

# Efecto de la variación del contenido de refuerzo de fibras de plátano, coco y partículas de la cáscara de nuez del anacardo en las propiedades mecánicas de compuestos BMC

Ismael Barrera-Fajardo<sup>1</sup>, Andrés Jaramillo-Muñoz<sup>1</sup>, Jimmy Unfried-Silgado<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Grupo de investigación ICT, Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de Córdoba, Colombia. Email:  
[ibarrerafajardo@correo.unicordoba.edu.co](mailto:ibarrerafajardo@correo.unicordoba.edu.co), [andresjaramillom@correo.unicordoba.edu.co](mailto:andresjaramillom@correo.unicordoba.edu.co),  
[jimyunfried@correo.unicordoba.edu.co](mailto:jimyunfried@correo.unicordoba.edu.co)

## Resumen

Los materiales compuestos reforzados con fibras naturales han captado la atención mundial en los últimos años debido a su perfil ecológico y sostenible. Estos materiales resultan atractivos para diversas aplicaciones industriales gracias a propiedades como alta resistencia específica, baja conductividad térmica, biodegradabilidad y biocompatibilidad. Además, que implementar este tipo de refuerzos representa una alternativa viable para el manejo de residuos agrícolas en zona de alta producción. En este estudio se incorporan fibras y partículas provenientes de residuos agrícolas de los cultivos de plátano, coco y cáscara de la nuez del anacardo como refuerzo para la fabricación de materiales compuestos mediante la técnica Bulk Molding Compound (BMC). Se evaluaron las propiedades mecánicas de estos materiales, incluyendo tensión y flexión. Los resultados obtenidos indican que la incorporación de este tipo de refuerzos en los materiales compuestos conduce a una disminución de las propiedades mecánicas evaluadas.

**Palabras clave:** Materiales compuestos; biomateriales; Bulk Molding Compound; propiedades mecánicas.

## Abstract

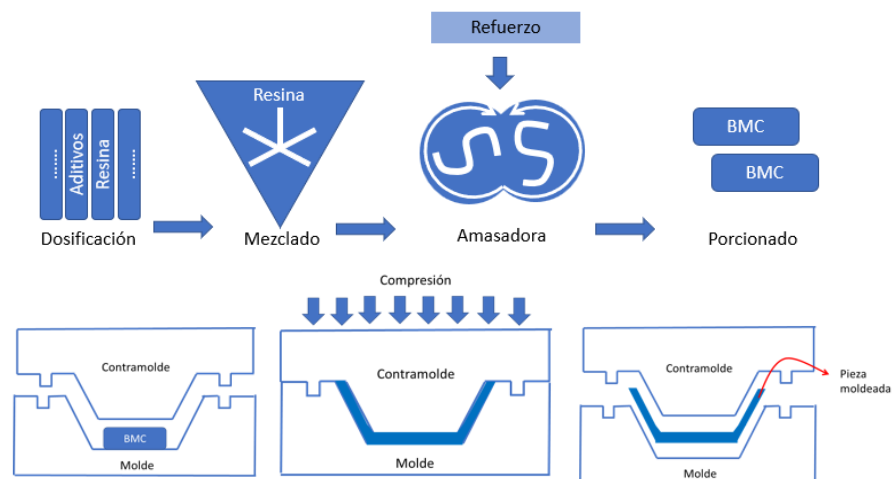
Natural fiber-reinforced composites have gained worldwide attention in recent years due to their environmentally friendly and sustainable profile. These materials are attractive for various industrial applications thanks to high specific strength, low thermal conductivity, biodegradability and biocompatibility. In addition, implementing this type of reinforcement represents a viable alternative for managing agricultural waste in high-production areas. In this study, fibers and particles of farm residues of banana, coconut and cashew nut shells are incorporated as reinforcement for the manufacture of composite materials using the Bulk Molding Compound (BMC) technique. The mechanical properties of these materials were evaluated, including tensile strength, flexural strength, hardness and abrasive resistance. The results obtained indicate that the incorporation of this type of reinforcement in composite materials leads to a decrease in the evaluated mechanical properties.

**Keywords:** Composite materials; biomaterials; Bulk Molding Compound; mechanical properties.

## 1. Introducción

Los materiales compuestos de moldeo a granel (*Bulk Moulding Composites* - BMC, por sus siglas en inglés) son materiales termoestables, típicamente en políéster, reforzados con fibra de vidrio, minerales y otros aditivos, y procesados mediante moldeo por compresión o inyección [1], [2]. Aunque originalmente el BMC se fabricaba exclusivamente con fibra de vidrio, su uso se ha ampliado a otras fibras como sisal, amianto, carbono, aramida, nylon y madera [3]. El proceso convencional de fabricación del BMC comienza con la dosificación precisa de los componentes según la formulación deseada. Estos componentes se mezclan y homogenizan hasta obtener

una pasta de resina, que luego se introduce en una cámara amasadora o extrusora, donde se añaden las fibras. El resultado es un material premezclado con una consistencia similar a la plastilina [1], [4], [5] (ver figura 1). El BMC se caracteriza por su refuerzo fibroso de longitudes cortas, aunque existe cierta variabilidad en la literatura respecto a las dimensiones específicas de estas. Diversos autores reportan rangos que van desde 3 a 30 mm [6], mientras que otros acotan este rango entre 6 y 25 mm [7] y 6 y 12 mm [8], [9]. De manera similar, el contenido de relleno en los BMC también presenta variaciones porcentuales que oscilan entre el 5-10% [3], pudiendo llegar hasta un 15% [8] o incluso un 20% [9]. No obstante, existe consenso en la literatura respecto a que el BMC utiliza fibras más



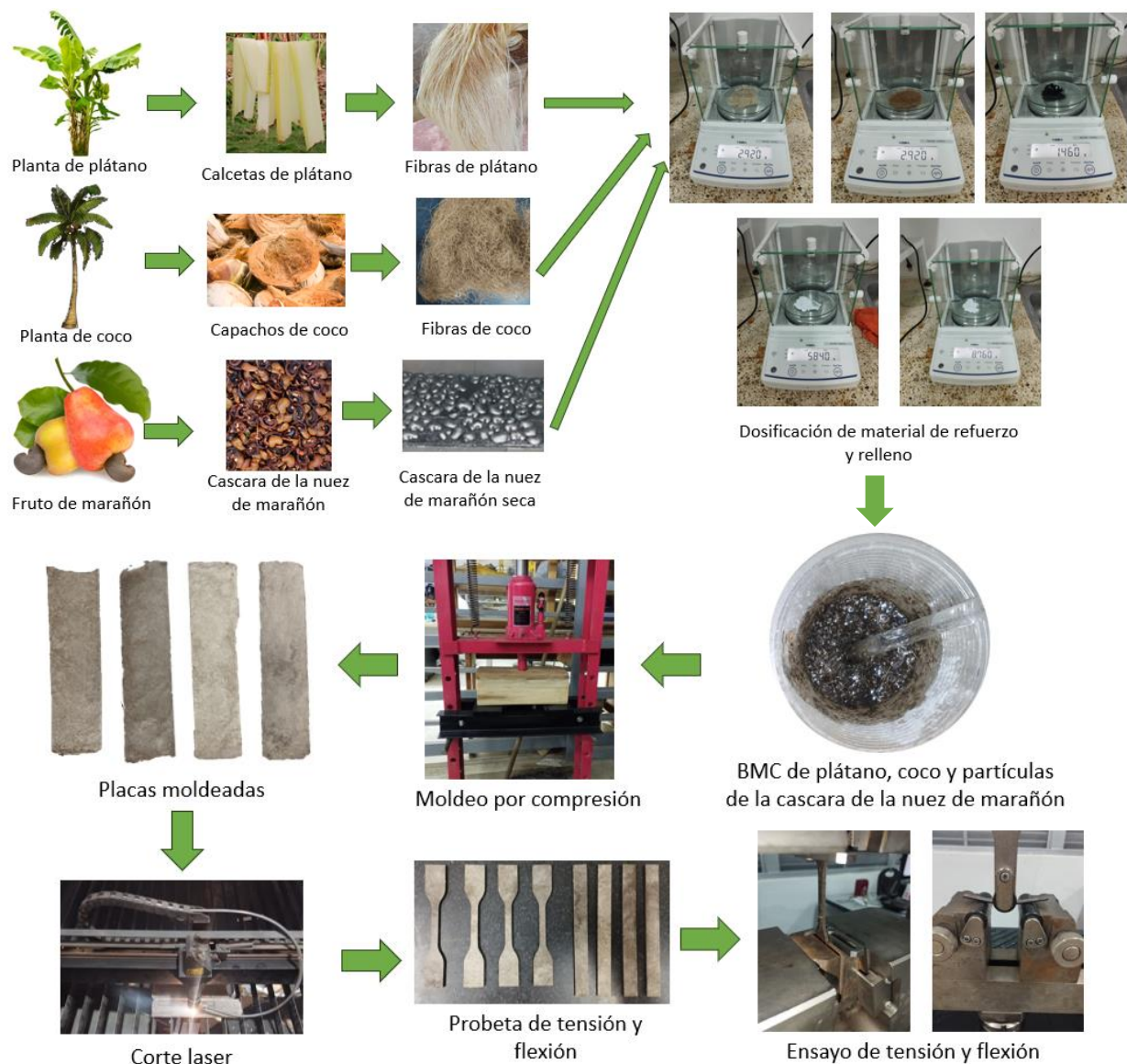
**Figura 1.** Proceso de conformación y moldeo de BMC. Fuente: elaboración propia.

cortas y un menor porcentaje de relleno en comparación con los compuestos de moldeo en lámina (Sheet moulding composites - SMC, por sus siglas en inglés). Esta característica estructural resulta en propiedades mecánicas, como la resistencia a la tracción y el módulo de tracción, generalmente inferiores en los BMC en comparación con los SMC [8]. El moldeo por compresión constituye el método predominante para la fabricación de componentes con BMC [6], [10]. Este proceso se caracteriza por su configuración relativamente simple, que comprende una prensa, un molde y el material BMC (ver figura 1). Para asegurar el llenado completo de todas las cavidades del molde, se emplea una cantidad excedente de material compuesto, el cual experimenta un proceso de curado químico irreversible. Si bien esta técnica puede conllevar cierta pérdida de material, es fundamental mantener un equilibrio óptimo entre el consumo de materia prima y el índice de aprobación de calidad [11]. El moldeo por compresión ofrece diversas ventajas, incluyendo un acabado superficial fino, excelente estabilidad dimensional, capacidad para producir piezas de geometría compleja y propiedades mecánicas, eléctricas y estructurales superiores [6], [10], [12]. Estas características hacen que el método sea particularmente adecuado para la producción en grandes volúmenes industriales de componentes complejos, tales como equipos eléctricos, piezas automotrices, carcasas para electrodomésticos y herramientas [9].

El proceso de moldeo por compresión presenta numerosas ventajas en comparación con otros métodos, lo que lo ha convertido en objeto de estudio por diversos investigadores. Estos estudios han explorado el comportamiento del BMC al añadir refuerzos distintos a la fibra de vidrio. Por ejemplo, se ha investigado un BMC reforzado con fibra de kenaf, encontrando que el porcentaje de contracción

disminuye cuando el refuerzo alcanza un 20%. Además, la adición de fibras incrementa el tiempo de gelificación, al absorber el calor exotérmico durante el curado. La gravedad específica no varía significativamente respecto a la teórica cuando el porcentaje de fibra es bajo [13]. Asimismo, se ha analizado el efecto del carbonato de calcio y el caolín platinado en las propiedades mecánicas de tensión y flexión del BMC [4]. Los resultados muestran un alta variabilidad, lo que impide conclusiones definitivas sobre la influencia de estos rellenos. Sin embargo, se ha observado que la adición de carbonato de calcio disminuye el módulo de Young del material [4]. La creación de materiales con relleno híbrido ha permitido estudiar compuestos reforzados con diversos materiales. Por ejemplo, en el estudio de Badyankal et al., [14] se investigó el uso de fibras de plátano, sisal y piña, junto con la adición de polvo de cáscara de coco, aserrín, kolam y cenizas volátiles. Los resultados mostraron que los compuestos con cáscara de coco presentan una mayor resistencia y módulo a la tracción, así como una mejor resistencia a la flexión. Además del material de refuerzo, es importante la adición de cargas minerales. Entre los rellenos más utilizados en ingeniería se encuentra el carbonato de calcio, un mineral natural que mejora y potencia las propiedades físicas de los productos [15]. Este material se caracteriza por su alta disponibilidad, bajo costo, baja toxicidad y buena estabilidad térmica, y mejora propiedades como la conductividad térmica, la resistencia al impacto, la rigidez y la precisión de la conformación [16]. La incorporación de carbonato de calcio no solo mejora estas propiedades, sino que también reduce los costos de fabricación al compensar el uso del material de la matriz [17].

Por otra parte, el silicato de magnesio hidratado (talco) es otro material de relleno comúnmente utilizado para reforzar materiales. Este material es barato, de fácil acceso y mejora la calidad y rigidez del compuesto



**Figura 2.** Esquema general de materiales y metodos. Fuente: elaboración propia.

[18]. Investigaciones han demostrado que el talco actúa como agente nuclear, proporcionando un aumento de la estabilidad térmica, resistencia a la tracción y un ligero incremento de la elasticidad [19]. Este estudio tiene como objetivo incorporar fibras de plátano, coco y partículas de cáscara de nuez de anacardo en la creación de un BMC. El objetivo es determinar el comportamiento mecánico del material resultante en términos de tracción, flexión y dureza, y compararlo con las propiedades de la matriz.

## 2. Materiales y métodos

### 2.1. Extracción de fibras de plátano

Se recolectaron pseudotallos de plátano de los residuos postcosecha de la variedad Hartón en las coordenadas

8° 51' 20.4" N, 75° 48' 37.5" W en el departamento de Córdoba, Colombia. Posteriormente, estos pseudotallos fueron separados en calcetas, de las cuales se eliminó la parte interna mediante el uso de un cuchillo, obteniendo una capa fina. Las fibras fueron extraídas de esta capa fina utilizando un cepillo de celdas metálicas. Finalmente, las fibras obtenidas se secaron en horno a 40°C para eliminar la humedad presente en ellas, tal como se muestra en la Figura 2.

### 2.2. Extracción de fibras de coco

Se recolectaron residuos de coco de la especie Cocotero Gigante (*Alto Caribe*) en las coordenadas 9° 01' 09" N, 76° 15' 41" O en el departamento de Córdoba, Colombia. Posteriormente, las muestras se sumergieron en agua durante 48 horas para completar

el proceso de maceración y permitir la extracción manual de las fibras del mesocarpio. Luego, estas fibras se secaron en horno a una temperatura de 90°C para eliminar la mayor cantidad de humedad presente en ellas, tal como se muestra en la Figura 2.

### 2.3. Extracción de partículas de la cascara de la nuez de marañón

Se recolectaron residuos de la cáscara de la nuez del anacardo de una planta de procesamiento de la Asociación de Productores de Marañón de la Sabana (ASOPROMARSAB), ubicados en las coordenadas 8° 56' 00" N, 75° 12' 28" W en el departamento de Córdoba, Colombia. Una vez recolectados, los residuos se secaron en una mufla Terrígeno® MM35 a una temperatura de 250°C durante 30 minutos para eliminar la presencia de ácido residual en las cáscaras. Posteriormente, se sometieron a un proceso de trituration y molienda en un molino mecánico manual. Las partículas obtenidas tras la molienda se clasificaron por tamaño utilizando una tamizadora Minor® 200, seleccionando aquellas que pasaron por el tamiz de 250 µm y quedaron retenidas en el tamiz de 125 µm, tal como se muestra en la Figura 2.

### 2.4. Preparación de material de refuerzo para ser añadido al BMC

Como se mencionó en la introducción, una de las características del BMC es el uso de fibras cortas en su proceso de fabricación. Por lo tanto, antes de su incorporación, las fibras se cortaron de forma manual con tijeras para obtener un tamaño entre 1 y 3 mm, conforme a lo reportado en estudios previos [14].

### 2.5. Preparación de la mezcla para BMC

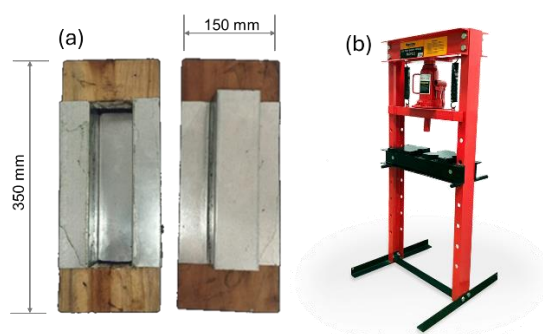
Primero, se dosificó la cantidad de material a utilizar. Según estudios previos [3], el contenido de refuerzo de un BMC es del 10% y además se añadirá un 20% de relleno, como se detalla en la tabla 1. Una vez dosificadas las cargas minerales y el material de relleno, se mezclaron el carbonato de calcio, el silicato de magnesio hidratado y las partículas de la cáscara de la nuez del marañón con la resina de poliéster hasta obtener una mezcla homogénea. Posteriormente, como se muestra en la Figura 2, se añadieron las fibras naturales y se amasó mecánicamente la mezcla para asegurar una distribución uniforme. Finalmente, se añadió un 1,5% en peso de peróxido de hidrógeno como catalizador para iniciar el proceso de curado para luego ser vaciado en el molde.

**Tabla 1.** Dosificación % en peso preparación de BMC

Dosificación % en peso del BMC	
Material	% en peso
Carbonato de calcio	8%
Silicato de magnesio hidratado	12%
Fibra de plátano	4%
Fibra de coco	4%
Material particulado de la cascara de la nuez del marañón	2%

### 2.6. Moldeo por compresión

Para el proceso de moldeo por compresión, se utilizó un molde de madera con una cavidad revestida con una lámina galvanizada. Este molde permitió la fabricación de placas con dimensiones de 5 cm de ancho, 20 cm de largo y 3 mm de espesor. La presión necesaria para el proceso fue aplicada mediante una prensa hidráulica Ferton® de 12 toneladas, como se muestra en las Figuras 2 y 3.



**Figura 3.** (a) Molde usado y (b) prensa hidráulica Ferton®. Fuente: elaboración propia.

### 2.7. Ensayo de tensión y flexión

Una vez obtenidas las muestras de BMC con fibra de plátano, coco y cáscara de nuez del anacardo, se procedió a la extracción de las probetas de tensión y flexión mediante corte láser (Ver Figura 2). Estos ensayos se realizaron conforme a las normas ASTM D638 [20], para ensayos de tensión y ASTM D790 [21] para ensayos de flexión. El equipo utilizado fue una máquina universal de ensayo MTS Criterion® con una celda de carga de 300 kN para ambos ensayos.

Para los ensayos de flexión realizados a las muestras de resina base y con refuerzo, se emplea la ecuación (1) con el fin de encontrar el esfuerzo a flexión máximo para cada una de las probetas.

$$\sigma_f = \frac{3PL}{2bd^2} \quad \text{Ecuación (1)}$$

Donde:

$\sigma_f$ : Esfuerzo de flexión (MPa)

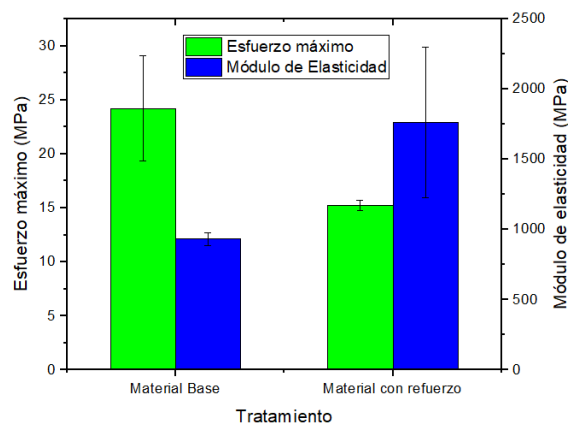
$P$ : la carga en el punto donde queremos encontrar el esfuerzo (N)



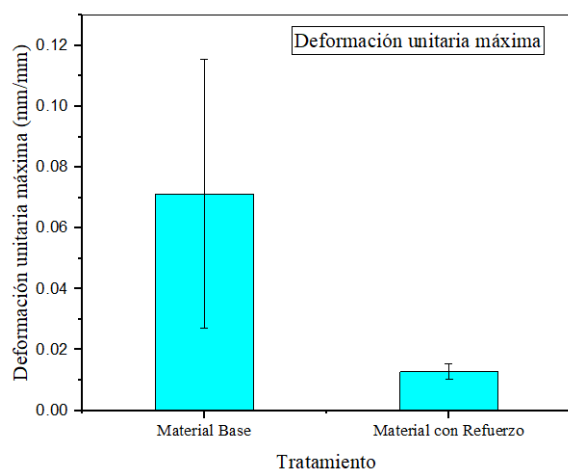
$L$ : envergadura o longitud ensayada (span) (mm)  
 $b$ : ancho de la viga ensayada (mm)  
 $d$ : espesor de la viga ensayada (mm)

### 3. Resultados y discusiones

Los resultados de los ensayos de tensión que comparan la resina base con el material con refuerzo son presentados en la Figura 4. Se observa una disminución significativa del esfuerzo máximo del material reforzado con respecto a la resina, equivalente a una reducción del 37%. Esto evidencia que la adición de refuerzos de plátano, coco, y marañón, junto con aditivos minerales como el carbonato de calcio y el silicato de magnesio, no incrementó la resistencia de la resina. Sin embargo, es notable que las propiedades del BMC obtenido se mantienen estables, como lo indica la baja dispersión en sus resultados de tensión.



**Figura 4.** Comparación esfuerzo máximo y módulo de elasticidad material base y material con refuerzo. Fuente: elaboración propia.

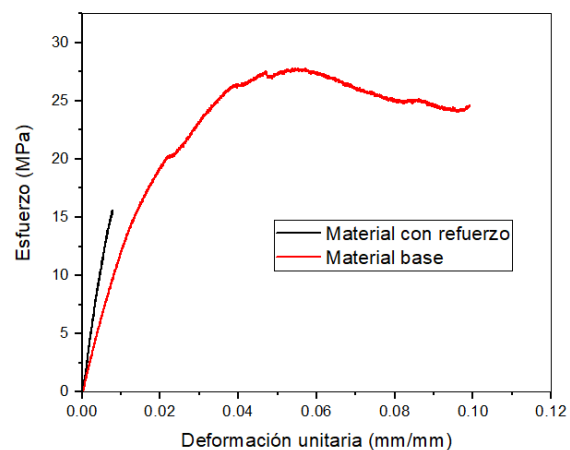


**Figura 5.** Comparación deformación máxima material base y material con refuerzo. Fuente: elaboración propia.

Por otro lado, se observó que el material reforzado mostró un incremento aproximado del 40% en el

módulo de elasticidad en comparación con la resina base. Esto destaca una de las ventajas de la adición de fibras naturales en matrices poliméricas, ya que contribuye a mejorar las propiedades elásticas del material. Un buen módulo de elasticidad es importante para piezas que requieren precisión dimensional, ya que a pequeñas tasas de esfuerzo la deformación del material será menor.

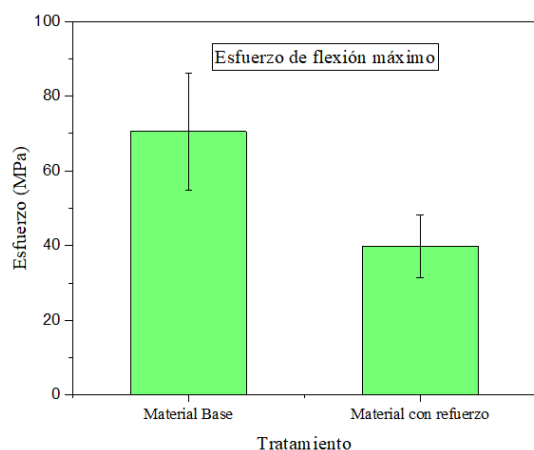
Por otro lado, en la Figura 5 se muestra el comportamiento de la deformación unitaria máxima en ambos tipos de materiales. Se puede evidenciar que hay una disminución significativa del 82% en la deformación unitaria máxima en el material reforzado, lo que indica una pérdida de ductilidad de la resina de poliéster al añadir los refuerzos. Este cambio en el comportamiento se puede apreciar en la gráfica esfuerzo-deformación mostrada en la Figura 6.



**Figura 6.** Comparación gráfica esfuerzo-deformación de la resina base vs material con refuerzo. Fuente: elaboración propia.

El comportamiento a tensión del material producido por BMC en comparación con la resina base ha sido observado en otras investigaciones. Rodríguez et al., [22] al añadir nanofibras de celulosa (CNFs) al polietileno de baja densidad (LDPE), encontraron que el módulo de elasticidad aumentaba a medida que se incrementaba el contenido de CNFs. Por otro lado, se observó una disminución en la elongación del material, mientras que la resistencia a la tracción permanecía invariable. Los autores atribuyen este comportamiento a la aglomeración adicional de las CNFs, causada por la deshidratación del polietileno, para alcanzar un nivel de refuerzo del 20%. Por otra, Gholampour y Ozbakkaloglu., [23] afirman que aumentar la fracción volumétrica de las fibras más allá de ciertos niveles óptimos produce una fractura frágil en las fibras, lo que impide que la matriz soporte la carga adicional. Esto resulta en una baja resistencia a la tracción y conduce a la rotura del material. Estos resultados son similares al comportamiento observado en el material obtenido en este trabajo.

En la Figura 7 se muestran los resultados obtenidos del esfuerzo de flexión, comparando la resina base con el material reforzado. De los resultados de flexión se puede evidenciar una disminución de un 43% en el esfuerzo máximo de flexión del material reforzado en comparación con la resina base.



**Figura 7.** Comparación grafica esfuerzo de flexión máximo material base vs material con refuerzo.

Fuente: elaboración propia.

Este comportamiento es similar al observado en las propiedades de tensión y probablemente se debe a que se ha superado el contenido óptimo de refuerzo. Autores como Kannan y Thangaraju [24], al mantener constante el contenido de fibras y variar el contenido de relleno de cáscara de coco, encontraron que un 5% de cáscara de coco resulta en una disminución del 36% en el esfuerzo máximo de flexión. Atribuyen este comportamiento a una débil adhesión causada por la aglomeración del relleno, lo que reduce la resistencia a la flexión. Esto puede ser la causa de la reducción de las propiedades de flexión y tensión.

#### 4. Conclusiones

Basado en la metodología y los resultados obtenidos a partir de la evaluación de las propiedades mecánicas de los BMC moldeados se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- Se observó una disminución del esfuerzo máximo en el material reforzado con fibras de plátano, coco y partículas de la nuez del marañón. Esta disminución se atribuye a la considerable aglomeración de estos componentes, que representan un 10% del material total, mientras que la adición de cargas minerales completa un 30%.
- Esta distribución no uniforme ocasiona zonas donde la matriz no recubre de manera efectiva los materiales de refuerzo, lo que genera una ruptura

frágil debido a la baja presencia del material de matriz.

- De manera similar, la disminución del esfuerzo de flexión se atribuye al exceso de material de relleno en la matriz. Este exceso induce la generación de espacios sin recubrimiento adecuado, lo que ocasiona una disminución significativa del esfuerzo.

#### 5. Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo financiero brindado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología de Colombia a través del Proyecto "Fortalecimiento de la economía circular a través de la generación de valor agregado a partir de residuos agrícolas en los departamentos de córdoba y sucre", con código BPIN: 2021000100052 – SGR y además al proyecto Fondecyt Regular por el apoyo financiero.

#### 6. Referencias

- [1] O. Saburow *et al.*, "A Direct Process to Reuse Dry Fiber Production Waste for Recycled Carbon Fiber Bulk Molding Compounds," *Procedia CIRP*, vol. 66, pp. 265–270, 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.03.280>.
- [2] V. R. Sastri, "8 - Other Polymers: Styrenics, Silicones, Thermoplastic Elastomers, Biopolymers, and Thermosets," in *Plastics in Medical Devices (Third Edition)*, Third Edition., V. R. Sastri, Ed., in *Plastics Design Library.*, William Andrew Publishing, 2022, pp. 287–342. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85126-8.00007-2>.
- [3] C. H. Park and W. I. Lee, "3 - Compression molding in polymer matrix composites," in *Manufacturing Techniques for Polymer Matrix Composites (PMCs)*, S. G. Advani and K.-T. Hsiao, Eds., in *Woodhead Publishing Series in Composites Science and Engineering.*, Woodhead Publishing, 2012, pp. 47–94. doi: <https://doi.org/10.1533/9780857096258.1.47>.
- [4] M. I. Lautenschläger, L. Mayer, J. Gebauer, K. A. Weidenmann, F. Henning, and P. Elsner, "Comparison of filler-dependent mechanical properties of jute fiber reinforced sheet and bulk molding compound," *Compos Struct*, vol. 203, pp. 960–967, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2017.09.100>.
- [5] F. C. Campbell, "Chapter 11 - Commercial Composite Processes: These Commercial Processes Produce Far More Parts than the High-performance Processes," in

- Manufacturing Processes for Advanced Composites*, F. C. Campbell, Ed., Amsterdam: Elsevier Science, 2004, pp. 399–438. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-185617415-2/50012-5>.
- [6] D. Rosato and D. Rosato, “1 - OVERVIEW,” in *Plastics Engineered Product Design*, D. Rosato and D. Rosato, Eds., Amsterdam: Elsevier Science, 2003, pp. 1–45. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-185617416-9/50002-8>.
- [7] K. C. Agrawal, “13 - Switchgear and Controlgear Assemblies,” in *Industrial Power Engineering Handbook*, K. C. Agrawal, Ed., in Newnes Power Engineering Series. , Woburn: Butterworth-Heinemann, 2001, pp. 13–333–418. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-075067351-8/50091-X>.
- [8] P. K. MALLICK, “2.09 - Particulate and Short Fiber Reinforced Polymer Composites,” in *Comprehensive Composite Materials*, A. Kelly and C. Zweben, Eds., Oxford: Pergamon, 2000, pp. 291–331. doi: <https://doi.org/10.1016/B0-08-042993-9/00085-1>.
- [9] J. P. Greene, “16 - Compression Molding,” in *Automotive Plastics and Composites*, J. P. Greene, Ed., in Plastics Design Library. , William Andrew Publishing, 2021, pp. 265–278. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818008-2.00015-5>.
- [10] D. V Rosato, D. V Rosato, and M. V Rosato, “15 - REINFORCED PLASTIC,” in *Plastic Product Material and Process Selection Handbook*, D. V Rosato, D. V Rosato, and M. V Rosato, Eds., Oxford: Elsevier, 2004, pp. 455–496. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-185617431-2/50018-9>.
- [11] S. Porstmann, T. Wannemacher, and W.-G. Drossel, “A comprehensive comparison of state-of-the-art manufacturing methods for fuel cell bipolar plates including anticipated future industry trends,” *J Manuf Process*, vol. 60, pp. 366–383, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2020.10.041>.
- [12] S. Sreenivasan, S. Sulaiman, M. K. A. M. Ariffin, B. T. H. T. Baharudin, and K. Abdan, “Physical Properties of Novel Kenaf Short Fiber Reinforced Bulk Molding Compounds (BMC) For Compression Moulding,” *Mater Today Proc*, vol. 5, no. 1, Part 1, pp. 1226–1232, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.11.205>.
- [13] S. Sreenivasan, S. Sulaiman, M. K. A. M. Ariffin, B. T. H. T. Baharudin, and K. Abdan, “Physical Properties of Novel Kenaf Short Fiber Reinforced Bulk Molding Compounds (BMC) For Compression Moulding,” *Mater Today Proc*, vol. 5, no. 1, Part 1, pp. 1226–1232, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.11.205>.
- [14] P. V Badyankal, P. S. Shivakumar Gouda, T. S. Manjunatha, M. P. B H, and S. B H, “Realization of mechanical and tribological properties of hybrid banana, sisal, and pineapple fiber epoxy composites using naturally available fillers,” *Engineering Research Express*, Mar. 2023, doi: <https://doi.org/10.1088/2631-8695/acc311>.
- [15] W. Janik *et al.*, “Advantageous effect of calcium carbonate and chestnut extract on the performance of chitosan-based food packaging materials,” *Ind Crops Prod*, vol. 219, p. 119088, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.119088>.
- [16] J. D. C. Santos *et al.*, “Starch consolidation of calcium carbonate as a tool to develop lightweight fillers for LDPE-based plastics,” *Int J Biol Macromol*, vol. 226, pp. 1021–1030, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.11.219>.
- [17] J. M. Williams *et al.*, “Calcium carbonate and reactive silica recovery from waste cement: The influence of processing parameters on upcycled material properties and carbon intensity,” *Chemical Engineering Journal*, vol. 482, p. 149013, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2024.149013>.
- [18] S. Afgan *et al.*, “High strength insulating polymeric composite based on recycled/virgin polyethylene terephthalate (PET) reinforced with hydrous magnesium silicate (talc),” *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 21, pp. 3579–3593, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.10.126>.
- [19] S. Ouchiar *et al.*, “Comparison of the influence of talc and kaolinite as inorganic fillers on morphology, structure and thermomechanical properties of polylactide based composites,” *Appl Clay Sci*, vol. 116–117, pp. 231–240, 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.clay.2015.03.020>.
- [20] ASTM International, “ASTM D638-14: Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics,” *ASTM International*, 2014, doi: <https://doi.org/10.1520/D0638-14>.
- [21] ASTM International, “ASTM D790-15: Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials,” 2015. doi: <https://doi.org/10.1520/D0790-15>.
- [22] S. Rodríguez-Fabià, C. Zarna, and G. Chinga-Carrasco, “A comparative study of kraft pulp fibres and the corresponding fibrillated

- materials as reinforcement of LDPE- and HDPE-biocomposites,” *Compos Part A Appl Sci Manuf*, vol. 173, p. 107678, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2023.107678>.
- [23] A. Gholampour and T. Ozbakkaloglu, “A review of natural fiber composites: properties, modification and processing techniques, characterization, applications,” *J Mater Sci*, vol. 55, no. 3, pp. 829–892, 2020, doi: [10.1007/s10853-019-03990-y](https://doi.org/10.1007/s10853-019-03990-y).
- [24] G. Kannan and R. Thangaraju, “Evaluation of Tensile, Flexural and Thermal Characteristics on Agro-Waste Based Polymer Composites Reinforced with Banana Fiber/Coconut Shell Filler,” *Journal of Natural Fibers*, vol. 20, no. 1, p. 2154630, 2023, doi: [10.1080/15440478.2022.2154630](https://doi.org/10.1080/15440478.2022.2154630).