



POTENCIALIDAD DEL USO DE LA *GUADUA* ANGUSTIFOLIA KUNTH PARA EL REFUERZO EN TABLEROS DE CEMENTO

POTENTIALITY OF THE USE OF *GUADUA* ANGUSTIFOLIA KUNTH FOR THE REINFORCEMENT IN CEMENT

¹Luz Adriana Sánchez Echeverri, ²Nelson Javier Tovar Perilla, ³Eshmaiel Ganjian

^{1,2}Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería – CEAD Ibagué.

³Department of the Built Environment, Faculty of Engineering & Computing – Coventry University.

Recibido: 15/10/2021 Aprobado 20/11/2021

RESUMEN

La necesidad de materiales de construcción sostenible, respetuosa con el medio ambiente y eficiente energéticamente justifican el interés en el desarrollo de materiales compuestos de cemento reforzados con fibras de *Guadua Angustifolia Kunth*. Esta planta se caracteriza por sus buenas propiedades mecánicas mostrando una alta resistencia a la flexión y la compresión, por lo que es conocida como el acero vegetal. Si bien la guadua como material completo es utilizado en diferentes regiones del país para la construcción de viviendas, pocos estudios se han desarrollado para el uso de sus fibras. En esta investigación, fibras de *Guadua Angustifolia Kunth* obtenidas después de un tratamiento alcalino se emplearon como refuerzo en la producción de tableros compuestos de cemento. El tratamiento alcalino tuvo tres niveles diferentes de cocción 1, 2 y 3 horas. Se fabricaron 9 probetas por el método de vaciado con cada uno de los niveles de tratamiento, además la evaluación de las propiedades mecánicas se realizó a los 7, 28 y 180 días de curado. La variación estructural de banda asociadas a carbohidratos estructurales de las fibras debido al tratamiento y la respuesta a la flexión de los tableros a los 7, 28 y 180 días de curado fue evaluada. Se pudo observar que el tratamiento con hidróxido de calcio reduce el contenido de compuestos no celulósicos y la inclusión de estas fibras como refuerzo en tableros de cemento genera materiales con propiedades mecánicas adecuadas para su uso en aplicaciones de construcción no estructural.

Palabras clave: materiales compuestos; *Guadua Angustifolia Kunth*; tratamiento alcalino.

Citación: Sánchez Echeverri, L. A. , Tovar Perilla, N. J. ., & Ganjian, E. . (2021). Potencialidad del uso de la *guadua angustifolia kunth* para el refuerzo en tableros de cemento. *Publicaciones E Investigación*. <https://doi.org/10.22490/25394088.5599>

¹luz.sanchez@unad.edu.co, <https://orcid.org/0000-0003-1968-3449>

²nelson.perilla@unad.edu.co, <https://orcid.org/0000-0001-6330-4181>

³e.ganjian@coventry.ac.uk, <https://orcid.org/0000-0002-1522-1434>

<https://doi.org/10.22490/25394088.5599>

ABSTRACT

The need for sustainable, environmentally friendly and energy efficient building materials have developed the interest in the investigation of cement composites reinforced with Guadua Angustifolia Kunth fibers. This plant is characterized by its good mechanical properties showing a high resistance to bending and compression, which is why it is known as vegetable steel. Although all Guadua culm is used in different regions of the country for the construction of houses, few studies have been developed for the use of its fibers as reinforcement. In this research, Guadua Angustifolia Kunth fibers obtained after an alkaline treatment were used as reinforcement in the production of cement composite boards. The alkaline treatment had three different cooking levels 1, 2 and 3 hours. 9 specimens were manufactured by the casting method with each of the treatment levels, in addition the evaluation of the mechanical properties was carried out at 7, 28 and 180 days of curing. The structural variation of the band associated with structural carbohydrates of the fibers was evaluated after the treatment, as well as the flexural response of the boards at 7, 28 and 180 days of curing was evaluated. It was observed that the treatment with Calcium Hydroxide reduces the content of non-cellulosic compounds and the inclusion of these fibers as reinforcement in cement boards generates materials with adequate mechanical properties for use in non-structural construction applications.

Keywords: Composite materials; *Guadua Angustifolia Kunth*; Alkaline treatment.



1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de los ecomateriales obtenidos de diversos tipos de biomasa tales como, residuos agrícolas, forestales, y agroalimentarios, entre otros, son de vital y creciente importancia a nivel mundial. Estos materiales suponen una alternativa sostenible y ecológica para reemplazar algunos compuestos que utilizan de manera directa petróleo y/o algunos de sus productos derivados.

Es bien sabido que el sector de la construcción es mundialmente considerado como uno de los principales actores en el proceso de modificación del planeta y de contaminación, pues es un gran consumidor de recursos y generador de desechos. El 40 % de las materias primas en el mundo, que equivalen a más de 3.000 millones de toneladas por año, son destinadas para la construcción (Acevedo Agudelo, Vásquez Hernández & Ramírez, 2012). En este sector se han explorado nuevas posibilidades de materiales, razón por la cual han dedicado sus esfuerzos a la búsqueda de materiales con menos impacto ambiental y que proporcionen las mismas características físico-mecánicas que se obtienen con los materiales empleados actualmente. En

esta búsqueda de nuevos materiales, la incorporación de fibras obtenidas naturales se ha convertido en una nueva alternativa; estos materiales se conocen como materiales compuestos y tienen como características bajo costo, menor impacto ambiental y bajo consumo energético (Brandt, 2008).

En recientes años, los materiales compuestos se han enfocado en la industria de la construcción, dada su importancia para el desarrollo económico y social y el impacto ambiental que esta industria genera año tras año. Dentro de los principales problemas a los que se enfrenta el desarrollo de estos nuevos materiales es encontrar fuentes alternativas de las materias primas, así como la transición hacia un nuevo modelo productivo que reduzca la presión sobre el medio ambiente y los recursos naturales, desarrollando procesos menos contaminantes y que no comprometan la seguridad alimentaria. En países en vía de desarrollo, es necesario la producción de materiales de construcción de bajo costo, por eso el uso de las fibras vegetales no madereras son una alternativa potencial para el reemplazo de fibras como el asbesto

o fibras provenientes de recursos no renovables. En la fabricación de compuestos de cemento reforzados con fibras se han utilizado fibras naturales provenientes de diferentes fuentes como coco, jute, eucalipto entre otras (Tolêdo Filho *et al.*, 2000; Ferraz *et al.*, 2011; Wei & Meyer, 2014).

Para que la incorporación de fibras en cemento mejoren las propiedades mecánicas de éste, es necesario obtener fibras que optimen las interacciones fibra-matriz y en particular de la interface que se origina y de su capacidad para transmitir los esfuerzos generados (Wei & Meyer, 2014, 2015; Khorami *et al.*, 2017; Cai *et al.*, 2016). Por esta razón se han estudiado varios tratamientos a las fibras con el objetivo de ser usadas como refuerzo en tableros de cemento (Sanchez-Echeverri, Medina-Perilla, Quintana & Ganjian, 2020).

La exploración de la potencialidad de uso de fibras locales como lo son las fibras de *Guadua Angustifolia Kunth* es una prioridad para cualquier país que quiera asegurar su competitividad y liderazgo tecnológico en el mercado internacional. El campo de los materiales tiene un peso importante en la economía de los países desarrollados; la competitividad de muchos de los grandes sectores industriales depende, en gran medida, de su capacidad para generar innovaciones en este campo. Por esta razón en este trabajo se explora la potencialidad para utilizar fibras provenientes de la *Guadua Angustifolia Kunth* en el refuerzo de tableros de cemento.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Materias primas

Como refuerzo en los tableros de cemento se utilizaron fibras de *Guadua* provenientes de la Tebaida, Quindío (Colombia) y extraídas de los internodos de la basa del culmo (Figura 1). Como matriz se empleó cemento Portland Tipo I (CP) con un área superficial específica de $2.600 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ y gravedad específica de $3-3.25 \text{ ton m}^{-3}$ satisfaciendo los requerimientos de la norma BS EN 197-1: 2000. Finalmente, se utilizó hidróxido de calcio (PANREAC®) para realizar los tratamientos alcalinos de las fibras.

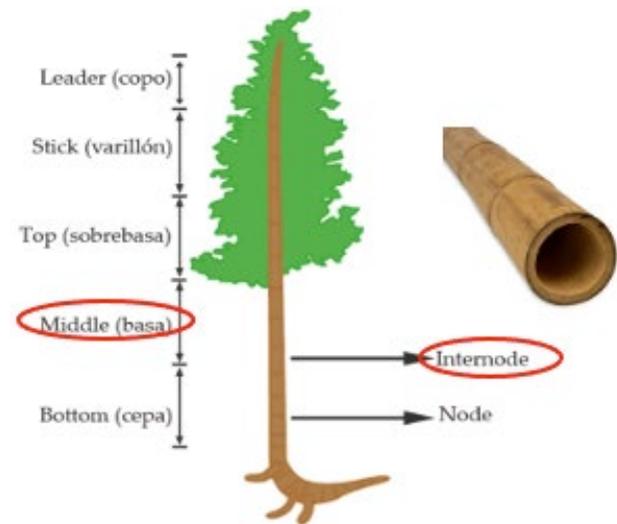


Figura 1. Partes del culmo de la *Guadua Angustifolia Kunth*.

Los internodos de *guadua* se cortaron en una máquina de sierra de cinta (Shop Fox W1706) para obtener chips de aproximadamente $50 \text{ mm} \times 20 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$; estos trozos se trituraron en un molino de cuchillas (CONDUX CS150 100-2), y pasaron por un tamiz empacador de $0,23 \text{ mm}$ con el objetivo de obtener fibras para ser tratadas alcalinamente. (Figura 2).



Figura 2. Preparación de la *Guadua Angustifolia Kunth* antes del tratamiento alcalino.

Después de haber pasado por el tamiz, se realizó el tratamiento alcalino, con el objetivo de eliminar los compuestos no celulósicos. Para el tratamiento se seleccionaron 3 niveles de tiempo de cocción (1h – 2 h y 3h). La Figura 3 muestra el proceso realizado para el tratamiento alcalino.

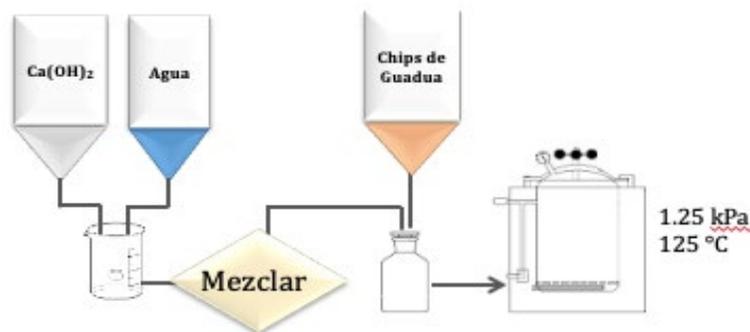


Figura 3. Tratamiento alcalino para obtención de fibras de *Guadua Angustifolia Kunth*.

2.2 Fabricación de los tableros

La fabricación del material es un paso importante ya que influye en las propiedades mecánicas finales. El proceso de manufactura se muestra en la Figura 4, este proceso es la réplica, a nivel de laboratorio, del proceso industrial conocido como el método Hatschek.

Se elaboraron 3 muestras por cada uno de los niveles de tratamiento alcalino, y 3 por cada periodo de curado, para un total de 9 probetas. Con el fin de tener una muestra de control para comparar la efectividad del tratamiento se elaboraron 3 muestras con 5 % de fibra de guadua no tratada.

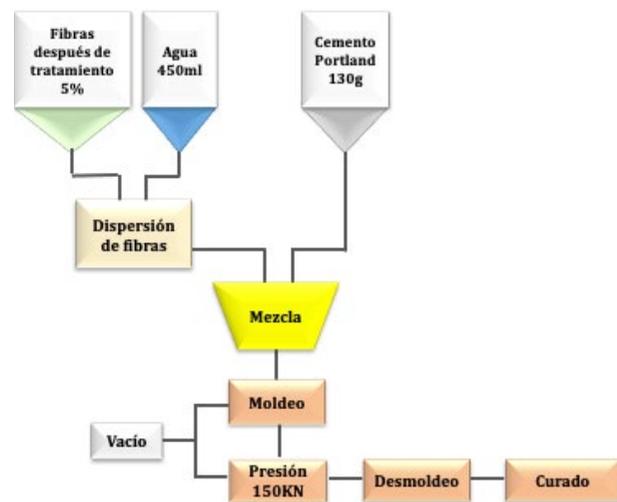


Figura 4. Manufactura de tableros de cemento reforzados con fibras de *Guadua Angustifolia Kunth*.

2.3 Análisis de infrarrojo (FTIR)

Se empleó la técnica FTIR para identificar variaciones de los grupos funcionales después del tratamiento alcalino. Los espectros FTIR se obtuvieron usando un espectrómetro Thermo Electron Corporation (Nicolet 380 FT-IR). Para las mediciones de FTIR, las fibras se mezclaron con bromuro de potasio (KBr) en relación 1:10, la mezcla se prensó (8MPa) en un gránulo ($\phi = 16$ mm). Para cada muestra se tomaron 5 exploraciones entre 400 cm^{-1} y 4000 cm^{-1} , y se analizaron con el software OMINC FT-IR®.

2.4 Respuesta mecánica

La prueba de flexión de tableros compuestos de cemento se realizó de acuerdo con el estándar europeo BS EN 12467: 2012 (láminas planas de fibrocemento. Especificación del producto y métodos de prueba). Las pruebas fueron realizadas por la máquina de prueba de tracción JJ Lloyd con cargas de 3 puntos. La velocidad de la prueba fue de 5 mm / minuto; separación de haces de 140 mm y ancho de 80 mm.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El tratamiento alcalino con hidróxido de calcio no se ha documentado tan ampliamente como tratamientos con otros hidróxidos. Sin embargo, se ha mostrado que tiene la capacidad de disminuir la lignina y hemicelulosa (Jackson & Montross, 2016), razón por la cual es necesario hacer una exploración de este tratamiento debido a su bajo impacto ambiental en comparación con otros. La Figura 5 muestra los tableros obtenidos después del método de manufactura, estos tableros tienen un espesor promedio de 6 mm. Visualmente los tableros obtenidos se asemejan a otros reportados por otros autores que han utilizado otro tipo de tratamiento en las fibras (Savastano, H. *et al.*, 1999).



Figura 5. Tablero de cemento Portland reforzado con fibras de *Guadua Angustifolia Kunth*.

3.1 Análisis de infrarrojo

Los principales compuestos de las fibras naturales son la celulosa, lignina y hemicelulosa, integrada principalmente por ésteres, cetonas aromáticas y alcoholes (Abraham *et al.*, 2017). El tratamiento alcalino busca reducir los compuestos no celulósicos debido a que son aquellos los que no tienen una buena interacción entre la fibra y las matrices cementosas. Se ha documentado que el tratamiento con hidróxido de calcio permite reducir las bandas de absorción de FTIR relacionadas con la hemicelulosa y lignina (Sedan, D. *et al.*, 2007), por lo tanto, los espectros de esta técnica de caracterización permiten observar la efectividad del tratamiento.

La Figura 6 muestra los espectros FTIR para fibras no tratadas, así como fibras después de tratamientos con calcio. Dos regiones de los espectros FT-IR tienen la mayor información sobre los compuestos de fibra. La primera región está entre 3800-2800 cm^{-1} : en esta región se encuentra toda la información sobre los grupos hidroxilo (-OH), así como el estiramiento de metilo y metileno, como se muestra en la casilla de verificación de la Figura 6a. La segunda región se denomina “huella digital” de las fibras y se encuentra entre 1800 y 600 cm^{-1} (Figura 6b). En esta región, es posible identificar bandas asignadas a diferentes grupos de lignina, como 1737 (1); 1594 (2), 1510 (3), 1263 (4) y 1130 (5) cm^{-1} . Asimismo, es posible observar bandas comunes asignadas a lignina y celulosa entre 1450 y 1250 cm^{-1} , bandas asignadas a celulosa como: 1317, 1283 y 1060 cm^{-1} , y bandas asignadas a Lignina alrededor de 870 cm^{-1} (6) (Popescu, C.-M., 2009), que está bien definido en espectros sin tratar.

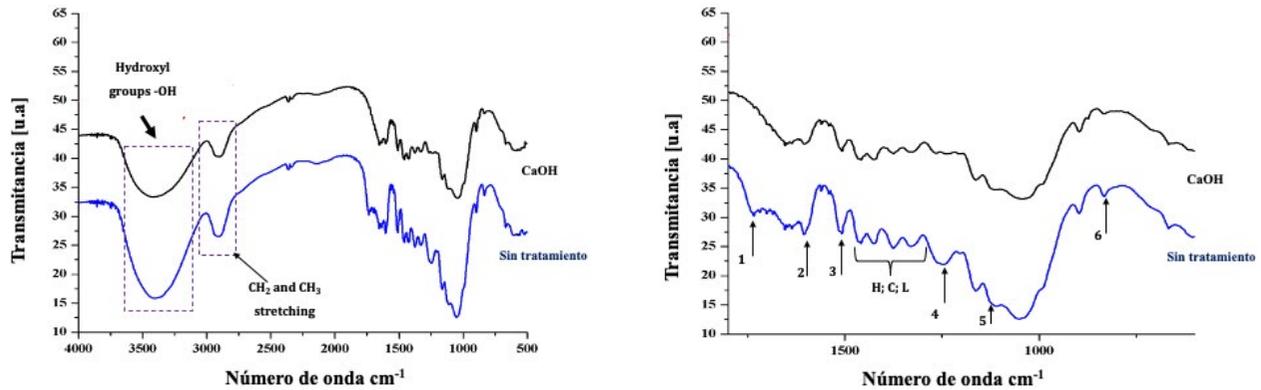


Figura 6. Espectros FT-IR de fibras tratadas y no tratadas a) Espectros totales.
 b) Región de espectro FT-IR entre 1800cm⁻¹ y 600cm⁻¹

La región de estiramiento de hidroxilo es particularmente útil para dilucidar los patrones de enlaces de hidrógeno, estos enlaces se consideran responsables de varias propiedades de la celulosa nativa, la lignina y la fibra misma (Poletto, Zattera & Santana, 2012). Es posible ver como el tratamiento de las fibras reduce la banda asociada a los grupos OH, además, bandas asociadas a lignina y hemicelulosa se reducen después del tratamiento, lo que indica una reducción de estos compuestos. Estas modificaciones de la superficie podrían desempeñar un papel importante en la unión entre el

cemento y las fibras naturales en los tableros de cemento; y consecuentemente tienen un fuerte impacto en sus propiedades mecánicas.

3.2 Respuesta a la flexión

Finalmente, los tableros fueron sometidos a una prueba de flexión para determinar la respuesta mecánica del material. La Figura 7 muestra la comparación de la respuesta de resistencia a la flexión a los 7, 28 y 180 días de curado para los tableros de cemento reforzados con fibras de guadua tratadas alcalinamente con hidróxido de calcio.

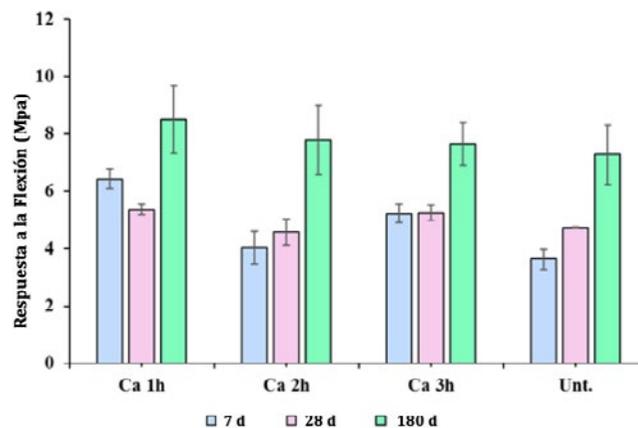


Figura 7. Respuesta a la flexión de tableros de cemento reforzados con fibra de guadua.

Los valores de resistencia a la flexión de los tableros de cemento reforzados con fibras de guadua, son adecuados para acabados de paredes y techos internos y externos según la clasificación como CCB clase 3 categoría C y D de acuerdo con la norma BS EN 12467:

2012. De acuerdo a los resultados de la resistencia a la flexión, se puede observar que el tratamiento con el parámetros de 1h de cocción Ca1h tiene el mejor comportamiento mecánico.

4. CONCLUSIONES

El tratamiento alcalino mostró modificaciones en las fibras de guadua. Aunque el tratamiento con calcio no remueve completamente los compuestos no celulósicos, mostró resultados adecuados y es posible seguir explorando este tratamiento como una nueva alternativa, debido a su bajo impacto ambiental.

De acuerdo a los resultados de los valores de resistencia a la flexión permite clasificar estos materiales clase 3 categoría C y D de acuerdo con la norma BS EN 12467: 2012.

REFERENCIAS

- Abraham, E., Deepa, B., Pothan, L. A., Cintil, J., Thomas, S., John, M. J., Narine, S. S. (2013). Environmental friendly method for the extraction of coir fibre and isolation of nanofibre. *Carbohydrate Polymers*, 92(2), 1477–1483. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.10.056>
- Acevedo Agudelo, H., Vásquez Hernández, A. & Ramírez, D. (2012). Sostenibilidad: actualidad y necesidad en el sector de la construcción en Colombia. *Gestión y Ambiente*, 15(1), 105-118. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/30825/39307>
- Brandt, A.M. (2008). Fibre reinforced cement-based (FRC) composites after over 40 years of development in building and civil engineering. *Composite Structures*, 86(1–3), 3-9. <https://doi.org/10.1016/j.comstruct.2008.03.006>
- Ferraz, J.M., del Menezzi, C.H.S., Teixeira, D.E., Martins, S.A. (2011). Effects of treatment of coir fiber and cement/fiber ratio on properties of cement-bonded composites. *BioResources* 6(3), 3481–3492.
- Jackson, J. J., & Montross, M. D. (2016). A molar basis comparison of calcium hydroxide, sodium hydroxide, and potassium hydroxide on the pretreatment of switchgrass and miscanthus under high solids conditions. *Industrial Crops and Products*, 92, 165–173. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.08.010>
- Poletto, M., Zattera, A., & Santana, R. (2012). Structural differences between wood species: Evidence from Chemical composition, FTIR Spectroscopy, and Thermogravimetric analysis. *Journal of Applied Polymer Science*, 126, 336–343.
- Popescu, C.-M., Singurel, G., Popescu, M.-C., Vasile, C., Argypoulos, D., & Willford, S. (2009). Vibrational spectroscopy and S-ray diffraction methods to establish the differences between hardwood and softwood. *Carbohydrate Polymers*, 77, 851–857.
- Sanchez-Echeverri, L.A., Medina-Perilla, J.A., Quintana, G.C. & Ganjian, E. (2020). Effects of sulphidity on flexural strength of fiber-cement boards reinforced with guadua angustifolia kunth fibers with alkaline pretreatments. *Ingeniare*, 29(2), 334-345.
- Savastano, H., Agopyan, V., Nolasco, A. M., & Pimentel, L. (1999). Plant fibre reinforced cement components for roofing. *Construction and Building Materials*, 13(8), 433–438. [https://doi.org/10.1016/S0950-0618\(99\)00046-X](https://doi.org/10.1016/S0950-0618(99)00046-X)
- Sedan, D., Pagnoux, C., Chotard, T., Smith, A., Lejolly, D., Gloaguen, V., & Krausz, P. (2007). Effect of calcium rich and alkaline solutions on the chemical behaviour of hemp fibres. *Journal of Materials Science*, 42(22), 9336-9342. <https://doi.org/10.1007/s10853-007-1903-4>
- Tolêdo Filho, R.D., Scrivener, K., England, G.L. & Ghavami, K. (2000). Durability of alkali-sensitive sisal and coconut fibres in cement mortar composites. *Cement and Concrete Composites* 22(2), 127–143.
- Wei, J. & Meyer, C. (2014). Improving degradation resistance of sisal fiber in concrete through fiber surface treatment. *Applied Surface Science*, 289, 511–523.