaño y las dimensiones de estas se fijaron de acuerdo con las orientaciones dadas por la Norma Técnica Colombiana 5525.

Tabla 4. Características de las probetas

| Numero de la probeta | Diametro externo en mm | Altura en mm |
|----------------------|------------------------|--------------|
| 1 | 32.6 | 68.3 |
| 2 | 32 | 66 |
| 3 | 33.5 | 68.3 |
| 4 | 33.9 | 69.1 |
| 5 | 37 | 69 |
| 6 | 30 | 66 |

Fuente: Autores

Las seis (6) probetas se sometieron a ensayos de compresión axial basándose en la norma con la máquina universal SHIMADZU 50KNI manteniendo en la parte superior e inferior de la probeta unas placas metálicas como se evidencia en la figura 7, con las cuales se logró que el esfuerzo fuera uniforme en toda la probeta siendo de este modo perpendicular a las fibras y tener así una mejor prueba, es importante aclarar que las probetas utilizadas fueron tomadas de la sección libre de nudos. La velocidad utilizada en los ensayos fue de 0.01mm/s, la cual fue constante durante todo el proceso y la misma para las seis probetas.

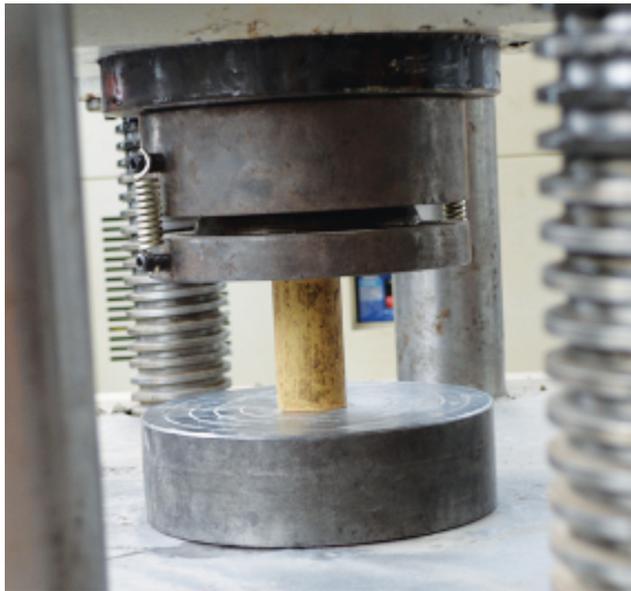


Figura 7. Ensayo de compresión en máquina universal SHIMADZU 50KNI.

Fuente: Autores.

Resultados y Discusión

Para realizar los cálculos y el análisis de los resultados se tuvo en cuenta la norma NTC 5525 "MÉTODOS DE ENSAYO PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA GUADUA *ANGUSTIFOLIA KUNTH*", la cual describe los parámetros que se deben tener en cuenta para desarrollar dicho proceso, a continuación, se muestra las principales fórmulas utilizadas y las variables a graficar.

Para el ensayo de compresión axial realizado a las seis (6) probetas se aplicó una carga inicialmente no mayor a 1 KN para acomodar la probeta, en el cual la carga se aplicó continuamente durante el ensayo para hacer que el cabezal móvil de la máquina se desplazara a una velocidad constante de 0.01 mm/s.

El diámetro utilizado para obtener el área de la sección transversal para el cálculo de los esfuerzos fue tomado de la tabla 4 para cada probeta.

Los valores de esfuerzo se obtuvieron de la siguiente ecuación.

$$\sigma = \frac{F}{A} \text{ (Ecuación 1)}$$

DONDE:

σ : Esfuerzo último de compresión en MPa

F: Carga máxima a la cual falla la probeta en N

A: Área de la sección transversal en m²

A continuación se muestran los valores obtenidos del ensayo en la figura 8.

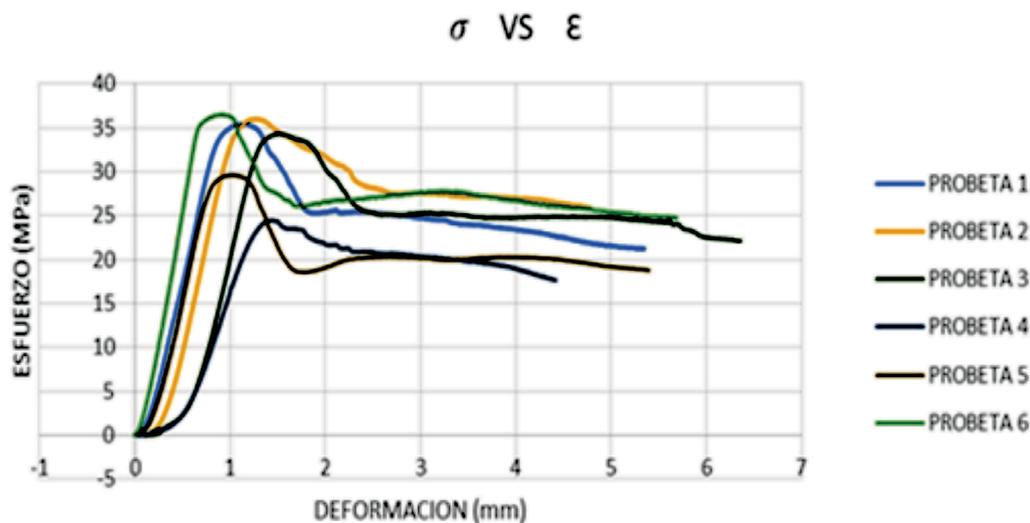


Figura 8. Módulo de Young de las seis (6) probetas.

Fuente: Autores

Como se puede observar en la figura 8 que las probetas 1, 2, 3, 6 tienen un comportamiento similar en cuanto a su esfuerzo a compresión máximo soportado. Para el caso de las probetas 4 y 5, se nota una considerable

desigualdad en sus esfuerzos máximos soportados en comparación de las anteriores. En la tabla 5 se pueden observar los resultados del ensayo realizado.

Tabla 5. Resultados de esfuerzo a compresión.

| PROBETA | CARGA MAXIMA (KN) | MAXIMO DESPLAZAMIENTO (mm) | MÁXIMO ESFUERZO (MPa) |
|---------|-------------------|----------------------------|-----------------------|
| 1 | 29,62 | 1,10 | 35,49 |
| 2 | 28,96 | 1,28 | 36,01 |
| 3 | 30,26 | 1,51 | 34,33 |
| 4 | 22,09 | 1,44 | 24,47 |
| 5 | 31,84 | 1,02 | 29,61 |
| 6 | 25,84 | 0,92 | 36,56 |

Fuente. Autores

De acuerdo con el análisis de los resultados se puede decir que, para el caso de las probetas 4 y 5 hubo algún factor que causó un menor resultado en comparación con las demás, el cual se cree que fue alguna fisura provocada al momento del corte de las probetas y no fue identificada al momento de realizar

las pruebas a pesar de que a todas las probetas se les realizó una detallada inspección visual con la finalidad de poder tener los mejores resultados. Los promedios de los resultados obtenidos del ensayo son: carga máxima 28,10KN, desplazamiento máximo 1,21mm y presión máxima 32,75MPa.

A continuación, se realiza la comparación de las propiedades mecánicas a compresión de las probetas del hueso y materiales comerciales en el mercado utilizados en la elaboración de ejes para prótesis transtibial con respecto a los resultados obtenidos de las probetas de GAK y de esta manera, poder determinar la viabilidad de la Guadua (GAK) como biomaterial.

Comparando los resultados obtenidos por los ensayos a compresión en las probetas de GAK vs la información recopilada de las probetas de huesos sin hidratación, se evidencia en la figura 5 que el esfuerzo máximo soportado por las cuatro muestras analizadas no superan los 25 MPa, obteniendo como resultado del análisis de esta comparación que la GAK presenta un buen comportamiento a esfuerzos a compresión respecto al hueso humano, siendo los resultados de carga máxima soportada a compresión aproximadamente de 7 MPa por encima de éste.

Comparando con el titanio, para el caso de la tabla 2, se toma el dato con 0 % de bicarbonato debido a que, al incrementar el contenido de este en el titanio, el porcentaje de porosidad aumenta y la comparación es con un material no poroso para este caso la guadua, teniendo las probetas de GAK un $\sigma_c=32,7509\text{MPa}$ y Ti un $\sigma_c\geq 2500\text{MPa}$.

Para el caso de la tabla 3, igual se toma el valor con 0 % de bicarbonato, comparando nuevamente las probetas de bambú, pero ahora con la aleación Ti6Al4V se observa que tiene un $\sigma_c\geq 2500\text{MPa}$, el mismo esfuerzo a compresión que el titanio y por tanto, también está muy por encima del esfuerzo soportado por las probetas de GAK.

Se debe tener claro que las probetas de bambú únicamente se sometieron a un proceso de

inmunización, por ende las propiedades mecánicas del material siguen siendo las mismas y de este modo se estaría trabajando con un material 100 % natural.

Otra comparación corresponde al esfuerzo de compresión al que trabaja normalmente una persona en un salto, siendo esta actividad en la que mayor cantidad de esfuerzo somete a la tibia, y respecto al ejemplo ya mencionado tomado de la Universidad de Antioquia de una persona con una masa de 75 Kg, proporcionando un esfuerzo a compresión axial de 17MPa, se evidencia que el bambú a pesar de estar muy por debajo de los esfuerzos que soporta el titanio, la resistencia a esfuerzos de compresión de la Guadua (GAK) es superior al esfuerzo que puede soportar la tibia de una persona con esta masa, así mismo de acuerdo al resultado ya presentado en la comparación con las probetas de hueso se ratifica que es buen material. Cabe aclarar que el esfuerzo máximo a compresión que podría recibir un hueso cortical entre los cuales se clasifica la tibia esta entre 106-133 MPa (Tabla 1), esto para que haya fractura.

En la actualidad, los materiales compuestos con biomateriales están generando un impacto favorable, ya que son capaces de mejorar sus propiedades mecánicas y físicas, es por esto que la elaboración de un material compuesto a base de Bambú sería una mejor opción y como lo demuestran las investigaciones realizadas por el programa Ingeniería Aeronáutica de la Facultad de Ingeniería, Universidad de San Buenaventura en Bogotá, Colombia en los cuales obtuvieron un material compuesto con base en las fibras de bambú para aplicaciones aeronáuticas (Gómez Páez, J., & Montero Ramírez, L. 2013). Siendo este el paso a seguir con la investigación, con el fin de ser utilizado para la construcción de un eje para prótesis transtibial.

Conclusiones

- A partir de los ensayos a compresión se puede concluir que se obtuvo un resultado favorable para la GAK, pero no el suficiente para poder utilizar este biomaterial en su composición 100% natural para la utilización de este tipo de ayudas técnicas como los son los ejes para prótesis transtibiales.
- La GAK es un material con buenas propiedades mecánicas y se puede mejorar mediante la elaboración de un material compuesto que lo contenga como principal componente, por diferentes métodos a través de la utilización de sus fibras o con material pulverizado, entre otros, teniendo como antecedentes las diferentes aplicaciones que ha generado la evolución de estos materiales, como se mostró anteriormente en la aeronáutica.
- Los bajos costos de adquisición del bambú y la elevada cantidad de esta especie en el país, es una ventaja al momento de utilizarlo como material compuesto, teniendo este no solo aplicaciones biomédicas y aeronáuticas, sino de otro tipo analizándolo debidamente.
- Desde una perspectiva amigable con el medio ambiente se puede concluir que este material no provoca ningún daño o contaminación ambiental, siempre y cuando se cumplan a cabalidad las normas de preservación y secado de la especie (NTC 5301).
- La *Guadua Angustifolia Kunth* puede ser viable como alternativa para la implementación en prótesis transtibial, siendo este un material fácilmente asequible y de muy bajo costo, destacándose como una buena opción para las personas de bajos recursos, es importante resaltar que para mayor confiabilidad, será necesario analizar otras variables como son durabilidad y desgaste.

Literatura citada

- Castro, Á., & Darwin, F. (2014). Propiedades físicas y mecánicas de la *Guadua Angustifolia* con fines estructurales.
- Moreno, L. A. C., Rojas, W. G. H., & Junco, O. J. G. (2012). "Caracterización de la *Guadua Angustifolia Kunth* cultivada en Miraflores (Boyacá) de acuerdo con la NSR-10." *Revista Facultad de Ingeniería-UPTC* 21.33.
- Sánchez, S. M. C., Clemente, M. Y. N., González, V. M., & Schouwenaars, R. (2005). Modelado del comportamiento mecánico del hueso (análisis de los efectos del grado de hidratación). *Ingeniería Mecánica. Tecnología y Desarrollo*, 1(6).
- Cruz, G. A. (2016). Determinación del módulo de elasticidad a compresión de un material compuesto de madera en su núcleo y guadua laminada pegada en el exterior (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia-Sede Bogotá).
- Delgado, E. S. (2008). Actualidad y futuro de la arquitectura de bambú en Colombia (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de Catalunya).
- Martínez, A. J. D. (2015). Diseño de una prótesis de pierna para amputados transtibiales. Disponible en <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/137154>
- Gil, F. J., Ginebra, M. P., & Planell, J. A. (1999). Metales y aleaciones para la substitución de tejidos duros. Gil, FJ [et al.]. Metales y aleaciones para la substitución de tejidos duros. *Biomecánica*, 1999, vol. VII, núm. 13, p. 73-78.
- Páez, J. G., & Ramírez, L. M. (2013). Diseño de pie protésico de reacción dinámica elaborado con materiales compuestos.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas. (2007). Métodos de ensayo para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la *Guadua Angustifolia Kunth* (NTC5525). Bogotá: ICONTEC.
- Moreno, L. A. C., Rojas, W. G. H., & Junco, O. J. G. (2012). Caracterización de la *Guadua Angustifolia Kunth* cultivada en Miraflores (Boyacá) de acuerdo con la NSR-10. *Facultad de Ingeniería*, 21(33), 53-71.
- Nehler, M. R., Coll, J. R., Hiatt, W. R., Regensteiner, J. G., Schnickel, G. T., Klenke, W. A., & Moskowitz, S. (2003). Functional outcome in a contemporary series of major lower extremity amputations. *Journal of vascular surgery*, 38(1), 7-14.

- Laude, R., & Obermann, T. M. (2003). Bambú: recurso sostenible para estructuras espaciales. Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.
- Tojal, C., Devaud, J., Amigó, V., & Calero, J. A. (2010). Caracterización mecánica de aleaciones porosas, base Ti, producidas mediante la técnica de sinterización con espaciador. *Revista de Metalurgia*, 46(Extra), 26-32.
- Vélez, S. E. S. (2006). Símbolo y búsqueda de lo primitivo [tesis doctoral]. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña, Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona (ETSAB).
- Werner, D. (1990). El niño campesino deshabilitado: una guía para promotores de salud, trabajadores de rehabilitación y familias. Fundación Hesperian.

Conflicto de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

