

Caracterización mecánica y determinación de la resistencia a la tracción de fibras de caña brava para uso en construcciones rurales

Vargas Ortiz, Nelson Joman; Villate Díaz, Juan Pablo; Habran Esteban, Nydia Margarita

Nelson Joman Vargas Ortiz

vargas.nelson@uniagraria.edu.co
Uniagraria, Colombia

Juan Pablo Villate Díaz

villate.juan@uniagraria.edu.co
Uniagraria, Colombia

Nydia Margarita Habran Esteban

nhabrane@ecci.edu.co
Uniagraria, Colombia

INVENTUM

Corporación Universitaria Minuto de Dios, Colombia
ISSN: 1909-2520
ISSN-e: 2590-8219
Periodicidad: Semestral
vol. 16, núm. 31, 2021
inventum@uniminuto.edu

Recepción: 20 Mayo 2021
Aprobación: 15 Junio 2021
Publicación: 15 Julio 2021

URL: <http://portal.amelica.org/amei/journal/671/6713631008/>

Corporación Universitaria Minuto De Dios - UNIMINUTO



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional.

Resumen: Las técnicas usadas tradicionalmente para la construcción son evaluadas por normas y métodos de diseño en la ingeniería, las cuales se van actualizando diariamente para optimizar las propiedades estructurales y de los materiales. Sin embargo, el uso de materiales naturales está limitado por no contar con estudios técnicos de sus propiedades mecánicas, carecer de técnicas de conservación y, aún más, por no disponer de normatividad para su utilización en construcciones civiles y de infraestructura. Esto se ve reflejado en el hecho de que las comunidades rurales no utilizan los materiales propios de su región para el mejoramiento y la adecuación de sus viviendas. Por lo anterior, se ha llevado a cabo un estudio con el fin de investigar y obtener resultados cuantitativos y cualitativos sobre las fibras de caña brava (*Gynerium sagittatum*).

El objetivo principal fue caracterizar su comportamiento mecánico, para determinar la viabilidad de su utilización posterior en construcciones civiles, enfocadas en el sector rural. En este artículo se presentan los resultados de la primera fase del proyecto, en la cual se realizó la caracterización física, empleando técnicas de microscopía óptica (MO) y microscopía electrónica de barrido (MEB), así como ensayos de resistencia mecánica de tracción, mediante los cuales fue posible determinar la resistencia mecánica del objeto en estudio (fibras de caña brava).

De otra parte, se encuentra que la caracterización mecánica a tracción de las fibras de caña brava arrojó resultados aceptables, con resistencias máximas promedio de 132,27 MPa a 174,12 MPa, con una sección transversal entre 0,316 mm² a 0,404 mm², lo cual, indica que es un material con buenas características como refuerzo para compuestos con matrices cerámicas, como el cemento; o de matriz polimérica, como pueden ser los termoplásticos y los termoestables. Por lo tanto, es necesario realizar otros tipos de ensayos, como el de *pull-out*, para identificar la interacción en la interfaz entre la fibra y la matriz, asegurando su adherencia. Además, dado que se trata de una fibra de origen vegetal, debe revisarse su degradación, con ensayos de durabilidad. Esta fibra puede servir también para el control de temperatura, si se usa como refuerzo en una matriz a base de cemento.

Palabras clave: caña brava, fibras naturales, materiales alternativos, propiedades mecánicas, construcción sustentable.

Abstract: The techniques traditionally used for construction are evaluated by engineering design standards and methods, which are updated daily to optimize structural and material properties. However, the use of natural materials is limited by the lack of

necessary studies and conservation techniques and even more by the lack of regulations for their use in civil constructions, which is reflected in the fact that rural communities do not make use of materials from their own region for the improvement and adaptation of their houses. Therefore, this study aims to investigate and provide quantitative and qualitative results on the fibers of caña brava (*Gynerium sagittatum*).

The main objective is to review the subsequent use of the fibers of caña brava in civil constructions and if its mechanical behavior is adequate, focused on the rural sector. In this article you will find the first phase of the project in which physical characterization studies were carried out using optical microscopy (OM) and scanning electron microscopy (SEM) techniques, as well as tensile and compression mechanical strength tests, by means of which it was possible to determine the resistance of the object under study. On the other hand, it is found that the mechanical characterization of the direct traction of wild cane fibers, they yielded acceptable results with average maximum resistances of 132.27 to 174.12 MPa, its cross section varied between 0.316 to 0.404 mm², which indicates that it is a suitable material for reinforcement of composites with cement or polymer-based matrices. For the above, it is necessary to perform other types of tests such as pull-out, identifying the interface between the fiber and the matrix, ensuring its adherence. Also, being a fiber of vegetable origin, its degradation must be checked with durability tests. This fiber can be used for temperature control if it is used as a reinforcement in a cement-based matrix.

Keywords: caña brava, fibers, alternative materials, physical-mechanical tests, sustainable construction.

Resumo: As técnicas tradicionalmente utilizadas para a construção são avaliadas por padrões e métodos de projeto de engenharia, que são atualizados diariamente para otimizar as propriedades estruturais e materiais. Entretanto, o uso de materiais naturais é limitado devido à falta dos estudos e técnicas de conservação necessários, e ainda mais devido à falta de regulamentos para seu uso em construções civis. Isto se reflete no fato de que as comunidades rurais não fazem uso de materiais de sua própria região para a melhoria e adaptação de suas habitações. Portanto, este estudo visa investigar e fornecer resultados quantitativos e qualitativos sobre as fibras de caña brava (*Gynerium sagittatum*).

O objetivo principal é revisar o uso posterior das fibras de caña brava em construções civis e se seu comportamento mecânico é adequado, enfocando o setor rural. Neste artigo você encontrará a primeira fase do projeto na qual foram realizados estudos de caracterização física utilizando técnicas de microscopia óptica (OM) e microscopia eletrônica de varredura (SEM), bem como testes de resistência mecânica à tração e compressão, por meio dos quais foi possível determinar a resistência do objeto em estudo. Por outro lado, verifica-se que a caracterização mecânica da tração direta das fibras da cana silvestre, os resultados foram aceitáveis com forças máximas médias de 132,27 a 174,12 MPa, sua seção transversal variou entre 0,316 a 0,404 mm², o que indica que é um material adequado para o reforço de compósitos com matrizes à base de cimento ou polímeros. Para o exposto acima, é necessário realizar outros tipos de testes, tais como o arrancamento, identificando a interface entre a fibra e a matriz,

garantindo sua aderência. Além disso, sendo uma fibra de origem vegetal, a degradação da fibra deve ser verificada com testes de durabilidade. Esta fibra pode ser usada para controle de temperatura, se for usada como reforço em uma matriz baseada em cimento.

Palavras-chave: caña brava, fibras, materiais alternativos, testes físico- mecânicos, construção sustentável.

Caracterización mecánica y determinación de la resistencia a la tracción de fibras de caña brava para uso en construcciones rurales I

Resumen

Las técnicas usadas tradicionalmente para la construcción son evaluadas por normas y métodos de diseño en la ingeniería, las cuales se van actualizando diariamente para optimizar las propiedades estructurales y de los materiales. Sin embargo, el uso de materiales naturales está limitado por no contar con estudios técnicos de sus propiedades mecánicas, carecer de técnicas de conservación y, aún más, por no disponer de normatividad para su utilización en construcciones civiles y de infraestructura. Esto se ve reflejado en el hecho de que las comunidades rurales no utilizan los materiales propios de su región para el mejoramiento y la adecuación de sus viviendas. Por lo anterior, se ha llevado a cabo un estudio con el fin de investigar y obtener resultados cuantitativos y cualitativos sobre las fibras de caña brava (*Gynerium sagittatum*).

El objetivo principal fue caracterizar su comportamiento mecánico, para determinar la viabilidad de su utilización posterior en construcciones civiles, enfocadas en el sector rural. En este artículo se presentan los resultados de la primera fase del proyecto, en la cual se realizó la caracterización física, empleando técnicas de microscopía óptica (MO) y microscopía electrónica de barrido (MEB), así como ensayos de resistencia mecánica de tracción, mediante los cuales fue posible determinar la resistencia mecánica del objeto en estudio (fibras de caña brava).

De otra parte, se encuentra que la caracterización mecánica a tracción de las fibras de caña brava arrojó resultados aceptables, con resistencias máximas promedio de 132,27 MPa a 174,12 MPa, con una sección transversal entre 0,316 mm² a 0,404 mm², lo cual, indica que es un material con buenas características como refuerzo para compuestos con matrices cerámicas, como el cemento; o de matriz polimérica, como pueden ser los termoplásticos y los termoestables. Por lo tanto, es necesario realizar otros tipos de ensayos, como el de pull-out, para identificar la interacción en la interfaz entre la fibra y la matriz, asegurando su adherencia. Además, dado que se trata de una fibra de origen vegetal, debe revisarse su degradación, con ensayos de durabilidad. Esta fibra puede servir también para el control de temperatura, si se usa como refuerzo en una matriz a base de cemento.

Palabras clave: caña brava, fibras naturales, materiales alternativos, propiedades mecánicas, construcción sustentable.

I. INTRODUCCIÓN

La caña brava (*Gynerium sagittatum*), también conocida como caña flecha, es una planta herbácea de la familia de las poáceas (Poaceae), originaria de América Latina. Esta planta alcanza una longitud aproximada de 3 a 4 m, con cañas gruesas de hasta 6 cm de diámetro y sus hojas son lineales y aserradas, dispuestas en dos filas. Se puede encontrar en varias regiones de Colombia, y puede crecer en zonas con humedad alta, en suelos fértiles, y necesita luminosidad solar [1]. Es una especie que se adapta en zonas tropicales húmedas y secas, con temperaturas promedio de entre 22 °C y 27 °C al año y precipitaciones pluviales entre 1100 mm/año y 3400 mm/año, y ubicados hasta a 2400 m s. n. m., por lo cual, esta planta se da con facilidad en suelos inundables.

La época de siembra está entre junio y julio, justo después de las épocas de lluvia. Su crecimiento es rápido, puesto que entre los 2 y 4 meses logra alcanzar una altura de 40 cm, aproximadamente para que este no se vea afectado, se debe tener especial cuidado con las termitas y larvas, que se alimentan de su savia y dejan hongos dentro de la planta.

Actualmente, la caña brava se usa poco, pero en algunas poblaciones la utilizan para la fabricación de cercas, corrales para animales y, con menor frecuencia, para levantar muros con la técnica de tapia pisada, entre otros métodos constructivos rurales. En algunas zonas del país, es común el uso de sus hojas y fibras para la creación y comercialización de artesanías — como el famoso y tan representativo sombrero *vueltao*—; sin embargo, en muchas regiones donde no se tiene conocimiento de sus excelentes características y propiedades es considerada como maleza, y debido a ello es cortada o quemada [2].

Las fibras de la caña brava, como se comentó anteriormente, son fáciles de encontrar y extraer en todo el territorio colombiano. Al ser una planta que se extiende fácilmente, es un recurso que puede obtenerse sin mayores costos, y al cual se le podría dar un mejor aprovechamiento.

Para su caracterización, se realizaron estudios de microscopía óptica (MO) y microscopía electrónica de barrido (MEB), con el fin de determinar sus características físicas y su microestructura, que en conjunto con los ensayos de tracción permitirían determinar su resistencia a la tensión y, así, sus propiedades mecánicas [3], [4], [5] y [6]. Conforme a lo expuesto, la investigación se enfocó en determinar las propiedades mecánicas de las fibras de caña brava y, en ese mismo contexto, con los resultados obtenidos estimar si este material cumple o no con los parámetros de resistencia adecuados para ser utilizado en construcciones rurales.

Las muestras de caña brava que se emplearon en los ensayos mencionados fueron extraídas en el municipio de Confines, en el departamento de Santander, municipio se caracteriza por tener una población considerable de esta especie, especialmente entre los 1450 y los 1750 m s. n. m. Se destaca que la temperatura promedio es de 22 °C [7], [8], [9].

II. METODOLOGÍA

La especie de caña brava utilizada fue específicamente la denominada *Gynerium sagittatum*. Las muestras se inspeccionaron visualmente, para verificar su textura y coloración, la afectación por insectos y hongos y el posible deterioro atribuido a perforaciones, fisuras o golpes, como se puede observar en la figura 1.

Luego de esta inspección inicial, se extrajeron las fibras de las muestras de caña obtenidas, empleando para ello uno de los dos métodos comúnmente empleados

para este proceso. El primer procedimiento contempla la extracción por medio de un trapiche (molino mecánico que aplasta la caña dejando expuesta su parte interna). El segundo procedimiento es el mecánico manual, em pleando un martillo para fracturar la capa externa de la caña para luego extraer manualmente las fibras de las capas internas.

Posteriormente, se realizó el secado de las fibras en condiciones ambiente, ya que la humedad interna que estas traen, al estar en contacto con el ambiente exterior, favorece la proliferación de hongos que pueden afectar de manera notable las propiedades mecánicas y, por ende, los resultados de la investigación.

Una vez recolectada una cantidad significativa de fibras, se realizó una segunda inspección, en la cual se seleccionaron fibras que tuvieran aspectos morfológicos similares, con el fin de obtener resultados uniformes y menos variables. Las fibras seleccionadas fueron divididas en tres grupos, según su longitud (de 6 cm, 8 cm y 10 cm) para analizar la variación de la resistencia y la deformación de acuerdo con la longitud. No obstante, se consideró una longitud de 4 cm adicional en cada espécimen para la correcta ejecución del ensayo de tracción, longitud que era necesaria para su agarre en las mordazas de la máquina universal de ensayos.

Para evitar que las mordazas de la maquina universal rasgaran las fibras y afectaran de forma considerable los ensayos de resistencia, se hizo un montaje pegando cada una de las fibras a un molde de cartulina gruesa. De esta manera, se logró disminuir el contacto entre la fibra y las mordazas, generando así una distribución uniforme de la carga aplicada sobre las fibras. Adicionalmente, las mordazas fueron forradas con un caucho.

Los ensayos de tracción se realizaron en una maquina universal MTS, donde las fibras soportadas en el molde de cartulina fueron sujetas por mordazas y se aplicó una carga axial en dirección al eje de las mismas (figura 1). Una de las variables consideradas fue la velocidad del ensayo, mantenida en 2 mm/min. Se analizaron muestras distribuidas de la siguiente manera: 10 muestras de 6 cm, 10 muestras de 8 cm y 10 muestras de 10 cm.

Asimismo, se obtuvo el diámetro y la caracterización morfológica de las fibras estudiadas, mediante el análisis por microscopia electrónica de barrido (MEB), técnica que permitió identificar la estructura interna de fibras de forma individual, así como obtener imágenes ampliadas y detalladas de su microestructura. Además, los resultados obtenidos permitieron determinar información más aproximada sobre el área transversal y el diámetro de las fibras. Debido a que el material analizado no es conductor de energía, las muestras sometidas al análisis por MEB, debieron recibir un tratamiento previo, exigido por la prueba de laboratorio Dicho tratamiento consistió en un baño de partículas de oro, con el propósito de favorecer la conductividad y lograr así la obtención de imágenes claras y con mayor definición. Para el análisis por MEB se seleccionaron 16 fibras de caña brava de forma aleatoria, cortadas con 1 cm de longitud aproximadamente, todas sobrepuestas en un piñón de 1,5 cm de diámetro que facilito su manipulación.



Figura 1.
Ensayo a tracción directa de fibra por medio de maquina universal MTS.
Elaboración propia

III.RESULTADOS Y ANÁLISIS

Mediante la inspección física de las cañas seleccionadas para análisis, se identificó que no presentaban deterioros atribuibles a insectos, hongos, golpes ni grietas, y que su textura y coloración eran apropiadas para la obtención de fibras aprovechables, como se puede observar en la figura 2.



Figura 2
Extracción de fibras caña brava.
Elaboración propia.



Figura 2
Extracción de fibras caña brava
Elaboración propia.

De los procesos de extracción fue seleccionado el procedimiento manual, considerado menos agresivo con la muestra, ya que cuando se emplea el método del trapiche la caña debe soportar la carga del molino, lo que afecta la resistencia posterior de las fibras. Mediante la técnica de MEB se pudo determinar la morfología característica de las fibras analizadas sobre un corte transversal de las muestras, como se puede observar en la figura 3. Se pudo determinar que la morfología característica de los microconstituyentes de la caña brava consta de una pared celular gruesa, con lúmenes de diferentes diámetros, con un área y perímetro de fibra aproximados de $0,35 \text{ mm}^2$ y de $0,0023 \text{ mm}$, respectivamente, calculando en un promedio de 16 especímenes analizados, como se detalla en la tabla 1. Las características mencionadas hacen que la fibra tenga mayor área para soportar el esfuerzo al concentrar una mayor cantidad de microfibrillas de celulosa [10].

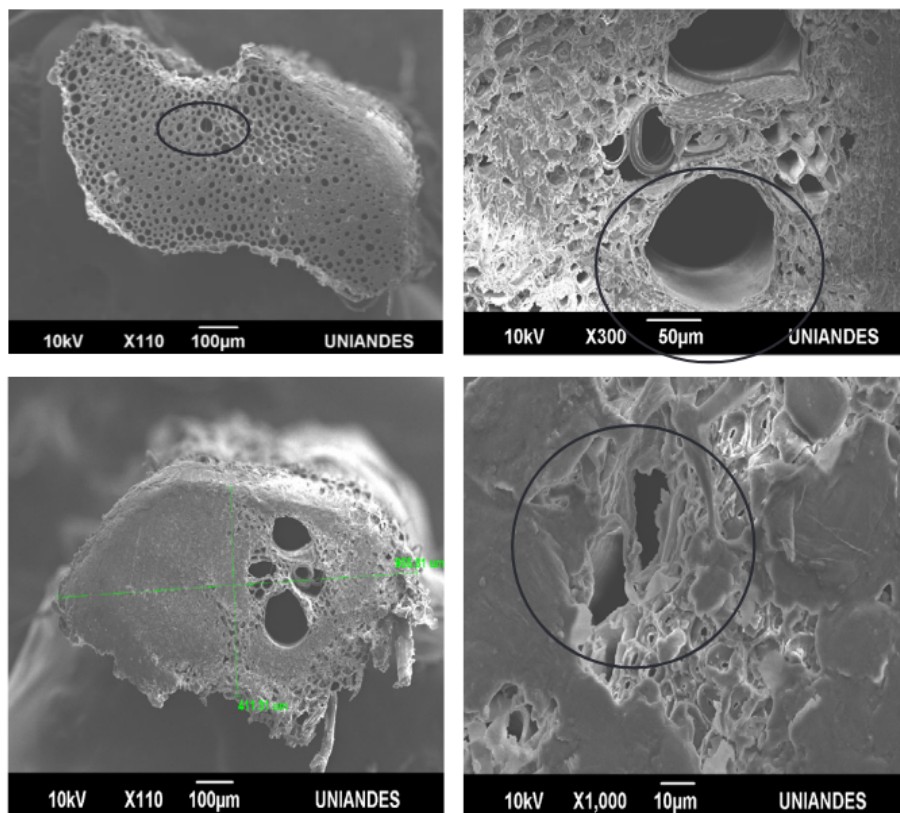


Figura 3
 Imagen de MEB de una muestra de fibra de caña brava.
 Elaboración propia.

Área de fibra de caña brava (mm ²)	Perímetro de fibra de caña brava (mm)
0,35 ± 0,0935	0,00237 ± 0,0005

Tabla 1.
 Área y perímetro de la fibra de caña brava
 Elaboración propia.

En cuanto a los esfuerzos soportados por las fibras sobre tensión, se obtuvo un esfuerzo de tracción medio de 147,51 MPa, como se reporta en la tabla 2. Las propiedades mecánicas de las fibras son bastante diversas y dependen en gran medida de las condiciones en las que se encuentren estas; por ejemplo, su humedad relativa [11]. En la tabla 2 se pueden comparar las propiedades mecánicas de las fibras de caña brava con las de las fibras más comúnmente utilizadas con propiedades similares como la fibra de vidrio o fibras naturales como el cáñamo. Para la comparación se utilizaron datos de [11].

De los resultados obtenidos, se puede deducir que las fibras de caña brava presentan una resistencia mecánica aceptable y, por lo tanto, se podría pensar en su uso como refuerzo tanto en materiales compuestos para el control de la fisuración por fraguado o temperatura como en elementos no estructurales, principalmente en zonas rurales con dificultades para el acceso de materiales convencionales. Un resultado adicional muestra que, a medida que se aumenta la

longitud de la fibra, disminuye el esfuerzo de esta, lo que probablemente se deba al proceso manual de extracción, en el cual puede afectarse su integridad afectada, variando el área a lo largo de la longitud [8], [12], [13], [14].

Longitud de muestra (cm)	Área (mm ²)	Carga máxima (kN)	Esfuerzo máximo a tracción (MPa)	Alargamiento a ruptura (%)
6	0,404 ± 0,128	0,065 ± 0,020	174,12 ± 71,86	3,1
8	0,316 ± 0,067	0,041 ± 0,009	132,27 ± 39,30	1,66
10	0,351 ± 0,074	0,046 ± 0,013	136,15 ± 52,16	1,7
Fibra de cáñamo			285	1,3
Fibra de vidrio			2500	3,0

Tabla 2.
Propiedades mecánicas de fibra de caña brava a tracción directa
Elaboración propia.

IV. CONCLUSIONES

A partir de los resultados experimentales, se determinó que la caña brava es un material aprovechable y tiene un uso viable en las obras civiles; sobre todo en el sector rural, debido a su resistencia, fácil obtención y manejo.

Se puede concluir que las fibras de caña brava presentan buenas propiedades mecánicas para ser utilizadas en una matriz cementante y, por ende, en construcciones civiles.

La forma de las fibras varía demasiado, lo cual es probable que altere los resultados; al ser más planas y delgadas, se pueden fracturar con mayor facilidad por las mordazas y, en tales casos, no brindarán resultados significativos, sino aproximados. Por ello, para futuros trabajos, se recomienda manejar fibras que tengan forma similar. Asimismo, se recomienda una buena selección y cuidado de la fibra, ya que con ello se garantiza que los ensayos sean de buena calidad, más uniformes y óptimos.

Para el ensayo a compresión, se debe tomar la muestra de nodo a nodo, ya que si se toma de nodo a borde libre, se tendrá un resultado erróneo, pues al hacerlo de nodo a borde libre, este presentará aplastamiento antes de alcanzar su resistencia máxima.

A pesar de los resultados a tensión, se recomienda llevar a cabo más estudios basados en la NSR-10, con el fin de determinar un mejor uso de la caña brava en el campo de la construcción. En especial, se sugiere leer y seguir el título G de dicha norma.

Para efectuar ensayos por microscopía electrónica de barrido, se recomienda que el corte de las fibras se haga por medio de nitrógeno líquido, puesto que, al estar congeladas, el corte no deformará la geometría de su estructura interna, de tal manera que se obtendrá un corte limpio que generará imágenes de mejor calidad y mayor detalle.

AGRADECIMIENTOS

Los autores reconocen las contribuciones dadas por la fundación Universitaria Agraria de Colombia, por permitir el acceso a los laboratorios de la sede y generar un rubro mediante el proyecto de bolsa PM210006.

REFERENCIAS

- [1] W. Contreras, J. C. Rivero, M. Owen y F. Rosso, “Plantaciones de caña brava (*Gynerium sagittatum*) y bambú (*Bambusa vulgaris*) para la fabricación de insumos constructivos como una solución al problema de la vivienda del medio rural venezolano”, *Rev. For. Ven.*, vol. 2, n.º 45, pp. 219-231, 2010.
- [2] J. Cory-Wright, “Técnica de construcción con cañas”, Canyaviva, 2007.
- [3] P. R. L. Lima, R. D. Toledo Filho, K. J. Nagahama, and E. M. Fairbairn, “Caracterização mecânica de laminados cimentícios esbeltos reforçados com fibras de sisal” *Rev. Bras. Eng. Agr. Ambient.*, vol. 11, n.º 6, pp. 644-651, dic. 2007. doi: 10.1590/ S1415-43662007000600014.
- [4] J. P. Villate Diaz, F. Silva de Andrade y J. R. Morales d’Almeida, “Effect of Peach Palm Fiber Microstructure on its Tensile Behavior”, *BioResources*, vol. 11, n.º 4, pp. 10140-10157, 2016. doi: 10.15376/biores.11.4.10140-10157.
- [5] F. A. Silva, A. Peled, B. Zukowski, R. D. Toledo Filho. Fiber Durability, en: *A Framework for Durability Design with Strain-Hardening Cement-Based Composites (SHCC)*, G. P. A. G. van Zijl y V. Slowik, Eds., RILEM State-of-the-Art Reports 22, pp. 109-118, 2017. doi:10.1007/978-94-024-1013-6_3
- [6] M. Congro, V. Moreira, A.L. Brandao, F.A. Silva. Prediction of the residual flexural strength of fiber reinforced concrete using artificial neural networks. *Constr Build. Mater.* vol. 303, ago. 2021, Art. n.º 124502, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2021.124502.
- [7] V. M. Patiño, “Comportamiento de plantas nativas colombianas bajo cultivo: situación actual de cultivo del chontaduro”, *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Exact Fis. Nat.*, vol. 17, n.º 65, pp. 259-264, 1989.
- [8] F. d. A. Silva, D. Zhu, B. Mobasher, C. Soranakom y R. D. Toledo Filho, “High speed tensile behavior of sisal fiber cement composites”, *Mater. Sci. Eng.*, vol. 527, n.º 3, pp. 544-552, ene. 2010, doi: 10.1016/j.msea.2009.08.013.
- [9] W. J. Mora-Espinosa, B. A. Ramón-Valencia. “Caracterización térmica, mecánica y morfológica de fibras naturales colombianas con potencial como refuerzo de biocompuestos”. *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Exact. Fis. Nat.*, vol. 41, n.º 161, 2017. doi: 10.18257/raccefyn.525.
- [10] M. D Salvador, V. Amigo, A. Nuez, O. Sahuquillo, R. Llorens y F. Marti. Caracterización de fibras vegetales utilizadas como refuerzo en matrices termoplásticas. Universidad Politécnica de Valencia. En línea: http://www.upv.es/VALORES/Publicaciones/CNM08_Fibras_naturales.pdf
- [11] F. d. A. Silva, N. Chawla, and R. D. d. T. Filho, “Tensile behavior of high performance natural (sisal) fibers”, *Compos. Sci. Technol.*, vol. 68, No. 15-16, pp. 3438-3443, dic. 2008, doi: 10.1016. 10001.

- [12] G. A. Bogoeva-Gaceva, M. Malinconico, M. Buzarovska, A. Grozdanov, A. Gentile, “Natural fiber eco-composites”, *Wiley InterScience*, n.º 28, pp. 98-107, 2007, doi 10.1002.20270.
- [13] M. Menossi, C.A. Casalongue; V. A. Alvarez. “Bio-nanocomposites for Modern Agricultural Applications”, en *Handbook of Consumer Nano-products*, Singapur: Springer Nature, 2021. doi: 10.1007/978-981-15-6453-6_68-1.
- [14] N. Jesuarockiam, M. Jawaid y E. S. Zainudin. “Evaluation of ballistic performance of hybrid Kevlar®/Cocos nucifera sheath reinforced epoxy composites”. *J Text. Inst.*, vol. 110 n.º 2, 2021. doi: 10.1080/00405000.2018.1548801.